ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет

Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 4

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету (протокол № 2 від 03.10.2024 року)

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 4. 328 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)
Свідоцтво про державну реєстрацію: Серія КВ № 24810-14750ПР від 31.05.2021 року.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України від 29.06.2021 № 735 (додаток 4) журнал внесений до переліку фахових видань України категорії «Б» (спеціальності: 122 – Комп'ютерні науки та інформаційні технології; 124 – Системний аналіз; 181 – Харчові технології; 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології).

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

Редакційна колегія:

Дзюндзя О.В. – доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент – головний редактор; **Антоненко А.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу ПВНЗ «Київський університет культури», к.т.н., доцент; **Балихіна Г.А.** – провідний науковий співробітник відділення землеробства, меліорації та механізації апарату Президії НААН, к.т.н.; **Березовський Ю.В.** – доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., доцент; **Бровенко Т.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв, к.т.н., доцент; **Вороненко М.О.** – доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук Херсонського національного технічного університету, к.т.н., доцент; **Гончаренко А.В.** – професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, д.т.н., професор; **Гопеєнко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., професор (Рига, Латвійська Республіка); **Горальчук А.Б.** – професор кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Харківського державного університету харчування та торгівлі, д.т.н., професор; **Димова Г.О.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н.; **Коваленко О.О.** – завідувач кафедри біоінженерії і води Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор; **Ковальчук П.І.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., професор; **Кузьмич Л.В.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., доцент; **Кузьміна Т.О.** – професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Лобода О.М.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент; **Марасанов В.В.** – член спеціалізованої Вченої ради ДФ 67.052.003 Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Матяш Т.В.** – старший науковий співробітник, завідувач відділу інформаційних технологій та маркетингу інновацій Інституту водних проблем і меліорації НААН, к.т.н.; **Отрош Ю.А.** – начальник кафедри пожежної, профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України, д.т.н., професор; **Пневматікос Н.** – доцент кафедри будівництва Університету Західної Аттики, к.т.н., доцент (Афіни, Греція); **Романенко Р.П.** – доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-екномічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д.М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **Стригунівська О.В.** – Гірничо-металургійна академія імені Станіслава Сташиця, к.т.н., доцент (Краків, Республіка Польща); **Сурьянінов М.Г.** – завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор; **Ткаченко О.Б.** – професор, завідувачка кафедри технології вина та сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., доцент; **Турченюк В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

© Херсонський державний аграрно-економічний університет, 2024

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

UDC 004.05
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.1

FEATURES OF AUTOMATED TESTING USING FRAMEWORKS

Antonenko A. V. *– PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Standardization and Certification of Agricultural Products of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Vostrikov S. O. *– Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0008-8425-8872

Burachynskyi A. Yu. *– Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0003-7913-2152

Tverdokhlib A. O. *– Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0000-0002-6591-2866

Balvak A. A. *– Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0000-0002-6441-8225

Slobodian O. A. *– Master of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0008-9388-3629

The article examines three of the most common problems that automatizers face, as well as ways to solve them. In order to successfully enter the market and maintain a stable position, each product is tested at different stages of its life cycle and in different aspects. This is a critical step in the development and support process, because as the IT industry evolves, the demand for the end product to remain competitive increases. Today, important features such as stability, ease of use, and thoughtful user interface design have become standard. In order to consistently attract new customers, it is necessary to provide more than just the basic requirements; each characteristic or specification needs detailed verification. It is estimated that the total cost of software testing can be 15 to 25% of the total project cost, so it is important to approach this process with a clear plan and preparation. Products can be conventionally classified into two categories: those that will not be refined after entering the market, and those that will undergo constant improvements throughout their life cycle. In the first case, it is enough to carry out full manual testing, and in case of a successful result, release the product. In the second, testing must be carried out regularly, with each change or update, which takes a significant part of resources and budget. That is why such projects usually use test automation, which reduces the amount of manual work. This can be more cost-effective, and can significantly save time and resources, while providing greater accuracy and efficiency compared to repeated manual testing. However, creating a new system for developing and running test cases for each project is quite difficult and expensive. In this regard, specialists have developed universal frameworks for automated testing, which are flexibly adjusted to specific needs. The use of such frameworks is accompanied by certain challenges that can affect the effectiveness of testing.

Key words: *test framework, testing, automation, test case, automation tools.*

Антоненко А. В., Востріков С. О., Бурачинський А. Ю., Твердохліб А. О., Балвак А. А., Слободян О. А. Особливості автоматизованого тестування з використанням фреймворків

У статті розглянуто три найбільш поширені проблеми, з якими стикаються автоматизатори, а також шляхи їх вирішення. Для успішного виходу на ринок та стабільної утримання позицій, кожен продукт проходить тестування на різних етапах свого життєвого циклу та в різних аспектах. Це критично важливий етап у процесі розробки та підтримки, оскільки з розвитком IT-індустрії зростає вимога до кінцевого продукту, щоб він залишався конкурентоспроможним. Сьогодні такі важливі характеристики, як стабільність, зручність у використанні та продуманий дизайн інтерфейсу користувача стали стандартом. Щоб постійно залучати нових клієнтів, необхідно забезпечити більше, ніж просто базові вимоги; кожна характеристика чи специфікація потребує детального перевіряння. За оцінками, загальні витрати на тестування програмного забезпечення можуть становити від 15 до 25% загальної вартості проекту, тому важливо підходити до цього процесу з чітким планом та підготовкою. Продукти можна умовно класифікувати на дві категорії: ті, які після виходу на ринок не будуть допрацьовуватись, і ті, що зазнаватимуть постійних поліпшень протягом всього свого циклу. У першому випадку досить провести повне мануальне тестування, й у разі успішного результату випустити продукт. У другому – тестування необхідно проводити регулярно, з кожною зміною чи оновленням, що займає значну частину ресурсів і бюджету. Саме тому на таких проектах зазвичай застосовується автоматизація тестування, яка знижує обсяги ручної роботи. Це може бути економічніше, а також дозволяє суттєво зекономити час і ресурси, забезпечуючи при цьому більшу точність та ефективність в порівнянні з повторним ручним тестуванням. Проте створити нову систему для розробки та запуску тест-кейсів для кожного проекту – досить складно та витратно. У зв'язку з цим фахівці розробили універсальні фреймворки для автоматизованого тестування, які гнучко налаштовуються під специфічні потреби. Використання таких фреймворків супроводжується певними викликами, які можуть впливати на ефективність тестування.

Ключові слова: *тестовий фреймворк, тестування, автоматизація, тест кейс, інструменти для автоматизації.*

Introduction. In today's world, where the speed of software development is key, software testing is undoubtedly an integral part of the software development life cycle (SDLC). With the development of Agile and DevOps methodologies, as well as the desire of enterprises for rapid releases and quality products, there has been a need for software testing methods that are faster and more efficient than manual testing. It is at this moment that the architecture of automation of software testing, which is implemented

with the help of frameworks, is becoming more and more widespread and today is the leader in software testing [1-3].

The Test Automation Framework is not a single tool or process, but a set of tools that work together to support direct automated testing, test case development, report generation, or integration with other tools. It combines various parts such as libraries, test data and various reusable modules. It is a conceptual part of automated testing that helps testers use resources more efficiently. A framework can be defined as a set of rules or best practices that can be followed systematically to ensure the desired results are achieved. In general, it is a platform developed by integrating various hardware and software resources, as well as using various tools based on qualified selection. It allows you to effectively design and develop automated testing scenarios, and also provides a reliable analysis of problems or errors for the object under test [4-6].

When developing and using frameworks, automatizers will face a number of problems that can affect the quality of testing and its costs. Some of these problems will be unique to the project being developed, but many of them will be either the same or similar in meaning or origin, and therefore it will be sufficient to adapt an existing solution instead of developing a new one. Therefore, in order to bring the greatest benefit and be able to correctly allocate project resources, it is important to understand the problems that often occur and to be able to adjust existing solutions to your own needs, because frameworks remain an important tool for ensuring software quality. Using the right approach, you can significantly reduce testing costs and reduce the time required to release new software versions. Below we will consider the main difficulties that are often encountered in the development and use of frameworks for automated testing, as well as several possible ways to solve these problems, with a separate analysis of each of them. This will allow you to deepen your understanding, as well as to have in your arsenal several options for approaches that can be combined to achieve the most beneficial result.

Formulation of the problem. One of the main challenges in automation is the need to ensure that tests cover various requirements, both functional and non-functional, while maintaining a high speed of test execution and maximum autonomy from humans. Therefore, it requires more knowledge and skills from automation engineers, since improper use and configuration of the framework can lead to deterioration of the testing process, which will have a negative impact on the entire project [7-10].

The problems considered in this article have an important practical connection with tasks in the field of software development and testing. After all, the developers of test frameworks always face the task of providing the best possible support and quality control of the product

The aim of the study. The purpose of the work is to deepen the understanding of the problems associated with the use of frameworks for automated testing and to provide information on possible ways to solve them.

The object of research is frameworks for automated testing.

The subject of the research are problems related to the use of frameworks for automated testing and ways to solve them.

Analysis of recent research and publications. The analysis of information sources related to the problems of development and use of frameworks for automated testing confirms the importance of this topic and helps to gain a deeper understanding of the existing issues.

In the scientific work «Challenges in Test Automation Framework Design and Development» in the International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering [5], he examines the problems that arise in the development

and use of frameworks for automated testing. The article describes issues with data usage, issues with managing test scenarios and scripts, and issues with test environment variability.

The study «Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review» [6] examines the problems associated with automated testing in general. The study confirmed that many companies use frameworks for automated testing and often face problems in their development and maintenance. The study notes that the lack of standards and norms in the development of test scenarios is one of the main problems.

In the scientific work «The challenges and benefits of continuous integration in software engineering» in the journal Information and Software Technology [11], he considers the problems associated with the implementation of Continuous Integration in the software development process. The article states that the integration of test frameworks is one of the most difficult tasks when implementing Continuous Integration. The article also describes the benefits of Continuous Integration, such as reducing software release risks and reducing the time it takes to identify and fix bugs.

The study «Automation testing challenges and solutions: A review» in the International Journal of Computer Applications [12] explores the challenges associated with automated testing in general. The article describes problems that may arise when using frameworks, such as the difficulty of debugging test scripts and problems with the variability of the test environment. The article also provides various solutions to solve these problems.

After analyzing the sources, the questions that most often affect the testing process were selected for consideration:

1. Creation and maintenance of test scripts.
2. Lack of generally accepted standards and norms for the development of test scenarios.
3. Integration of test frameworks into the process of Continuous Integration / Continuous Development.

These problems lead to errors and delays in the software development process, so studying and solving them is an important topic for those involved in software development and testing. Knowing about these issues will help you develop an effective testing strategy and choose the tools that are most suitable for a particular project.

Presentation of the main research material. The first problem that automatizers face is the creation and maintenance of test scripts. This task takes a lot of time and effort of the automatizer, because the system under test is often changed and supplemented, and therefore, previously written tests may already be out of date and need to be updated. When there are thousands of such tests, it is not an easy task, so in order not to waste time and project resources, it is important to understand the problem and approaches to solving it. Let's analyze the possible solutions.

The first way is to use design patterns and code refactoring. Conventionally, three levels of re-use of parts of the code can be distinguished. The lower one is a collection of classes, libraries, and modules. Frameworks are at the highest level, because only architecture is important for them. A framework is usually much larger than a single class. It allows you to specify the desired behavior, and then, when certain conditions are met, it itself causes it. For example, JUnit calls your class when it needs to run a test. Everything else happens inside the framework. At the middle level, you can place patterns that are more abstract than frameworks, and at the same time have less binding to the programming language. They are descriptions of how certain classes or methods interact with each other. The main advantages of using templates are as follows:

1. Save time and effort
2. Reduce maintenance costs
3. Improve code reuse
4. Increase reliability
5. Help create structured code that facilitates the automation process
6. Improve communication and understanding between engineers.

They help separate the internal implementation of the framework from the implementation of tests or solve the problem of code standardization and allow you to use solutions that have already been tested by a huge number of engineers, adapting them to your own needs.

Templates often used in automation are Page Object Model, Factory and Singleton.

Page Object Model (POM) allows you to separate the structure of the web page from the test script, which provides greater stability and convenience of test case support. With the help of POM, the structure of a web page is displayed as objects whose methods abstract requests and settings, giving only a user-friendly readable interface to the outside. Another advantage is the possibility of reusing these objects. If the structure of the web page changes, then only the implementation of the object needs to be changed, and the test cases will remain unchanged.

In the factory design pattern, there is a class with a factory method that handles all the processes of creating objects. This pattern has a superclass with several subclasses, and based on user input at the test class level, it returns one of the subclasses. A class that extends the parent class is responsible for the implementation logic, so it hides complex code at the testing level. As a user, we just need to create an object of this class and use it in the test to call the corresponding method containing the business logic.

The Singleton design pattern is one of the simplest and most straightforward patterns to implement in an automation framework. This pattern is used when you want to use the same class object in different places. It limits the possible instances of a class to a single instance. To implement it, you need to declare the constructor of the class as private so that no one can create an instance of the class outside of it, then declare a static reference variable of the class and a static method that returns an object of the same class. Also, this method should check whether the object has already been created once [13].

The next solution is to use tools that allow you to write test scripts. Such tools automatically remember the actions performed by the user. An example is Selenium IDE, which allows you to record test actions in Selenese format. This is very convenient for automators without sufficient programming knowledge, however, research shows that using such tools is ineffective in case of complex test scenarios or when changing the structure of a web page. Also, the lack of programming skills in the automator can lead to the generation of incorrect test scripts, so this approach requires attention and a mandatory review of tests by more experienced colleagues.

Another way is to use parameterization. This approach creates a single (perhaps slightly more complex) test script that accepts a specific set of test variations, allowing for many more tests. A good example is testing any input field. You can create a single test script that will accept various combinations of text as input, and check the behavior of the site in each of the variations. But it is worth noting that the use of parameterization is not always necessary and it depends on the situation. The best scenario for such tests is when we have many test variations for a single test. On the other hand, parameterized tests should not be used in situations where only one set of data is tested. Separating the data from the test would be an overcomplication.

Advantages of using parameterization:

1. Only one test is needed for many test cases.

2. Test logic is separated from test data.

3. The data file can be easily shared with other team members, especially useful if you need to share with manual testers who do not know the programming language.

4. They reduce code repetition.

Disadvantages of using parameterization:

1. Separating test logic from test parameters requires additional work.

2. Redundancy for tests with a small number of test cases to verify.

3. It is often necessary to maintain an additional file with test cases.

A study by Sauce Labs showed that the use of parameterized test scripts allowed to reduce the time required to maintain test scripts by 70% compared to test scripts without parameterization, and therefore, in the event of changes in the system, much less effort is needed to fix the test scripts [14].

Also, when developing test scripts, you should be guided by the 7 principles of testing according to ISTQB:

1. Testing reduces the chance that software will have undetected defects, but even if no defects are found, testing is not proof that the program is correct.

2. Testing all combinations of input data and prerequisites is impossible, except in trivial cases. Rather than attempting exhaustive testing, risk analysis, test methods, and priorities should be used to focus testing efforts.

3. To detect defects at an early stage, static and dynamic testing should begin as early as possible in the software development life cycle. Early testing is sometimes called a shift to the left. Testing early in the software development life cycle helps reduce or eliminate costly changes.

4. A small number of modules usually contain most of the defects found during pre-release testing or are responsible for most of the operational failures. Predicted defect clusters and actual detected defect clusters during testing or operation are important inputs to the risk analysis used to focus testing efforts (as outlined in principle 2).

5. If you repeat the same tests over and over again, these tests will eventually stop revealing new defects. To detect new defects, it may be necessary to modify existing tests and test data, as well as to write new tests.

6. Testing is done differently in different contexts. For example, safety-critical industrial control software is tested differently than an e-commerce mobile application.

7. Some organizations expect that testers can perform all possible tests and find all possible defects, but principles 2 and 1, respectively, say that this is not possible. Furthermore, it is a mistake to expect that simply identifying and correcting a large number of defects will ensure the success of the system. For example, thoroughly testing all identified requirements and fixing all defects found may result in a system that is difficult to use, does not meet user needs and expectations, or is inferior to other competing systems.

Development of test scripts is a time-consuming process that requires constant improvement. However, using the right technologies and approaches will help ensure a more efficient use of time and overall better software testing.

The second problem that needs attention is the lack of generally accepted standards and norms for the development of test scenarios. Often, automators can have different approaches to development, which leads to difficulties in maintaining such code by other QA engineers. There are no universally defined rules that everyone must follow in the process of developing test scripts, and therefore each person may have his own

implementation of a solution to this or that problem. This isn't always a bad thing, but it's definitely worth spending time on when you're starting to develop a test framework.

For example, the study «A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications», published in the journal IEEE Access, showed that most of the 50 analyzed tools and frameworks for automated testing of web applications use their own testing methodologies, which can lead to inequality and causes the need for possible retraining of existing specialists [15].

A good solution to this issue is to analyze existing standards from related fields, such as development or manual testing, and develop standards based on them for a single team, or a group of teams working on the same project. Such standards may include rules for creating test scripts, rules for formatting code to make it look consistent, using testing techniques, and unifying error reporting and tracking processes. All these actions will help to ensure standardization of various test artifacts throughout the test life cycle, and increase the understanding for all team members. For example, if the development of tests takes place in the Python programming language, you can use PEP8. This is a style guide for Python code that is recommended for use by developers of the language, although it is not required. Many other programming languages have similar sets of rules and guidelines. As for reporting, it all depends on how the reports are generated. Allure Framework is very popular today. It is a flexible, lightweight, multilingual test reporting tool that not only shows a very concise representation of what was tested in the form of a web report, but also allows everyone involved in the development process to extract the most useful information from day-to-day test execution.

But these solutions will not be able to fully exist without a process of review and verification. After developing new test cases or parts of the framework, the written code must be reviewed by at least one more automatizer from the team. This will help identify errors and correct them immediately, as well as maintain adherence to accepted standards. This process is described by the ISTQB organization. There are four types of reviews, from informal to the most standardized, and therefore it is important to understand when and which review to apply, because this process takes the time of two or more engineers at the same time.

1. Informal:

– can take the form of pair programming or a technical lead who reviews the design and code;
– results can be documented;
– usefulness varies depending on the reviewers;
– the main goal: an inexpensive way to get a certain benefit;

2. Step-by-step introduction:

– a meeting led by the author;
– can take place in the form of scenarios, trial runs or group participation;
– open sessions;
– optional preparation of reviewers before the meeting;
– optional review report;
– main goals: learning, gaining understanding, finding flaws;

3. Technical review:

– a documented, defined defect detection process;
– under the guidance of a trained moderator;
– preparation of reviewers for the meeting;
– optional use of checklists;
– preparation of the review report;

– in practice it can vary from quite informal to very formal;

– main goals: discussion, decision-making, evaluation of alternatives, identification of shortcomings, resolution of technical problems and verification of compliance with specifications, plans, rules and standards.

4. Inspection:

– under the guidance of a trained moderator;

– usually conducted as an expert assessment;

– collection of metrics and various data;

– a formal process based on rules and checklists;

– defined input and output criteria for software product acceptance;

– preparation for the meeting;

– inspection report, including a list of conclusions;

– formal process of further actions;

– main goal: detection of defects.

To be successful in revue, you should follow the following rules:

– clearly define goals;

– fill in and use the documents accepted for the project;

– attract only those people who are really needed in order to get the maximum benefit and not waste time;

– try to identify defects, but express them objectively;

– consider human issues and psychological aspects;

– apply appropriate review techniques and review in an atmosphere of trust;

– conduct trainings on assessment techniques;

– focus on learning and improving the process;

– follow the rules.

It is important to conduct regular code reviews of test scripts to identify inconsistencies and deviations from standards. This requires using static code analyzers to detect potential flaws. They find problems such as undefined variable access, inconsistent interfaces between modules and components, unused or incorrectly declared variables, unreachable (dead) code, missing and erroneous logic (potentially infinite loops), overly complex designs, violations programming standards, vulnerabilities in the security system and violations of code syntax and software models. Static analysis must be included in the overall testing process, because it covers and finds those problems that the dynamic approach is unable to find.

From the company's point of view, a possible solution is to conduct trainings and seminars so that the automatizers become familiar with the common standards and techniques used in the team. To solve the problem of the lack of standards and norms in automation, it is necessary to establish common approaches and standardize possible testing processes, conduct regular code checks and trainings for traffic jams [16].

An important issue to consider is the integration of test frameworks into the Continuous Integration / Continuous Development process. This process is important in software development, because it allows you to automate the process of running tests and ensure fast detection of errors. However, integration with test frameworks has some complexities that need attention.

The lack of communication between the test framework and the version control system leads to loss of time in the detection and correction of errors, since there is no possibility to automatically track changes in the code and the corresponding changes in the tests. The solution to this problem is to use tools like Jenkins that support integration with version control systems, for example Git, which is the most popular system. This

allows you to automatically run tests when the code changes and detect and fix defects accordingly [17].

Lack of ability to run tests in different environments. Software is often designed to run on different operating systems and with different configurations. A solution approach is to use containers such as Docker. They allow you to create isolated environments for running tests. This allows you to ensure the same conditions for running tests on different environments and identify and fix problems in different configurations accordingly. A container is a standard unit of software that packages code and all its dependencies so that the program runs quickly and reliably, regardless of the system on which it is run. A Docker container image is a lightweight, self-contained, executable software package that includes everything needed to run an application: code, runtime, system tools, system libraries, and configuration. The advantages of Docker containers in particular are that they are standardized (Docker created an industry standard for containers so that they can be moved anywhere), lightweight (containers use the core of the machine's operating system, and therefore do not need a separate operating system for each application, which increases efficiency server workloads and reduces server and licensing costs) and secure (containerized applications are more secure and Docker provides the industry's strongest isolation capabilities by default).

Testing takes a lot of time, so not being able to run tests in parallel can also be a problem, because it reduces the speed of software development and release. The solution is to use parallel test execution tools like Selenium Grid or TestNG or similar. They make it possible to run a larger number of tests at the same time, and accordingly reduce the time spent on testing. It is important to remember that automatic tests must be developed so that they do not depend on each other, because otherwise parallel running will not bring the desired benefit [18].

Another important issue in the CI/CD process is the ability to save test results, as it is difficult to track reports and identify problems. To solve this, you need to use test data collection tools like JUnit or TestNG. These tools allow you to collect test information such as execution time, status, and results and save it as a report. This allows for detailed analysis of launch results.

Research by the DZone company showed that the use of CI/CD tools reduces the duration of testing by 30-50%, increases the frequency of releasing new software versions, and reduces the number of errors detected during the testing phase [19]. This proves that the integration of test frameworks into the CI/CD process can reduce the duration of software development and release, increase product quality and reliability, and reduce development and testing costs.

Sauce Labs also conducted a study that showed that using containers can reduce testing time by an average of 25%, increase the number of tests that can be run in parallel, provide greater test stability, and reduce system impact [20, 21].

Integrating test frameworks into the CI/CD process is an important stage of software development that allows you to automate the testing process and ensure fast and efficient error detection. CI/CD tools, containers for running tests, tools for running tests in parallel and collecting data about their results can be used to solve problems that may arise during the integration of test frameworks. Studies show that the use of such tools can reduce testing time, increase the quality and reliability of software, and reduce costs for its development and testing [22, 23].

Conclusions. There are a number of challenges in developing and using automated testing frameworks that affect team performance, test quality, cost, and more. Automation has many benefits, but if the above issues are addressed during planning and

implementation, or, failing that, their impact on the project is minimized. This article analyzed the most common problems and described ways to solve them based on research by various companies and generally accepted development and testing standards. Although the needs of different projects are very different, technologies and approaches to solving possible problems have been given that can help or suggest in which direction to look for a solution to a particular issue. The methods described above will help increase the efficiency and volume of automation, improve the quality of the final product.

BIBLIOGRAPHY:

1. Hardik S. Software Testing Cost, 2022. URL: https://www.simform.com/blog/software-testing-cost/ (дата звернення: 02.04.2023).

2. Dudekula M., Katam Reddy K., Kai P., Benefits and Limitations of Automated Software Testing: Systematic Literature Review and Practitioner Survey, Автоматизація тестування програмного забезпечення (AST), 7-й міжнародний семінар з питань, 2012.

3. A. Contan, C. Dehelean and L. Miclea, «Test automation pyramid from theory to practice», 018 Міжнародна конференція IEEE з автоматизації, якості та тестування, робототехніки (AQTR), Клуж-Напока, Румунія, 2018, с. 1-5, doi: 10.1109/AQTR.2018.8402699.

4. Vogel-Heuser, B., Diedrich, C., Fay, A., Jeschke, S., Kowalewski, S., Wollschlaeger, M. and Göhner, P. (2014) Challenges for Software Engineering in Automation. Журнал програмної інженерії та додатків, 7, с. 440-451. doi: 10.4236/jsea.2014.75041

5. Shukla, P., Patel, D., Challenges in Test Automation Framework Design and Development. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 2016, с. 67-71.

6. Khan, S. R., Ali, T., Khan, S., Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2018, с. 2097-2108.

7. Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз данних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (6)

8. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2023, (1)

9. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023 (1)

10. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (5).

11. Humayun, M., Iqbal, M. Z., The challenges and benefits of continuous integration in software engineering. Information and Software Technology, 2017, с. 153-167.

12. Bajaj, S., & Singh, S. (2017). Automation testing challenges and solutions: A review. International Journal of Computer Applications, 173(4), 23-28.

13. Олександр Ш., Занурення в патерни проєктування / за ред. М. Ельвіри, Refactoring.Guru, 2021.

14. M. Leotta, D. Clerissi, F. Ricca and C. Spadaro, «Improving Test Suites Maintainability with the Page Object Pattern: An Industrial Case Study,» 2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops, Люксембург, Люксембург, 2013, с. 108-113, doi: 10.1109/ICSTW.2013.19.

15. Gunjan K., Page Object Model, URL: https://www.toolsqa.com/selenium-webdriver/page-object-model/ (дата звернення: 03.04.2023).

16. John Kent M. Sc, Test Automation: From Record / Playback to Frameworks, 2019, URL:https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=327a028cc53b0774671ee380e0e268e3ffae28b4 (дата звернення: 03.04.2023).

17. Sauce Labs, Parameterized Testing: A Practical Guide for Better Tests., URL: https://saucelabs.com/resources/articles/parameterized-testing-a-practical-guide-for-better-tests.(дата звернення: 01.04.2023)

18. Nikolai Tillmann, Jonathan de Halleux, and Tao Xie, Parameterized unit testing: 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering – Volume 2 (ICSE '10). Association for Computing Machinery, Нью-Йорк, США, с. 483–484. doi: https://doi.org/10.1145/1810295.1810441

19. Z. Ali, S. S. Awan, S. A. Khan, M. H. Shah, A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications, 2019

20. ISTQB Glossary, URL: https://glossary.istqb.org/en_US/search?term= (дата звернення: 30.03.2023).

21. Sheekha J, What is Version Control System, 2021, URL: https://www.toolsqa.com/git/version-control-system/ (дата звернення: 07.04.2023).

22. Dzone, The State of Continuous Integration and Continuous Delivery: 2021 Report, 2021, URL: https://dzone.com/articles/ci-cd-tools-and-trends-survey-2019-2020-results (дата звернення: 30.03.2023).

23. SauceLabs, The Benefits of Containers in Agile Testing, 2021, URL: https://saucelabs.com/resources/white-papers/containerization-testing-landscape-report-2019 (дата звернення: 30.03.2023).

REFERENCES:

1. Hardik S. (2022) Software Testing Cost. URL: https://www.simform.com/blog/software-testing-cost/ (data zvernennia: 02.04.2023).

2. Dudekula M., Katam Reddy K., Kai P. (2012) Benefits and Limitations of Automated Software Testing: Systematic Literature Review and Practitioner Survey, Avtomatyzatsiia testuvannia prohramnoho zabezpechennia (AST), 7-y mizhnarodnyi seminar z pytan.

3. A. Contan, C. Dehelean and L. Miclea (2018) «Test automation pyramid from theory to practice», 018 Mizhnarodna konferentsiia IEEE z avtomatyzatsii, yakosti ta testuvannia, robototekhniky (AQTR), Kluzh-Napoka, Rumuniia, s. 1-5, doi: 10.1109/AQTR.2018.8402699.

4. Vogel-Heuser, B., Diedrich, C., Fay, A., Jeschke, S., Kowalewski, S., Wollschlaeger, M. and Göhner, P. (2014) Challenges for Software Engineering in Automation. Zhurnal prohramnoi inzhenerii ta dodatkiv, 7, s. 440-451. doi: 10.4236/jsea.2014.75041

5. Shukla, P., Patel, D. (2016) Challenges in Test Automation Framework Design and Development. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, p. 67-71.

6. Khan, S. R., Ali, T., Khan, S. (2018) Issues and Challenges of Test Automation: A Systematic Literature Review. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, p. 2097-2108.

7. Tverdokhlib A. O., Korotin D. S. (2022) Efektyvnist funktsionuvannia kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, no. 6.

8. Tsvyk O.S. (2023) Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriia: Tekhnichni nauky, no. 1.

9. Novichenko Ye.O. (2023) Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohistychnykh tsentriv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, no. 1.

10. Zaitsev Ye.O. (2022) Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, no. 5.

11. Humayun, M., Iqbal, M. Z. (2017) The challenges and benefits of continuous integration in software engineering. Information and Software Technology, c. 153-167.

12. Bajaj, S., & Singh, S. (2017) Automation testing challenges and solutions: A review. International Journal of Computer Applications, 173(4), 23-28.

13. Oleksandr Sh. (2021) Zanurennia v paterny proiektuvannia / za red. M. Elviry, Refactoring.Guru.

14. M. Leotta, D. Clerissi, F. Ricca and C. Spadaro (2013) «Improving Test Suites Maintainability with the Page Object Pattern: An Industrial Case Study,» 2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops, Liuksemburh, Liuksemburh, s. 108-113, doi: 10.1109/ICSTW.2013.19.

15. Gunjan K., Page Object Model. URL: https://www.toolsqa.com/selenium-webdriver/page-object-model/ (data zvernennia: 03.04.2023).

16. John Kent M. Sc. (2019) Test Automation: From Record/Playback to Frameworks. URL: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=327a028cc53b0774671ee380e0e268e3ffae28b4 (data zvernennia: 03.04.2023).

17. Sauce Labs, Parameterized Testing: A Practical Guide for Better Tests., URL: https://saucelabs.com/resources/articles/parameterized-testing-a-practical-guide-for-better-tests.(data zvernennia: 01.04.2023)

18. Nikolai Tillmann, Jonathan de Halleux, and Tao Xie, Parameterized unit testing: 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering – Volume 2 (ICSE 10). Association for Computing Machinery, Niu-York, SShA, s. 483–484. doi: https://doi.org/10.1145/1810295.1810441

19. Z. Ali, S. S. Awan, S. A. Khan, M. H. Shah (2019) A Systematic Review of Test Automation Tools and Frameworks for Web Applications.

20. ISTQB Glossary, URL: https://glossary.istqb.org/en_US/search?term= (data zvernennia: 30.03.2023).

21. Sheekha J. (2021) What is Version Control System, URL: https://www.toolsqa.com/git/version-control-system/ (data zvernennia: 07.04.2023).

22. Dzone (2021) The State of Continuous Integration and Continuous Delivery: 2021 Report. URL: https://dzone.com/articles/ci-cd-tools-and-trends-survey-2019-2020-results (data zvernennia: 30.03.2023).

23. SauceLabs (2021) The Benefits of Containers in Agile Testing. URL: https://saucelabs.com/resources/white-papers/containerization-testing-landscape-report-2019 (data zvernennia: 30.03.2023).

UDC 632:654.672
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.2

APACHE WEB SERVER PERFORMANCE OPTIMIZATION

Antonenko A. V. – *PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Standardization and Certification of Agricultural Products of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Mishkur Yu. V. – *Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 00009-0004-6807-6914

Solskyi D. Ya. – *Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0005-0351-5987

Solobaiev S. H. – *Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0008-6298-4777

Poduran D. V. – *Master at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0005-4177-5456

Sarafaniuk R. O. – *Master at the Department of Computer Engineering of the State University of Information and Communication Technologies*
ORCID ID: 0009-0000-5284-2910

This article explores approaches to online optimization of the Apache web server, focusing on the MaxClients parameter. Using empirical and analytical methods, the researchers prove that MaxClients has a large impact on response time, and recommend hill-climbing strategies to determine the optimal value of MaxClients. The study includes the analysis of two optimizers using different approaches, such as Newton's method and fuzzy control, as well as heuristics based on the relationship between resource utilization and response time. In general, online optimization techniques can reduce the response time by a factor of 10 or more compared to the static default, although this may require some trade-offs between different approaches. Investigating opportunities to improve the speed and response time of the Apache web server through various techniques and settings such as optimizing server settings, using caching, data compression, optimizing request routing, and others is really important in today's Internet environment. The purpose of the study is to improve the performance and response speed of the Apache web server, which can be useful for developers and administrators of web applications and services. The speed and response time of servers are important factors in meeting user needs and achieving business goals of web applications and services. Since Apache is one of the most widely used web servers in the world, optimizing Apache server response time is an important task for many web development and administration professionals. This study examines various approaches and techniques for optimizing the response time of the Apache web server, including configuring server parameters, using caching, data compression, optimizing request routing, and others. The results of the study can be useful for developers and administrators of web applications and services that work with the Apache web server. Optimizing Apache server response time can significantly improve the performance and efficiency of web applications and services, which in turn can lead to user satisfaction and business goals.

Key words: *Apache web server, Apache MaxClients, Apache architecture, optimization, fuzzy control, heuristics.*

Антоненко А. В., Мішкур Ю. В., Сольський Д. Я., Солобаєв С. Г., Подуран Д. В., Сарафанюк Р. О. Оптимізація продуктивності веб-сервера Apache

У цій статті досліджуються підходи до онлайн-оптимізації веб-сервер Apache, зосереджуючись на параметрі MaxClients. З використанням емпіричних та аналітичних методів дослідники доводять, що MaxClients має великий вплив на час відгуку, і рекомендують використовувати стратегії для підняття на гору для визначення оптимального значення MaxClients. Дослідження включає аналіз двох оптимізаторів, що використовують різні підходи, такі як метод Ньютона і нечітке керування, а також евристику, яка базується на зв'язку між використанням ресурсів та часом відгуку. Загалом, методи онлайн-оптимізації дозволяють скоротити час відповіді у 10 або більше разів порівняно зі статичним значенням за замовчуванням, хоча це може вимагати деяких компромісів між різними підходами. Дослідження можливостей покращення швидкості та часу реакції веб-сервера Apache за допомогою різноманітних технік і налаштувань, таких як оптимізація налаштувань сервера, використання кешування, стиснення даних, оптимізація маршрутизації запитів та інших, дійсно має велике значення у сучасному Інтернет-середовищі. Мета дослідження полягає в поліпшенні продуктивності та швидкості відповіді веб-сервера Apache, що може бути корисним для розробників та адміністраторів веб-додатків та сервісів. Швидкість та час відповіді серверів є важливими факторами для задоволення потреб користувачів та досягнення бізнес-цілей веб-додатків та сервісів. Оскільки Apache є одним з найпоширеніших веб-серверів у світі, оптимізація часу відповіді сервера Apache є важливим завданням для багатьох фахівців у галузі веб-розробки та адміністрування. В даному дослідженні розглянуті різні підходи та техніки для оптимізації часу відповіді Apache веб-сервера, включаючи налаштування параметрів сервера, використання кешування, стиснення даних, оптимізацію маршрутизації запитів та інші. Результати дослідження можуть бути корисними для розробників та адміністраторів веб-додатків та сервісів, які працюють з Apache веб-сервером. Оптимізація часу відповіді Apache серверу може суттєво покращити продуктивність та ефективність веб-додатків та сервісів, що, в свою чергу, може призвести до задоволення користувачів та досягнення бізнес-цілей.

Ключові слова: *веб-сервер Apache, Apache MaxClients, архітектура Apache, оптимізація, нечіткий контроль, евристика.*

Introduction. The problem is that the response time of the Apache Web server can be quite high depending on the load and the number of requests coming to the server. This can lead to a poor user experience and adversely affect the performance of the website. Optimizing the response time of the Apache Web server can include various strategies such as caching static files, adjusting the logging level, improving the processing of requests using different algorithms, adjusting server configuration options, and optimizing the database if it is used. The result of optimization can be a decrease in server response time and an increase in site performance, which can positively affect the user experience and site ranking in search engines.

The aim of the study. The goal of optimizing Apache web server response time is to improve the performance and efficiency of web applications and services that use this web server. To achieve this goal, various approaches and methods for optimizing the response time of Apache web servers should be considered, such as server configuration, use of caching, data compression, optimization of request routing, etc. Optimizing the response time of the Apache server can significantly improve the performance and efficiency of web applications and services, resulting in the satisfaction of user needs and the achievement of business goals.

The objects of research for optimizing the response time of the Apache web server are the web server itself, its configuration parameters and interaction between clients and server applications. The study should cover web server settings such as network settings, operating system configuration, server application settings, request processing, and response sending.

The process by which the server responds to client requests and its parameters are the subject of research in the work devoted to optimizing the response time of the

Apache web server. Research tasks are request processing speed, response time, number of requests per unit of time, number of simultaneous connections and other parameters that can affect server response time.

Analysis of recent research and publications. With the proliferation of e-commerce systems, service quality, particularly response time, is attracting increasing attention. One of the challenges in this context is adapting systems to changing workloads by optimizing them through online configuration. This article reviews the following approaches to online optimization on Apache web servers, with an emphasis on methods that are less invasive and can be applied to a wide range of configurations and systems.

Consider the Apache MaxClients parameter, which determines the number of requests processed by the web server in parallel. Table 1 shows the average response times measured with different configurations of MaxClients for different workloads. The test environment used to collect this data will be described later in this section.

Table 1

Response time for various loads, sec.

MaxClients	Workload	
	Dynamic	Dynamic + Static
150	50	
650	1	15
900	30	2

It is often found that the optimal value of MaxClients varies depending on the type of pages visited by the site. Because real-world workloads can change rapidly, optimizing these important parameters online can significantly improve them [1, 2].

This article describes a general approach to online optimization of the response time of the widely used Apache web server. A related area of research is differentiated services, which are aimed at achieving response time goals for different classes of tasks. The authors use an analog-integral controller to adjust and differentiate the response time. A multi-input multi-output controller scheme is used to regulate server CPU and memory usage within a given QoS value, and an approach that combines queuing theory and control theory to regulate response time is described. Unfortunately, the control problem that this approach solves is very different from the optimization problem [3, 4]. Essentially, regulation (eg, providing response time targets for gold and silver services) defines how to «cut the pie», and optimization (eg, minimizing response time for a class of service) is what it does. Several studies have been conducted in the field of optimization of online resources in computer systems. This study describes an Apache implementation that manages web server resources based on profit maximization (e.g., response within 8 seconds to avoid pushing users away). Although the results are interesting, this approach requires significant changes to Apache's resource management scheme. This approach considers benefit maximization in service level agreements for web server farms, but in a way that is based on an accurate analytical model of the managed system.

Presentation of the main research material. Recently, a fuzzy control approach was proposed, which allows to minimize the response time by combining a feedback control scheme with a qualitative analysis of the influence of configuration parameters on QoS. Unfortunately, this approach has a long convergence time [6].

Figure 1 shows our proposed architecture. The target system (e.g., Apache) provides one or more configuration parameters (e.g., MaxClients) that are dynamically changed by the optimizer to optimize the measured variable (e.g., response time). First, MaxClients is shown to have an ascending effect on response time, and therefore a hill-climbing method can be used to determine the optimal value of MaxClients. Two hill-climbing optimizers are studied, one based on Newton's method and the other based on fuzzy control.

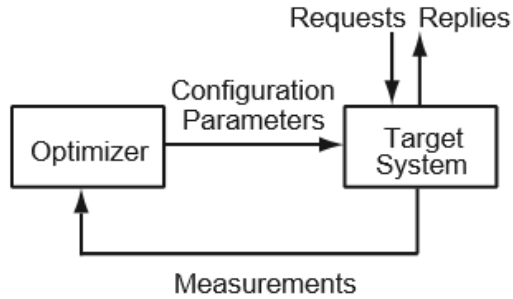


Fig. 1. General architecture for online optimization. The target system is controlled by configuration parameters that are dynamically changed by the optimizer in response to changing workloads

The third method is a heuristic method that uses the observed relationship between loading bottlenecks and minimizing response time. Newton's method performs better than Apache's standard method, but gives inconsistent results due to different response times. Fuzzy control is more reliable but converges slowly. Heuristics work well in our prototype system, but are difficult to generalize because they require knowledge of bottlenecks and the ability to measure resource usage [2].

Apache is typically structured as a collection of workers that process HTTP requests. Our study uses version 1.3.19 where workers are processes, but we believe the basic idea can be broadly applied.

The request flow in Apache is shown in Figure 2. The request enters the TCP accept queue, where it waits for a worker. Workers process the request until it is completed, after which they accept a new request. The number of worker processes is limited by the MaxClients parameter [5].

Many conclusions in this article are based on the results of experiments. All experiments were performed on a Pentium III 600 MHz server with 256 MB RAM and Apache 1.3.19 server software with Linux 2.4.7 on the same machine, connected to a 100 Mbps LAN; used a synthetic workload generator running on the same machine. File size distribution is the same as in Webstone 2.5; static and dynamic loads were used. Requests to dynamic pages were handled by CGI scripts in Webstone 2.5. More details are needed to explain how the queries are generated.

Our workload model is presented in WAGON [9].

More details are needed to explain how to submit a request. Our workload model is based on the WAGON model, which has been proven to be applicable to a wide range of web requests. This model organizes the workload into sessions (which are a series of user interactions). As shown in Figure 2, a session consists of several page requests. The page contains a number of built-in objects whose parameters are determined by the length of the packet. Thus, the load parameters are session arrival rate, session duration

(number of clicks or page requests in a session), packet length (number of objects in a packet), and reasoning time (time between successive clicks). Table 2 summarizes the parameters used in this work and is based on data provided by a public website based on a synthetic blog created using the WAGON model and using httperf to make HTTP/1.1 requests.[10, 11].

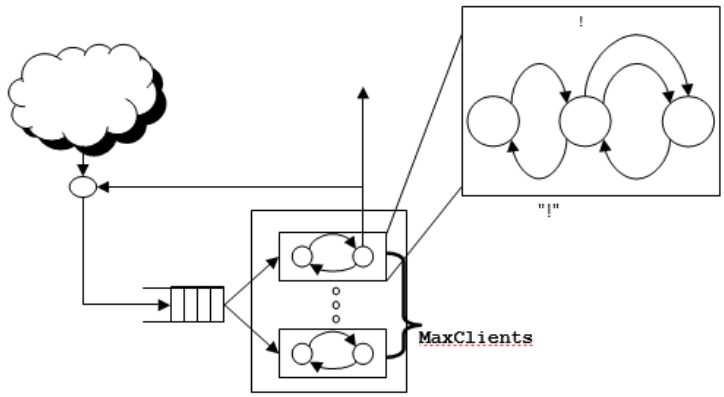


Fig. 2. Apache architecture and session flow

Table 2

Workload parameters

Parameter Nome	Distribution	Parameters
Session Rate	Exponential	Mean = 0.1
Session Length	Log Normal	Mean = 8, Ơ = 3
Burst Length	Gaussian	Mean = 7, Ơ = 3
Think Time (s)	Log Normal	Mean = 30, Ơ = 30

The metric we decided to minimize is server-side response time. Measuring response time on the client side is the most meaningful metric for users, but this information is usually not available in real time on the web server. Also, while client-side response times can be approximated from server-side measurements and TCP models, server-side response times can only be verified [12].

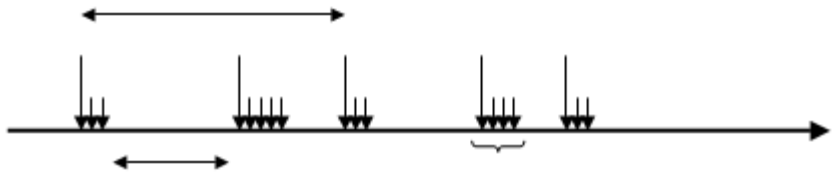


Fig. 3. Elements of the WAGON workload model
(The solid and dashed lines indicate two sessions. The long arrow indicates the HTML text of the Web page, while the short arrow indicates the request to the Web page object)

This article looks at server-side response time, namely page response time (RT). This metric needs to be evaluated because page delivery may involve multiple requests. The following formula is used for this:

$$RT = AQT + BL \times ST \quad (1)$$

Accept Queue Time (AQT) comes from the Linux kernel and adds a tool to measure the average waiting time of connections entering the accept queue over a period of time. Service Time (ST) is measured by measuring the first and last steps of Apache's request processing cycle (that is, when the request is received and when the response is sent). The average number of embedded requests per page, also known as the packet length, is denoted BL. It can be calculated as the number of requests handled by all workers divided by the number of connections handled in the TCP host queue, because HTTP/1.1 connection persistence means that an existing TCP connection remains open between successive HTTP requests in a packet, only the first request must establish a TCP connection and enter the TCP host queue. This leads to the above equation.

Figure 6 shows Apache experimental results with different MaxClients settings. The circle shows the average response time, and the vertical line shows the root mean square deviation. Notice that the circular line appears concave at the top of this curve. Also, this curve shows that MaxClients has more than a 10x impact on response time for this workload.

This concavity can be explained in terms of the Apache architecture: if the value of MaxClients is too low, there will be a large delay due to waiting in the TCP receive queue. In fact, the queue may overflow and requests may be rejected. On the other hand, if the value of MaxClients is too large, resources will be overloaded, which also reduces performance. In extreme cases, exceeding the process limit can lead to internal server errors. The overall result of these factors is that the response time is an upward-concave function of MaxClients. Essentially, a workflow can be thought of as the logical resources required to process a request. However, this requires physical resources such as CPU, memory, and I/O bandwidth.

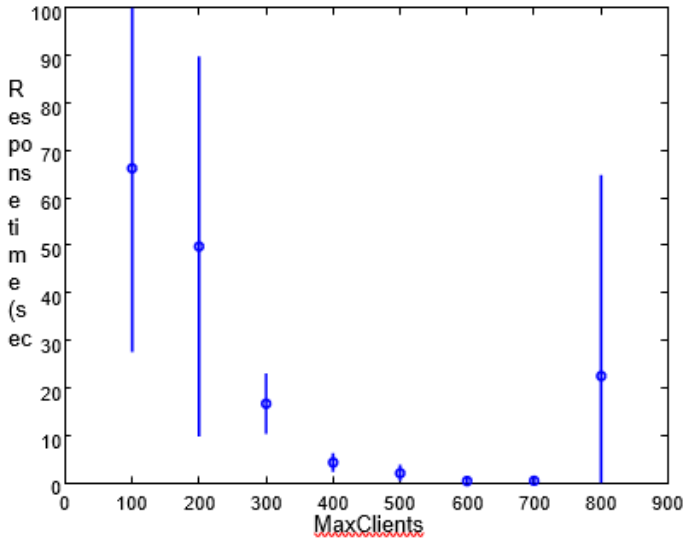


Fig. 4. Impact of MaxClients on Response Time

Since we are interested in online optimization, we need to change MaxClients dynamically. For this, a mechanism similar to Graceful Restart was implemented. This mechanism reportedly allows changing MaxClients without stopping Apache. This

requires an agent in the Apache system. This agent also provides tools such as CPU usage, memory usage, and server-side response time.

Although this article focuses on MaxClients, we believe that the approach used is more widely applicable. For example, we're currently exploring KeepAliveTimeOut, another Apache parameter that specifies the amount of time a session can remain inactive when using a persistent connection. Other systems have configuration options similar to MaxClients, such as the number of servlet threads or EJB threads on the application server [13].

Online optimization describes how the response time can be minimized by dynamically adapting MaxClients, assuming that the response time is concave to MaxClients. Several methods are considered, including Newton's method, fuzzy control, and heuristic methods. These methods are compared in terms of minimizing the response time and speed of convergence to a fixed value. The first is desirable from the point of view of improving the quality of service. The second is important for adaptation to load changes. Both of the above approaches involve feedback. Therefore, MaxClients is adjusted based on the observed impact on response time or other metrics. Alternatively, you can use the direct feedback method, when the optimal value of MaxClients is calculated based on the analytical model. This direct feedback method is attractive because it avoids problems related to stability and speed of convergence. However, this method requires an analytical model with input data that a) tracks the measured response time and b) can be easily estimated. The model developed satisfies point (a) but not (b). For example, the service speed μm depends on the number of servers, i.e. μm = f(m), but we do not know this function. It is possible to develop a model that satisfies (a) and (b), but in the absence of such a model we turn to a feedback approach [16, 17].

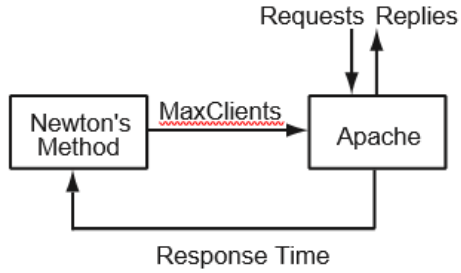


Fig. 5. Apache online optimization architecture using Newton's method to dynamically adjust MaxClients based on response time measurements

Figure 5 shows an architecture where Newton's method is used to optimize when browsing Apache online using dynamically adapting MaxClients [14]. Newton's method is a widely used optimization technique that uses the slope of minimizable functions (eg, Figure 4) to estimate the value of MaxClients that minimizes the response time. For example, if y is response time and x is MaxClients, you can use the approximation y = f(x) ≈ a(x-x*)2+b. Newton's method is represented by the next level.

$$x_{k+1} = x_k - (\nabla^2 f(x_k))^{-1} \nabla f(x_k) \quad (2)$$

where xk is the value of x at a discrete moment in time k. Equation (3) starts with the initial value x0 at k = 0.

Its slope (the second partial derivative f(x)) is calculated at the point xk; its negative value indicates a steeper descent direction). The value (of the second partial derivative

of f(x)) indicates the size of the update step; introducing second-order partial derivatives eliminates the local linear search and can lead to faster convergence. However, this algorithm is more sensitive to measurement noise.

Fuzzy control is another approach to online optimization. This study examines exactly this approach. Figure 6 shows an architecture that uses fuzzy control to optimize when browsing Apache online by dynamically adapting MaxClients. The fuzzy controller uses changes in MaxClients and view time to dynamically optimize MaxClients.

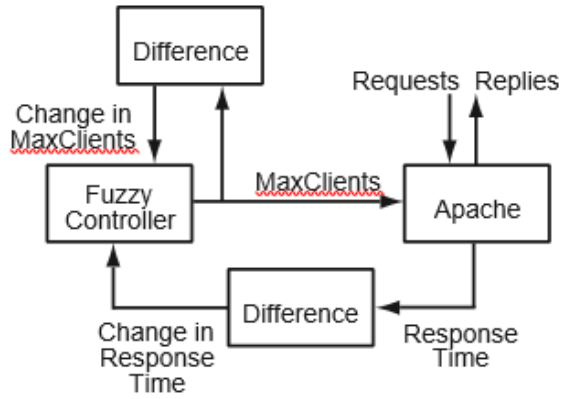


Fig. 6. Apache online optimization architecture using Fuzzy Control to dynamically adjust MaxClients based on changes in MaxClients and response time

The behavior of the fuzzy controller is governed by a set of IF-THEN rules. For example, «IF the change in MaxClients is small and the change in response time is small, THEN the next change in MaxClients is small.» The terms changein-MaxClients and changein-response-time are linguistic variables and neglarge are linguistic values. Linguistic changes are a natural way to deal with the uncertainty that creates probability theory in the context of computer systems. Country linguistic variables in a form that corresponds to the number of variables. Fuzzy control systems provide a method of matching between numerical and linguistic changes (so-called fuzzy fuzzification and unfolding). For more information on fuzzy control, see Unclear control [15, 18].

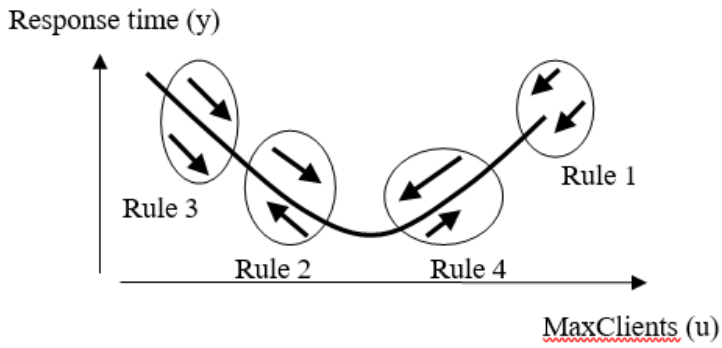


Fig. 7. Illustration of fuzzy rules

Table 3

Unclear rules

Rule	IF	THEN
	change in AND change in Max Clients AND Response Time	change in next Max Cleints
1	neglarge AND neglarge	neglarge
2	neglarge AND poslarge	poslarge
3	poslarge AND neglarge	poslarge
4	poslarge AND poslarge	poslarge

The considered optimization problem can be easily expressed in the form of fuzzy rules. The rules in Table 3 are organized as follows (also shown in Figure 7, where the dashed arrow indicates the precondition IF and the solid arrow indicates the subsequent THEN part): the IF part shifts the position on the lookup time curve for the optimal value of MaxClients. For example, Rule 4 considers the case where MaxClients increases, which increases the browsing time. This means that you are to the right of the optimal MaxClients value; the THEN part shows how you change MaxClients, where neglarge is the decrease and poslarge is the increase. Rules 1 and 3 indicate the position where the response time decreases as a result of the last MaxClients change in the right direction. In contrast, rules 2 and 4 deal with situations where the response time has increased as a result of the last operation, i.e. a «wrong operation»: the number of MaxClients changes varies with the rate of convergence and the degree of steady-state oscillation.

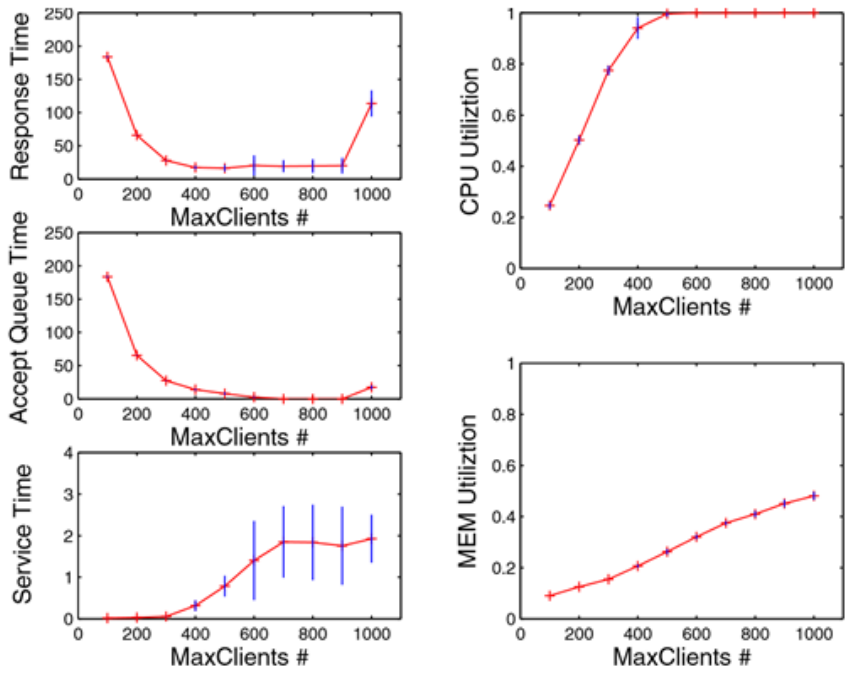


Fig. 8. Measuring Apache for dynamic load

Obviously, if the curve is steeper, then small changes in MaxClients are optimal. For more gradual gradients, it is better to use large changes. Saturation-based optimization heuristics are robust to noise and the specific functions being optimized, and are driven by the pursuit of fast convergence. As MaxClients increase and CPU load is 100%, the response time is minimized. This can be seen from the static and dynamic load measurements in Figures 10 and 11, where the average queue time and service time are measured for different values of MaxClients, and the browsing time is calculated using level (1). CPU and memory usage were also measured to monitor system resource usage. In Fig. 10 hours of viewing decreases when increasing MaxClients from 200 to 480, after which CPU usage is around 100%. In Fig. 11 this saturation state occurs when MaxClients reaches approximately 800 [19, 20].

Our intuition as to why this happens is this: MaxClients is looking for a set of logical resources called Apache workers. These logical resources are divided into physical resources such as CPU, memory, and I/O bandwidth. By increasing MaxClients until the physical resources are saturated, more logical resources can run in parallel.

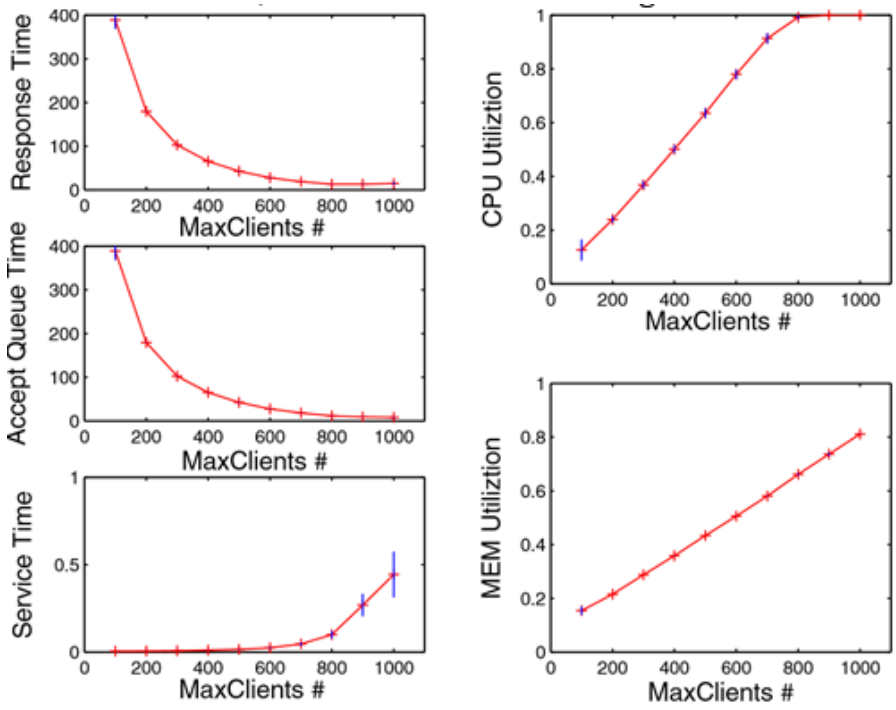


Fig. 9. Measuring Apache for static load

However, as soon as the physical resource is saturated, the further increase of the logical resource does not increase parallelism. Instead, this increase adds overhead (for example, due to switching processes).

The experimental results compare the online optimization methods in terms of the minimum value of the achieved response time, convergence speed and stability. Figure 11 compares the performance of Newton's method with Apache's default scheme. The figure contains three subfigures, each of which has two plots. In each figure, the upper graph shows the trajectory of MaxClients and the lower graph shows the corresponding

response time. Note that Newton's method does improve the response time compared to the standard Apache scheme. However, due to the variability of the response time, different runs of Newton's method can produce very different results. This is because obtaining the Hessian matrix requires three samples to calculate the second derivative at each step of the algorithm. This increases the convergence time and also makes the algorithm more sensitive to noise in the response time measurement. Unfortunately, the response time is usually quite noisy unless averaged over many samples (something that reduces the speed with which the controller can respond to changes in workload). Because of this sensitivity to noise, we do not consider Newton's method in other comparisons.

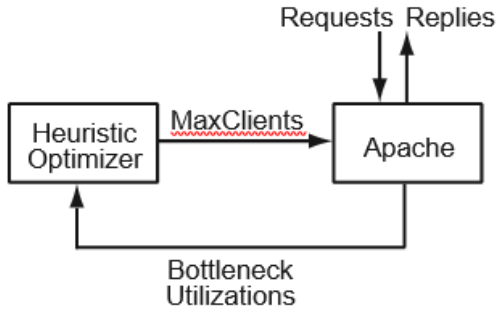


Fig. 10. Apache Online Optimization Architecture Using Saturation-Based Heuristics to Dynamically Adjust MaxClients and Changes in Bottleneck Usage

Next, we compare the typical Apache scheme with fuzzy control and the heuristic method presented earlier. Figure 13 shows the results for dynamic loading. (The results are structured similarly to Figure 11, 12, 13)

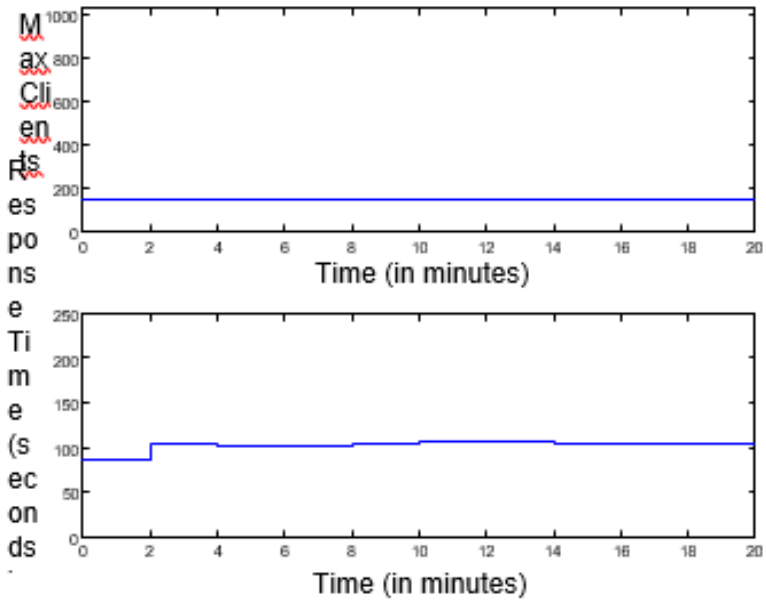


Fig. 11. A typical Apache control scheme

We see that the heuristic converges to its MaxClients value after 2 minutes. For fuzzy control, convergence takes about 14 minutes. On the other hand, fuzzy control achieves a shorter response time. Figure 14 shows the results for static loading. Again, heuristics converge faster than fuzzy control.

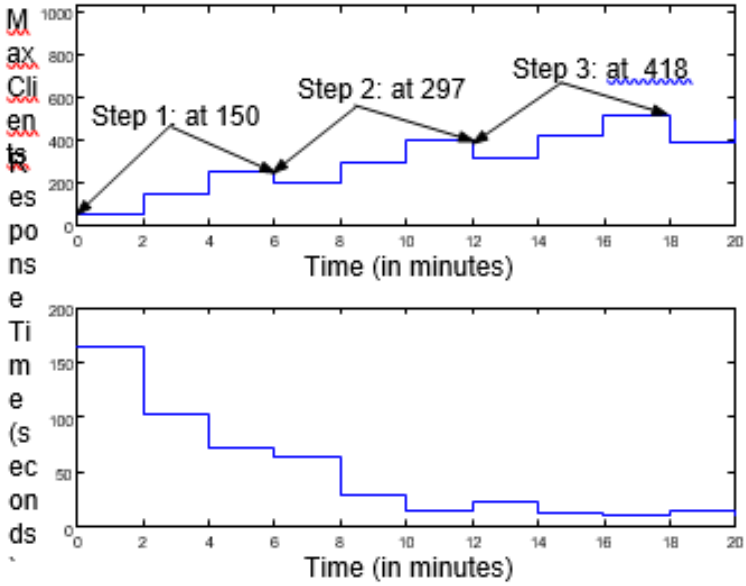


Fig. 12. First launch

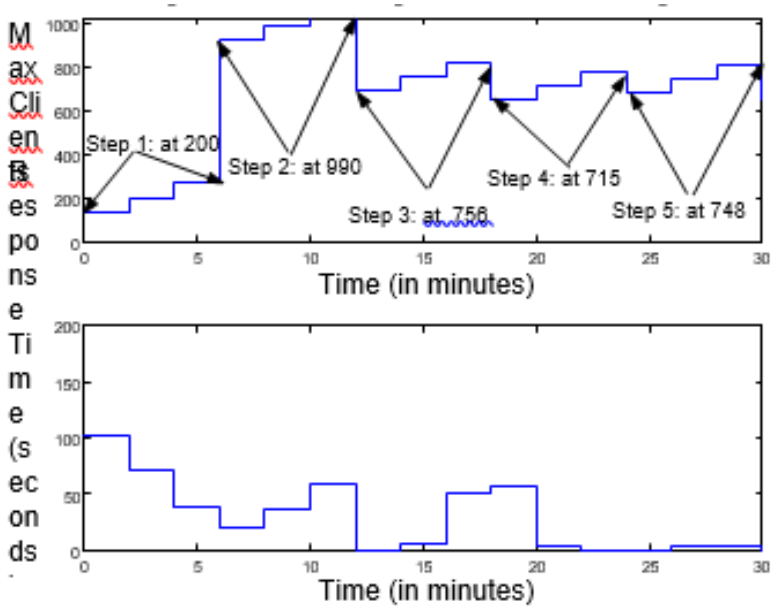


Fig. 13. Second launch

Comparison of the standard Apache method and the Newton method under dynamic loading; Newton's method certainly achieves a shorter response time, but its behavior is inconsistent due to response time variability. Here, however, the steady-state response time achieved by the heuristic method is almost equal to the response time achieved by the fuzzy control.

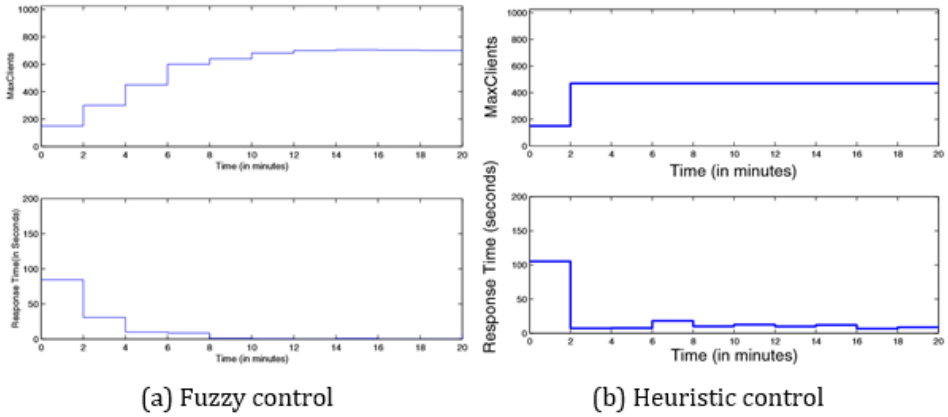


Fig. 14. Comparison of performance of online optimization schemes under dynamic load

Table 4 shows a qualitative comparison of the four formed systems. The Apache system handles minimization view points for response time mainly because it was not designed for this purpose. The Newtonian method is better in this respect, but converges completely and has poor immunity.

Table 4

Qualitative comparisons of methods

	Optimization	**Speed**	**Robustness**
Default Apache	Poor	Fast	Good
Newton's Method	Fair	Slow	Poor
Fuzzy Control	Good	Slow	Good
Heuristic	Good	Fast	Fair

Fuzzy control is very stable, after which it is slightly assumed, but coincides completely. Our heuristics provide good optimization and fast convergence, but resource overload assumptions are not always true.

Conclusions. This article explores an approach to web optimization of Apache web server configuration settings, focusing on techniques that are less invasive and can be applied to a wide range of settings and systems. We focus on the MaxClients parameter, which controls the maximum number of clients. First, we show that MaxClients has an ascending effect on response time and that descent methods can be used to determine the optimal value of MaxClients. This has been demonstrated through measurements and analytical modeling. The basic intuition is that MaxClients controls the trade-off between TCP receive queue delays and delays due to contention for operating system resources. We investigated two optimizers using the hill-climbing method (one based on Newton's method and the other based on fuzzy control); the third method is a heuristic

that exploits the relationship between loading bottlenecks and minimizing response time. In both cases, web optimization showed a response time reduction of more than 10 times compared to using static default values. The trade-offs between online systems are as follows. Newton's method is well known, but it does not provide consistent results with highly variable data such as response time. Fuzzy control is more reliable but converges slowly. The heuristic method works well in our prototype system, but may be difficult to generalize because it requires knowledge of bottlenecks and the ability to measure resource usage. Future challenges include the following. First, optimization of several parameters at the same time. This may include other parameters that can be configured dynamically in Apache, such as KeepAliveTimeOut (which determines how long a TCP connection must remain alive for a client before it is terminated). Second, although we studied performance tuning of Apache web servers, there are more complex systems, such as database servers and application servers, where online optimization can have a more dramatic effect on end-user response times.

BIBLIOGRAPHY:

1. Y. Diao, J. L. Hellerstein, and S. Parekh, "Optimizing quality of service using fuzzy control," in Proceedings of Distributed Systems Operations and Management, 2012.

2. Apache Software Foundation. http://www.apache.org.

3. Y. Diao, J. L. Hellerstein, and S. Parekh, "A business-oriented approach to the design of feedback loops for performance management," in Proceedings of Distributed Systems Operations and Management, 2011.

4. C. Lu, T. Abdelzaher, J. Stankovic, and S. Son, "A feedback control approach forguaranteeing relative delays in web servers," in Proceedings of the IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium, 2011.

5. Y. Diao, N. Gandhi, J. L. Hellerstein, S. Parekh, and D. M. Tilbury, "Using MIMOfeedback control to enforce policies for interrelated metrics with application to the Apache web server," in Proceedings of Network Operations and Management, 2012.

6. L. Sha, X. Liu, Y. Lu, and T. Abdelzaher, "Queuing model based network serverperformance control," in Proceedings of the IEEE Real-Time Systems Symposium, 2012.

7. D. Menasce, V. Almeida, R. Fonsece, and M. Mendes, "Busines oriented resourcemanagement policies for e-commerce servers," Performance Evaluation, 2010, (42), 223–239.

8. Z. Liu, M. S. Squillante, and J. L. Wolf, "On maximizing service-level-agreementprofits," in Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce (EC'11), 2011.

9. Mindcraft, "Webstone 2.5 web server benchmark," 2008. http://www.mindcraft.com/ webstone/.

10. Z. Liu, N. Niclausse, C. Jalpa-Villanueva, and S. Barbier, "Traffic model and performance evaluation of web servers," Tech. Rep. INRIA, 2009, 38-40

11. D. Mosberger and T. Jin, "httperf: A tool for measuring web server performance,"in First Workshop on Internet Server Performance (WISP 2008), ACM, 2008, 59-67.

12. D. P. Olshefski, J. Nieh, and D. Agrawal, "Inferring client response time at the webserver," in Proceedings of the ACM SIGMETRICS Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, 2012.

13. S. S. Lavenberg, ed., Computer performance modeling handbook. Orlando, FL: Academic Press, INC, 2013.

14. L. Perssini, The Mathematics of Nonlinear Programming. Springer-Verlag, 2008.

15. K. M. Passino and S. Yurkovich, Fuzzy Control. Menlo Park, CA: Addison Wesley Longman, 2008.

16. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022. (5).
17. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2023. (1).
18. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023. (1).
19 Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз данних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022. (6).
20. Lei Song (2008) Biswanath Mukherjee. On the Study of Multiple Backups and Primary-Backup Link Sharing for Dynamic Service Provisioning in Survivable WDM Mesh Networks / IEEE Journal on selected areas in Telecommunication. 2008, (26), (6), 84-91.

REFERENCES:

1. Y. Diao, J. L. (2012). Hellerstein, and S. Parekh, "Optimizing quality of service using fuzzy control," in Proceedings of Distributed Systems Operations and Management,
2. Apache Software Foundation. http://www.apache.org.
3. Y. Diao, J. L. Hellerstein, and S. Parekh. (2011). "A business-oriented approach to the design of feedback loops for performance management," in Proceedings of Distributed Systems Operations and Management.
4. C. Lu, T. Abdelzaher, J. Stankovic, and S. Son. (2011). "A feedback control approach forguaranteeing relative delays in web servers," in Proceedings of the IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium.
5. Y. Diao, N. Gandhi, J. L. Hellerstein, S. Parekh, and D. M. Tilbury. (2012). "Using MIMOfeedback control to enforce policies for interrelated metrics with application to the Apache web server," in Proceedings of Network Operations and Management.
6. L. Sha, X. Liu, Y. Lu, and T. Abdelzaher. (2012). "Queuing model based network serverperformance control," in Proceedings of the IEEE Real-Time Systems Symposium.
7. D. Menasce, V. Almeida, R. Fonsece, and M. Mendes. (2010). "Busines oriented resourcemanagement policies for e-commerce servers," Performance Evaluation, (42), 223–239.
8. Z. Liu, M. S. Squillante, and J. L. Wolf, (2011). "On maximizing service-level-agreementprofits," in Proceedings of the ACM Conference on Electronic Commerce (EC'11).
9. A. Mindcraft. (2008). "Webstone 2.5 web server benchmark" http://www.mindcraft.com/ webstone/.
10. Z. Liu, N. Niclausse, C. Jalpa-Villanueva, and S. Barbier. (2009). "Traffic model and performance evaluation of web servers," Tech. Rep. 3840, INRIA, Dec.
11. D. Mosberger and T. Jin. (2008). "httperf: A tool for measuring web server performance,"in First Workshop on Internet Server Performance (WISP 2008), ACM, 59-67.
12. D. P. Olshefski, J. Nieh, and D. Agrawal. (2012). "Inferring client response time at the webserver," in Proceedings of the ACM SIGMETRICS Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems.
13. S. S. Lavenberg, ed. (2013). Computer performance modeling handbook. Orlando, FL: Academic Press, INC.
14. L. Perssini. (2008). The Mathematics of Nonlinear Programming. Springer-Verlag.

15. K. M. Passino and S. Yurkovich. (2008). Fuzzy Control. Menlo Park, CA: Addison Wesley Longman.

16. Zaitsev Ye.O. (2022). Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, (5).

17. Tsvyk O.S. (2023). Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ceriia: Tekhnichni nauky, (1).

18. Novichenko Ye.O. (2023). Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohistychnykh tsentriv. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, (1).

19. Tverdokhlib A.O., Korotin D.S. Efektyvnist funktsionuvannia kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky, 2022, (6)

20. Lei Song (2008) Biswanath Mukherjee. On the Study of Multiple Backups and Primary-Backup Link Sharing for Dynamic Service Provisioning in Survivable WDM Mesh Networks / IEEE Journal on selected areas in Telecommunication. Vol. 26, No 6. pp. 84–91.

УДК 004.056:004.7
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.3

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Бондарчук О. І. *– магістр комп'ютерних наук*
Університету WSB Домброва Гурнича, фахівець з обробки даних Akademia WSB
ORCID ID: 0009-0003-9626-1124

Науменко Т. С. *– старший викладач кафедри вищої математики*
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет» Українського державного університету науки і технологій
ORCID ID: 0000-0003-0835-7074

Товт Б. М. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін*
Дніпровського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0000-7670-8898

Швидкі темпи розвитку цифрових технологій призвели до суттєвого збільшення складності та кількості кіберзагроз, що робить кібербезпеку одним з найважливіших питань для сучасних комп'ютерних систем. У міру того, як кібератаки стають все більш складними, традиційні заходи безпеки стають недостатніми для захисту конфіденційних даних і забезпечення цілісності інформаційних систем. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження інноваційних методів кібербезпеки, здатних ефективно протистояти таким новим загрозам. Актуальність цього дослідження полягає в необхідності підвищення стійкості комп'ютерних систем до кіберзагроз, зокрема в секторах, де захист даних має вирішальне значення, таких як фінанси, охорона здоров'я та національна безпека.

Метою цієї статті є дослідження розвитку та практичного застосування інноваційних методів кібербезпеки, адаптованих до сучасних комп'ютерних систем. Основна увага приділяється інтеграції передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання та криптографічні методи, для створення багаторівневої стратегії захисту, здатної виявляти, запобігати та пом'якшувати кіберзагрози в режимі реального часу.

Отримані результати дослідження показують, що інтеграція інноваційних технологій значно покращує виявлення та запобігання кібер-загроз. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть виявляти аномалії в структурі мережевого трафіку, що дозволяє на ранніх стадіях виявляти потенційні атаки. Криптографічні технології посилюють захист даних, забезпечуючи безпеку комунікації та зберігання інформації. Дослідження також показало, що поєднання декількох рівнів захисту створює більш надійну інфраструктуру безпеки, здатну адаптуватися до еволюції кіберзагроз.

Отже, розробка та впровадження інноваційних методів кібербезпеки є необхідною умовою для подолання викликів, пов'язаних із сучасними кіберзагрозами. Дослідження наголошує на важливості постійних інновацій у сфері кібербезпеки для попередження зловмисників і захисту критично важливих інформаційних систем. Висновки висвітлюють потенціал сучасних технологій для революційних змін у практиці кібербезпеки, відкриваючи багатообіцяючий шлях до посилення безпеки та стійкості комп'ютерних систем.

Ключові слова: *захист даних, інформаційна безпека, кіберзагрози, криптографічні технології, мережеві атаки.*

Bondarchuk O. I., Naumenko T. S., Tovt B. M. Development and implementation of innovative cybersecurity methods in computer systems

The rapid pace of digital technology development has led to a significant increase in the complexity and frequency of cyber threats, making cybersecurity one of the most critical issues for modern computer systems. As cyber-attacks become increasingly sophisticated, traditional

security measures are becoming insufficient to protect sensitive data and ensure the integrity of information systems. This necessitates the development and implementation of innovative cybersecurity methods capable of effectively countering such emerging threats. The relevance of this research lies in the need to enhance the resilience of computer systems against cyber threats, particularly in sectors where data protection is crucial, such as finance, healthcare, and national security.

The purpose of this article is to explore the development and practical application of innovative cybersecurity methods adapted to modern computer systems. The main focus is on integrating advanced technologies, such as artificial intelligence, machine learning, and cryptographic methods, to create a multi-layered defense strategy capable of detecting, preventing, and mitigating cyber threats in real-time.

The research results demonstrate that the integration of innovative technologies significantly improves the detection and prevention of cyber threats. For instance, machine learning algorithms can detect anomalies in network traffic patterns, enabling early detection of potential attacks. Cryptographic technologies enhance data protection by ensuring secure communication and information storage. The study also revealed that combining multiple layers of defense creates a more robust security infrastructure capable of adapting to the evolution of cyber threats.

Therefore, the development and implementation of innovative cybersecurity methods are essential for addressing the challenges posed by modern cyber threats. The research emphasizes the importance of continuous innovation in cybersecurity to stay ahead of malicious actors and protect critical information systems. The findings highlight the potential of advanced technologies to bring about revolutionary changes in cybersecurity practices, paving the way for enhanced security and resilience of computer systems.

Key words: *data protection, information security, cyber threats, cryptographic technologies, network attacks.*

Постановка проблеми. Швидка еволюція цифрових технологій значно трансформувала простір інформаційних систем, що призвело до зростання складності та частоти кіберзагроз, а також до появи нових, досі невідомих, типів загроз. Організації різних секторів все більше залежать від комп'ютерних систем при виконанні критично важливих операцій, тому безпека цих систем стала однією з першочергових проблем. Традиційні заходи кібербезпеки, які роками були основою захисту даних, все частіше виявляються неефективними перед складними кібератаками. Ці атаки не лише зростають у кількості, але й удосконалюються у своїх методах, використовуючи такі передові технології, як штучний інтелект, машинне навчання та соціальна інженерія, для подолання захисних систем [1].

Проблема ускладнюється взаємопов'язаністю сучасних комп'ютерних мереж, де одна вразливість може мати каскадний ефект, компрометуючи цілі системи і відкриваючи зловмисникам доступ до конфіденційних даних. Наслідки таких порушень можуть бути просто катастрофічними – від фінансових втрат і перебоїв у роботі до репутаційних збитків і юридичної відповідальності.

Розробка і впровадження інноваційних методів кібербезпеки в комп'ютерних системах стали актуальною проблемою для протидії загрозам, що постійно еволюціонують. Такі методи мають виходити за межі звичайних захисних стратегій і включати передові технології, такі як штучний інтелект, машинне навчання та криптографія, для проактивного виявлення, запобігання та пом'якшення кіберзагроз. Динамічний характер кіберзагроз вимагає, щоб ці методи були адаптивними, здатними розвиватися у відповідь на нові виклики і вразливості [2].

Ефективність таких інноваційних методів слід оцінити в реальних умовах, щоб упевнитися в їх здатності протистояти викликам і складнощам сучасного кіберпростору. Це передбачає не лише технічну розробку нових інструментів і стратегій, але й їх інтеграцію в існуючі системи кібербезпеки та узгодження з політикою та практикою організації.

Мета дослідження – аналіз розвитку та практичного застосування інноваційних методів кібербезпеки, адаптованих до сучасних комп'ютерних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних напрямків сучасних досліджень є створення новітніх криптографічних технологій. Такі науковці, як Герасимчук О. [3, с. 290] та Педяш В. [4, с. 391], які розглядали засади сучасної криптографії, стали передумовою для нового покоління науковців до вивчення інноваційних методів шифрування. Такі методи спрямовані на створення ефективніших механізмів захисту даних від нових кіберзагроз. Наприклад, гомоморфне шифрування, яке дозволяє проводити обчислення над зашифрованими даними без необхідності їх попереднього розшифрування, стало значним досягненням. Втім, його реалізація в системах реального часу залишається проблемою через обчислювальні затрати та проблеми з ефективністю. Такі науковці, як Гевко І. [5, с. 64] та Гуржій С. [6, с. 211], досягли значних успіхів у дослідженні ефективності гомоморфного шифрування, але для того, щоб зробити його придатним для масового використання, необхідна подальша оптимізація.

Ще однією важливою темою досліджень є розробка систем виявлення вторгнень (IDS) та систем запобігання вторгненням (IPS), які використовують штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (ML). Такі науковці, як Грицишен Д. [7, с. 26] та Нестеров Ф. [8, с. 64] стали новаторами у дослідженні використання алгоритмів ML для виявлення та пом'якшення кіберзагроз у режимі реального часу. Ці системи розроблені для виявлення незвичайних моделей поведінки, які можуть свідчити про кібератаку. Однак, незважаючи на прогрес, ці системи все ще вразливі до ворожих атак, коли зловмисники маніпулюють вхідними даними, щоб уникнути виявлення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Криптографічні технології є основою сучасного захисту даних, оскільки вони забезпечують конфіденційність, цілісність та автентичність інформації у світі, який постійно переходить у цифрову реальність. В умовах, коли кіберзагрози стають надзвичайно складними та масштабними, криптографія відіграє важливу роль у захисті конфіденційних даних від несанкціонованого доступу та зловмисного втручання.

З ростом складності кіберзагроз криптографічні технології розвиваються, щоб відповідати на ці проблеми. Однією з найважливіших інновацій останніх років є гомоморфне шифрування, яке дозволяє виконувати обчислення над зашифрованими даними без необхідності їх попереднього розшифрування. Це зберігає конфіденційність даних і водночас забезпечує їх безпечну обробку, що робить його особливо актуальним у хмарних обчисленнях та аналітиці даних [9, с. 13].

Квантова криптографія – ще один інноваційний підхід, який використовує принципи квантової механіки для створення захищених каналів зв'язку. Квантовий розподіл ключів («КРК») дозволяє обом сторонам генерувати спільний секретний ключ, безпека якого забезпечується законами фізики. Будь-яка спроба перехоплення квантового каналу зв'язку призведе до порушення квантового стану, що сповістить сторони про наявність стороннього втручання.

Пост-квантова криптографія також набирає популярності як відповідна реакція на потенційні загрози з боку нових квантових комп'ютерних технологій, які можуть призвести до зламу більшості криптографічних систем, що наразі використовуються. Науковці розробляють нові алгоритми, стійкі до квантових атак, що забезпечують довготривалу безпеку шифрування даних.

На основі цих інноваційних методів, технологія блокчейн запровадила інноваційні криптографічні практики. Блокчейн ґрунтується на системі розподіленого реєстру, де кожен блок пов'язаний з іншими за допомогою криптографічних хешів. Така структура дозволяє забезпечити, щоб після запису дані не могли бути

змінені без зміни всіх наступних блоків, що забезпечує міцний механізм цілісності та прозорості даних.

Криптографія є невід'ємним інструментом захисту від багатьох кіберзагроз. Її роль виходить за межі захисту даних у стані зберігання або передачі; вона є невід'ємною частиною перевірки особистості, безпечного зв'язку та захисту критичної інфраструктури.

Одне з головних застосувань криптографії – захист комунікацій в інтернеті. Такі протоколи, як SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Layer Security) використовують криптографічні методи для встановлення зашифрованих з'єднань між веб-браузерами і серверами, забезпечуючи безпечну передачу конфіденційної інформації, наприклад, облікових даних для входу в систему або фінансових даних [10, с. 134].

Криптографія відіграє важливу роль у запобіганні неавторизованому доступу до даних, що зберігаються в базах даних або на пристроях. Шифрування даних у стані очікування означає, що навіть якщо зловмисник отримає фізичний доступ до носія інформації, дані залишаться захищеними. Для захисту конфіденційної інформації від зламу зазвичай використовують шифрування всього диска, шифрування на рівні файлів і рішення для зашифрованого резервного копіювання.

У процесі верифікації ідентичності криптографічні методи використовуються для створення та перевірки цифрових ідентифікаторів. Інфраструктура відкритих ключів («ІВК») активно використовується для управління цифровими сертифікатами та ключами шифрування, що дозволяє забезпечити безпечну автентифікацію користувачів і пристроїв. Це дуже важливо для захисту доступу до онлайн-сервісів, фінансових транзакцій та конфіденційних корпоративних ресурсів [11].

Криптографія відіграє ключову роль у захисті від кібератак критично важливих об'єктів інфраструктури, таких як електромережі, системи водопостачання та транспортні мережі. Ці системи стають дедалі більше взаємопов'язаними та залежними від цифрових технологій, що робить їх вразливими до кіберзагроз. Для забезпечення цілісності та автентичності даних, якими обмінюються системи управління, а також для захисту від зловмисних втручань або збоїв у роботі використовуються криптографічні протоколи.

У таблиці 1, нами узагальнено зв'язок між різними типами кіберзагроз і відповідними криптографічними рішеннями (табл. 1).

Таблиця 1

Загальна характеристика криптографічних рішень для різних типів кіберзагроз

Кіберзагроза	Криптографічне рішення
Витік даних	Шифрування даних, повне шифрування диска
Man-In-The-Middle attack	SSL/TLS, цифрові підписи
Викрадення ідентифікаційних даних	Інфраструктура відкритих ключів, цифрові сертифікати
Програми-вимагачі	Зашифровані резервні копії, безпечне керування ключами
Неавторизований доступ	Двофакторна автентифікація, шифрування
Квантові обчислювальні загрози	Пост-квантова криптографія, квантовий розподіл ключів

Джерело: власна розробка авторів

Технології виявлення порушень є першою лінією захисту при виявленні несанкціонованого доступу або аномальних дій в мережі. Традиційні системи виявлення вторгнень (IDS) можна розділити на два типи: на основі сигнатур і на основі аномалій. IDS на основі сигнатур використовують для виявлення вторгнень заздалегідь визначені шаблони або сигнатури для відомих загроз. Вони ефективні проти відомих загроз, але недостатньо ефективні проти атак «нульового дня» – тих, що використовують раніше невідомі вразливості. З іншого боку, IDS на основі аномалій виявляють відхилення від нормальної поведінки в мережі. Ці системи ефективніше виявляють нові загрози, але часто дають хибні спрацьовування, що робить їх менш надійними без належного налаштування [12, с. 24].

Розвиток новітніх технологій призвів до створення більш складних систем виявлення вторгнень. Машинне навчання та штучний інтелект (ШІ) все більше інтегруються в IDS для розширення їхніх можливостей. IDS на основі ШІ можуть з часом вивчати шаблони мережевого трафіку, покращуючи свою здатність виявляти аномалії та зменшуючи кількість помилкових спрацьовувань. Такі системи можуть адаптуватися до змін у характері мережевого трафіку та загроз, що робить їх більш стійкими до нових векторів атак.

А ще для аналізу величезних обсягів даних і виявлення складних закономірностей, які можуть свідчити про вторгнення, використовується метод глибинного навчання – підмножина машинного навчання. Такі системи можуть обробляти дані в режимі реального часу, забезпечуючи швидке виявлення потенційних загроз. Використання ШІ та глибинного навчання в IDS є значним кроком на шляху до виявлення вторгнень, що дозволяє точніше і своєчасно виявляти мережеві атаки.

Попередження мережевих атак вимагає багаторівневого підходу, який поєднує різні технології та стратегії для захисту мережі з різних сторін. Брандмауери залишаються основним компонентом мережевої безпеки, контролюючи потік трафіку між надійними і ненадійними мережами. Сучасні брандмауери все частіше інтегруються з розширеними функціями, такими як глибока перевірка пакетів (DPI) і фільтрація на рівні додатків, що дозволяє здійснювати детальніший контроль над мережевим трафіком [13].

На доповнення до брандмауерів, системи запобігання вторгненням (IPS) відіграють важливу роль в активному блокуванні шкідливих дій. На відміну від IDS, які лише виявляють вторгнення, IPS можуть автоматично вживати заходів, щоб запобігти успіху атаки. Це може бути блокування трафіку, відправка уражених систем на карантин або реконфігурація мережевих пристроїв для зменшення загрози. IPS можуть бути розгорнуті як окремі пристрої або інтегровані з IDS в так звану уніфіковану систему управління загрозами (UTM).

Ще одним важливим методом запобігання мережевим атакам є сегментація мережі. Розділивши мережу на менші ізольовані сегменти, можна зменшити розповсюдження атаки, якщо один з них буде скомпрометований. Цей підхід дуже ефективний для захисту конфіденційних даних та критично важливої інфраструктури від латерального переміщення зловмисників.

Рішення для захисту кінцевих точок розвиваються і включають в себе розширені можливості запобігання загрозам. Вони здатні виявляти і блокувати шкідливе програмне забезпечення, програми-вимагачі та інші шкідливі програми ще до того, як вони встигнуть завдати збитків. Вони часто використовують комбінацію виявлення на основі сигнатур, поведінкового аналізу та машинного навчання для виявлення та нейтралізації загроз.

Ефективність нових підходів до виявлення та запобігання мережевим атакам потребує постійної оцінки, щоб переконатися, що вони забезпечують бажаний рівень безпеки. Однією з основних метрик, що використовуються для оцінки ефективності цих підходів, є рівень виявлення – відсоток фактичних атак, правильно ідентифікованих системою. Високий показник виявлення вказує на те, що система ефективно ідентифікує загрози, але він повинен бути збалансований з показником помилкових спрацьовувань, який вимірює частоту нешкідливих дій, помилково позначених як зловмисні [14, с. 31].

Іншим важливим показником є час реакції, який відображає швидкість, з якою система може виявити атаку і відреагувати на неї. У контексті мережевої безпеки навіть кілька секунд затримки можуть мати значні наслідки, що робить швидке виявлення та реагування вкрай важливим. Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання в IDS та IPS показала високу ефективність у покращенні показників виявлення та часу реагування, що робить ці системи ефективнішими у запобіганні атакам в режимі реального часу.

Для комплексної оцінки ефективності різних методів у таблиці 2 нами наведено ключові показники традиційних та інноваційних технологій виявлення та запобігання вторгненням (табл. 2).

Таблиця 2

Показники інноваційних та традиційних технологій виявлення та запобігання кіберзагрозам [14–15]

Технологія	Рівень виявлення	Рівень помилкових спрацювань	Час реагування	Адаптивність до нових загроз
IDS на основі сигнатур	Високий для відомих загроз	Низький для відомих загроз	Середній	Швидка
IDS на основі аномалій	Середній	Високий	Середній	Висока
IDS на основі штучного інтелекту	Високий	Низький	Швидкий	Висока
Традиційна IPS	Високий для відомих загроз	Низький для відомих загроз	Середній	Низька
ШІ-інтегровані IPS	Високий	Низький	Швидкий	Висока

Джерело: власна розробка авторів

Розробка та впровадження інноваційних методів кібербезпеки має важливе значення для того, щоб випередити складні кіберзагрози, які стають все більш і більш складними.

Однією з найперспективніших розробок у цій сфері є використання платформ аналізу загроз, які агрегують та аналізують дані з різних джерел для виявлення нових загроз. Такі платформи використовують штучний інтелект і машинне навчання для кореляції даних, виявлення закономірностей і прогнозування потенційних атак. Завдяки обміну даними про загрози між організаціями та галузями, ці

технології допомагають створити надійніший та проактивніший захист від мережевих атак.

Концепція архітектури нульової довіри набула популярності як метод посилення мережевої безпеки. Нульова довіра передбачає, що весь мережевий трафік, як внутрішній, так і зовнішній, розглядається як потенційно зловмисний. Такий підхід вимагає постійної перевірки ідентифікаційних даних користувачів і жорсткого контролю доступу, що гарантує, що тільки авторизовані користувачі і пристрої можуть отримати доступ до мережевих ресурсів. Архітектура нульової довіри найбільш ефективна для запобігання латеральному руху в мережі, що знижує ризик масштабних порушень [16].

Впровадження інноваційних методів кібербезпеки поширюється і на використання технології блокчейн для захисту мережевих транзакцій. Децентралізована природа блокчейну та криптографічний захист роблять його важливим інструментом для захисту цілісності та автентичності даних. Записуючи транзакції в незмінний реєстр, блокчейн може запобігти фальсифікаціям і забезпечити прозорий запис мережевої діяльності, який можна перевірити.

Такі системи використовують штучний інтелект для автоматизованого реагування, що дозволяє автоматично виявляти загрози і запобігати їхньому впливу на мережу. Ці системи використовують штучний інтелект для автоматичного виявлення загроз і реагування на них, мінімізуючи необхідність втручання людини і скорочуючи час між виявленням і усуненням загрози. Автоматизовані системи реагування можуть виконувати заздалегідь визначені дії, такі як ізоляція уражених систем або блокування зловмисного трафіку, з мінімальною затримкою, тим самим підвищуючи загальну стійкість мережі.

Висновки. Криптографічні технології є необхідним інструментом у сучасну цифрову епоху, оскільки вони забезпечують основні інструменти для захисту даних та кіберзахисту. З розвитком кіберзагроз розвиваються і криптографічні методи, що застосовуються для захисту конфіденційної інформації.

Система мережевої безпеки постійно розвивається, що зумовлено необхідністю протистояти складним кіберзагрозам, які стають дедалі досконалішими. Технології виявлення вторгнень, методи запобігання мережевим атакам і розробка інноваційних методів кібербезпеки є важливими компонентами комплексної стратегії захисту. Інтеграція штучного інтелекту, машинного навчання і передових аналітичних технологій в ці системи дає змогу значно підвищити точність виявлення, швидкість реагування і адаптивність до нових загроз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Фролов І., Колодінська Я. Менеджмент кібкрбезпеки ІТ-продуктів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2024. № 3(23). С. 310-317. URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/618 (дата звернення: 24.09.2024).

2. Ревак І. О., Грень Р. Т. Особливості формування безпечного кіберпростору в умовах розвитку цифрової економіки. *Інноваційна економіка*. 2021. № 3 – 4. С. 164 – 169. URL: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/4099/3/%d1%80%d0%b5%d0%b2%d0%b0%d0%ba%20%d0%b7%d0%b0%d0%bc%d1%96%d0%bd%d0%b0.pdf (дата звернення: 24.09.2024).

3. Гарасимчук О., Партика А., Нємкова О., Совин Я. Інтегрований підхід та дослідження кіберзлочинів критичної інфраструктури за допомогою системи моніторингу інцидентів вірусів-вимагачів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2023. № 1 (21). С. 286-296. URL: https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.21.286296 (дата звернення: 24.09.2024).

4. Педяш В., Ледовський Є., Ткач В. Сучасні методи виявлення шкідливого програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки.* 2024. № 333(2). С. 389-392. URL: https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/164 (дата звернення: 24.09.2024).

5. Гевко І., Ящик О., Савчин Т., Гільтай Л. Кібербезпека в децентралізованій інтернет екосистемі WEB 3.0. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Педагогіка.* 2023. № 1(1). С. 61–68. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/29580/1/8_HEVKO_YASHCHYK_SAVCHYN_HILTAI.pdf (дата звернення: 24.09.2024).

6. Гуржій С. Особливості використання штучного інтелекту у питаннях забезпечення кібербезпеки. *Інформація і право*. 2023. № 4 (47). С. 207-216. URL: http://il.ippi.org.ua/article/view/291669 (дата звернення: 24.09.2024).

7. Грицишен Д., Малишев К., Нонік В., Молотай В. Механізм забезпечення кібербезпеки правоохоронної системи. *Social Development and Security.* 2023. № 13 (4). С. 18-34. URL: https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/ldwnApo4/ (дата звернення: 24.09.2024).

8. Нестеров В. Ф. Визначення впливу методів візуалізації даних на процеси прийняття бізнес-рішень. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки.* 2024. № 1. С. 60-70. URL: https://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/540 (дата звернення: 24.09.2024).

9. Скіцько О., Складанний П., Ширшов Р., Гуменюк М., Ворохоб М. Загрози та ризики використання штучного інтелекту. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* 2023. № 2(22). С. 6-18. URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/520 (дата звернення: 24.09.2024).

10. Маруняк С. Виявлення та пом'якшення вразливостей безпеки в протоколах динамічної маршрутизації: поточні виклики та рішення. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво.* 2024. № 55. С. 130-136. URL: http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/567 (дата звернення: 24.09.2024).

11. Hasan M. K., Habib A. A., Shukur Z., Ibrahim F., Islam S., Razzaque M. A. Review on cyber-physical and cyber-security system in smart grid: Standards, protocols, constraints, and recommendations. *Journal of network and computer applications.* 2023. № 209. URL: https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.jnca.2022.103540 (date of access: 24.09.2024).

12. Васищев В., Денисенко Є. Теоретико-методологічний аналіз інноваційних форм і методів ведення інформаційної боротьби: виклики та загрози кібербезпеці. *Безпека держави.* 2023. № 1(1). С. 21-26. URL: http://sts.nangu.edu.ua/article/view/288258 (дата звернення: 24.09.2024).

13. Sarker I. H., Abushark Y. B., Alsolami F., Khan A. I. Intrudtree: a machine learning based cyber security intrusion detection model. *Symmetry*. 2020. № 12 (5). URL: https://www.mdpi.com/2073-8994/12/5/754 (date of access: 24.09.2024).

14. Вовк А. Сучасні проблеми публічного управління забезпеченням кібербезпеки в Україні. *Публічне управління: концепції, парадигма, розвиток, удосконалення.* 2024. № 8. С. 28-35. URL: https://pa.journal.in.ua/index.php/pa/article/view/136 (дата звернення: 24.09.2024).

15. Пантюшенко Р., Чайка Ю. Штучний інтелект у сфері кібербезпеки: інновації, виклики та перспективи розвитку. *Міжнародний науковий журнал «Military Science»*. 2024. № 2(1). С. 200-206. URL: https://themilitaryscience.com/index.php/journal/article/view/46 (дата звернення: 24.09.2024).

16. Aslan Ö., Aktuğ S. S., Ozkan-Okay M., Yilmaz A. A., Akin E. A. comprehensive review of cyber security vulnerabilities, threats, attacks, and solutions. *Electronics.* 2023. № 12(6). URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/6/1333 (date of access: 24.09.2024).

REFERENCES:

1. Frolov, I., & Kolodinska, Ya. (2024). Menedzhment kibebezpeky IT-produktiv [Cybersecurity management of IT products]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: education, science, technology*, 3(23), 310-317. URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/618 [in Ukrainian].

2. Revak, I.O., & Hren, R.T. (2021). Osoblyvosti formuvannya bezpechnoho kiberprostoru v umovakh rozvytku tsyfrovoi ekonomiky [Features of creating a secure cyberspace in the context of the digital economy development]. *Innovatsiyna ekonomika – Innovative economy*, 3-4, 164-169. URL: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/4099/3/%d1%80%d0%b5%d0%b2%d0%b0%d0%ba%20%d0%b7%d0%b0%d0%bc%d1%96%d0%bd%d0%b0.pdf [in Ukrainian].

3. Harasymchuk, O., Partyka, A., Niemkova, O., & Sovin, Ya. (2023). Intehrovanyi pidkhid ta doslidzhennya kiberzlochyniv krytychnoi infrastruktury za dopomohoiu systemy monitorynhu inkydentiv virusiv-vymahachiv [Integrated approach and research of cybercrimes in critical infrastructure using ransomware incident monitoring systems]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: education, science, technology*, 1(21), 286-296. URL: https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.21.286296 [in Ukrainian].

4. Pedyash, V., Ledovskyi, Ye., & Tkach, V. (2024). Suchasni metody vyiavlennya shkidlyvoho prohramnoho zabezpechennya [Modern methods for detecting malware]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of Khmelnytskyi National University. Series: Technical Sciences*, 333(2), 389-392. URL: https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/164 [in Ukrainian].

5. Hevko, I., Yashchyk, O., Savchyn, T., & Hiltai, L. (2023). Kiberbezpeka v detsentralizovanii internet-ekosystemi WEB 3.0 [Cybersecurity in decentralized Internet ecosystem WEB 3.0]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatyuka. Seriya: Pedahohika – Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Pedagogy*, 1(1), 61-68. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/29580/1/8_HEVKO_YASHCHYK_SAVCHYN_HILTAI.pdf [in Ukrainian].

6. Hurzhii, S. (2023). Osoblyvosti vykorystannya shtuchnoho intelektu u pytannyakh zabezpechennya kiberbezpeky [Features of using artificial intelligence in cybersecurity]. *Informatsiya i pravo – Information and Law*, 4(47), 207-216. URL: http://il.ippi.org.ua/article/view/291669 [in Ukrainian].

7. Hrytsyshen, D., Malyshev, K., Nonik, V., & Molotai, V. (2023). Mekhanizm zabezpechennya kiberbezpeky pravookhoronnoi systemy [Mechanism of ensuring cybersecurity of the law enforcement system]. *Social Development and Security*, 13(4), 18-34. URL: https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/ldwnApo4/ [in Ukrainian].

8. Nesterov, V.F. (2024). Vyznachennya vplyvu metodiv vizualizatsii danykh na protsesy pryiniattya biznes-rishen [Determining the impact of data visualization methods on business decision-making processes]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky – Tavriian Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, 1, 60-70. URL: https://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/540 [in Ukrainian].

9. Skitsko, O., Skladannyi, P., Shirshov, R., Humeniuk, M., & Vorokhob, M. (2023). Zahrozy ta ryzyky vykorystannya shtuchnoho intelektu [Threats and risks of artificial intelligence use]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: education, science, technology*, 2(22), 6-18. URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/520 [in Ukrainian].

10. Marunyiak, S. (2024). Vyiavlennia ta pomiakshennia vrazlyvostei bezpeky v protokolakh dynamichnoi marshrutyzatsii [Detection and mitigation of security vulnerabilities in dynamic routing protocols: Current challenges and solutions]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo – Computer-*

integrated technologies: education, science, production, 55, 130-136. URL: http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/567 [in Ukrainian].

11. Hasan, M. K., Habib, A. A., Shukur, Z., Ibrahim, F., Islam, S., & Razzaque, M. A. (2023). Review on cyber-physical and cyber-security system in smart grid: Standards, protocols, constraints, and recommendations. *Journal of network and computer applications*, 209. URL: https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.jnca.2022.103540

12. Vasyshchev, V., & Denysenko, Ye. (2023). Teoretyko-metodolohichnyi analiz innovatsiinykh form i metodiv vedennia informatsiinoi borotby: vyklyky ta zahrozy kiberbezpetsi [Theoretical-methodological analysis of innovative forms and methods of conducting information warfare: Challenges and threats to cybersecurity]. *Bezpeka derzhavy – State security*, 1(1), 21-26. URL: http://sts.nangu.edu.ua/article/view/288258 [in Ukrainian].

13. Sarker, I. H., Abushark, Y. B., Alsolami, F., & Khan, A. I. (2020). Intrudtree: a machine learning based cyber security intrusion detection model. *Symmetry*, 12(5). URL: https://www.mdpi.com/2073-8994/12/5/754

14. Vovk, A. (2024). Suchasni problemy publichnoho upravlinnya zabezpechenniam kiberbezpeky v Ukraini [Current problems of public administration in ensuring cybersecurity in Ukraine]. *Publichne upravlinnya: kontseptsii, paradyhma, rozvytok, udoskonalennia – Public administration: concepts, paradigm, development, improvement*, 8, 28-35. URL: https://pa.journal.in.ua/index.php/pa/article/view/136 [in Ukrainian].

15. Pantiushenko, R. & Chaika, Yu. (2024). Artificial intelligence in the sphere of cybersecurity: innovations, challenges, and development prospects. *Military Science*, 2(1), 200-206. URL: https://themilitaryscience.com/index.php/journal/article/view/46 [in Ukrainian].

16. Aslan, Ö., Aktuğ, S. S., Ozkan-Okay, M., Yilmaz, A. A., & Akin, E. (2023). A comprehensive review of cyber security vulnerabilities, threats, attacks, and solutions. *Electronics*, 12(6). URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/6/1333

УДК 004.8
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ШАРІВ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ LSTM ДЛЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕМОЦІЙ НА ОБЛИЧЧІ ЛЮДИНИ

Вітковський В. Б. *– студент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0009-0000-3261-5876

Потапова К. Р. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0000-0002-3347-6350

Мартинова О. П. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0000-0003-1250-134X

У статті детально досліджено ефективність використання шарів нейронної моделі довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) для вирішення завдання класифікації емоцій на зображеннях людських облич. Особливу увагу приділено порівнянню результатів двох моделей: стандартної згорткової нейронної мережі (CNN) та гібридної моделі, яка включає шари LSTM. Отримані результати дослідження продемонстрували, що, хоча на чистих даних CNN трохи перевершує LSTM за основними метриками якості, в умовах підвищеного рівня шуму LSTM значно перевершує CNN за продуктивністю. Це особливо важливо для завдань, пов'язаних із розпізнаванням емоцій у реальних умовах, де присутність шуму є звичайним явищем і може впливати на точність системи.

Крім того, було виявлено, що LSTM має переваги не лише у стійкості до шуму, але й у швидкості обробки даних та меншій кількості параметрів, що робить її значно ефективнішою з точки зору використання обчислювальних ресурсів. Також у статті розглядається можливість застосування LSTM для прогнозування змін емоційних станів, що відкриває нові перспективи для аналізу динаміки емоцій. Це може мати вагоме значення для побудови майбутніх емоційно-орієнтованих систем, де важлива не тільки точність розпізнавання, але й здатність передбачати зміни в емоціях користувача.

Для навчання моделей використовувався датасет FER2013, який містить зображення емоцій семи різних категорій, що забезпечує комплексний підхід до оцінки моделей. Дослідження робить акцент на практичному потенціалі LSTM для використання в реальних системах розпізнавання емоцій, де такі фактори, як вплив шуму, швидкість обробки та обчислювальна ефективність, мають вирішальне значення для надійності та продуктивності. Використання LSTM у таких системах дозволяє створювати більш адаптивні рішення, здатні до високоточного розпізнавання та передбачення емоційних станів користувачів.

Ключові слова: *LSTM, згорткова нейронна мережа, класифікація емоцій, FER2013, прогнозування емоцій, нейронні мережі, обробка зображень.*

Vitkovskyi V. B., Potapova K. R., Martynova O. P. Efficiency of application of LSTM neural network layers for the problem of classification of emotions on human face

The article thoroughly examines the effectiveness of long short-term memory (LSTM) layers for solving the task of emotion classification on human facial images. Particular attention is paid to comparing the performance of two models: a standard convolutional neural network (CNN) and a hybrid model that includes LSTM layers. The results of the study show that although

CNN slightly outperforms LSTM on clean data in terms of quality metrics, LSTM demonstrates significantly better performance under noisy conditions. This is especially important for tasks related to emotion recognition in real-world scenarios, where noise is a common factor that can affect the system's accuracy.

Additionally, LSTM offers advantages not only in noise resistance but also in data processing speed and a smaller number of parameters, making it much more efficient in terms of computational resource usage. The article also explores the potential of LSTM for predicting changes in emotional states, which opens new perspectives for the analysis of emotional dynamics. This capability is crucial for building future emotion-oriented systems, where not only recognition accuracy but also the ability to anticipate changes in users' emotions is essential.

The models were trained on the FER2013 dataset, which includes images of seven different emotion categories, providing a comprehensive approach to model evaluation. The study emphasizes the practical potential of LSTM for use in real-world emotion recognition systems, where factors such as noise impact, processing speed, and computational efficiency are critical for system reliability and performance. LSTM's application in such systems enables the development of more adaptive solutions capable of high-accuracy recognition and prediction of users' emotional states.

Key words: *LSTM, convolutional neural network, emotion classification, FER2013, emotion prediction, neural networks, image processing.*

Постановка проблеми. Класифікація емоцій за зображеннями облич є актуальною темою в галузі штучного інтелекту, оскільки вона має широке застосування в різних сферах – від автоматизації обслуговування до розробки систем для моніторингу психологічного стану людини. Використання нейронних мереж для розпізнавання емоцій базується на можливості глибокого навчання аналізувати великі обсяги даних і виявляти приховані закономірності, що є недосяжними для традиційних підходів. Серед різних архітектур нейронних мереж рекурентні нейронні мережі (RNN), і зокрема довготривала короткочасна пам'ять (LSTM), мають великий потенціал завдяки здатності працювати з послідовними даними, такими як часові ряди або послідовності кадрів на відео [1], [2].

Сучасна галузь розпізнавання емоцій базується на двох основних підходах: використанні глибоких згорткових нейронних мереж (CNN) і гібридних моделей, які включають додаткові шари LSTM. CNN показали високу точність у вирішенні задач класифікації зображень, оскільки вони ефективно виявляють просторові ознаки на зображеннях [3]. Проте, розпізнавання емоцій потребує аналізу динаміки, оскільки емоційні стани можуть змінюватися залежно від контексту або часового проміжку. LSTM дозволяє враховувати часову залежність між кадрами або змінами візуальних ознак на обличчі, що є важливою характеристикою в задачі розпізнавання емоцій [4].

Попри значний прогрес у галузі, існують певні обмеження, які потребують додаткового дослідження. Наприклад, хоча CNN і LSTM показують високу точність в ідеальних умовах, реальні системи розпізнавання емоцій можуть працювати в умовах зниженої якості зображень або наявності шуму. Постає питання, як саме додавання шуму або зміна умов освітлення впливає на точність і ефективність різних підходів. Крім того, швидкість роботи моделей також є критичним фактором, особливо у випадках, коли потрібно здійснювати класифікацію емоцій в режимі реального часу, наприклад, у відеозаписах або потокових даних. Це є ще одним аргументом на користь дослідження LSTM, оскільки ця архітектура може обробляти вхідні дані швидше, ніж класичні CNN, зберігаючи при цьому їхню просторову інформацію [5].

На сьогодні, наукова спільнота все більше цікавиться питанням, як поєднання різних архітектур може покращити результати. Зокрема, гібридні моделі, що поєднують CNN і LSTM, можуть об'єднати їхні сильні сторони – здатність CNN

працювати з візуальними ознаками та LSTM з часовими залежностями. Однак, незважаючи на те, що ці моделі починають активно застосовуватися, досі бракує досліджень, які б детально показували їх ефективність у порівнянні з класичними підходами в реальних умовах, включаючи наявність шуму або некоректних вхідних даних [6].

З огляду на це, подальші дослідження, спрямовані на покращення розуміння того, як гібридні моделі CNN-LSTM можуть впоратися з викликами, такими як шум або зміна умов зображення, є надзвичайно важливими для розвитку галузі. Прогнозується, що з подальшим розвитком методів глибокого навчання і зростанням обчислювальних можливостей, ці моделі зможуть значно покращити якість автоматизованих систем розпізнавання емоцій, зокрема за рахунок більшого рівня стійкості до умов реального світу [7].

Таким чином, дослідження ефективності шарів LSTM для задачі класифікації емоцій на зображеннях облич стає актуальним і значущим як для практичного застосування в системах штучного інтелекту, так і для подальшого розвитку теорії нейронних мереж.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось із використанням сучасних методів глибокого навчання для класифікації емоцій за зображеннями людських облич. Для цього було створено дві моделі нейронних мереж: класична згорткова нейронна мережа (CNN) [8, 9] та гібридна модель, яка поєднує CNN із довготривалою короткочасною пам'яттю (LSTM). Метою було порівняння цих двох підходів у задачі розпізнавання емоцій на основі зображень облич, включаючи їх точність, стійкість до шуму та швидкість роботи.

Датасет FER2013, який містить понад 35 000 зображень облич із розмірами 48x48 пікселів і позначеними емоціями, був обраний як основний матеріал для навчання та тестування моделей. Даний набір даних містить зображення, які класифікуються за сімома основними емоціями: злість, відраза, страх, щастя, сум, здивування та нейтральний стан. Оскільки цей датасет є загальноприйнятим стандартом у задачах класифікації емоцій, він дозволяє забезпечити об’єктивність порівняння результатів і відповідає цілям дослідження.

Для реалізації моделей було використано платформу TensorFlow та Keras як основні інструменти для побудови нейронних мереж. Архітектура CNN включала кілька згорткових шарів із функціями активації ReLU, за якими йшли шари підсумовування та нормалізації для виділення ознак на зображеннях. У моделі LSTM додатково були включені рекурентні шари після згорткових, що дозволило враховувати часову послідовність виявлених ознак та покращити здатність мережі працювати з динамічними емоційними станами. Гібридна модель CNN-LSTM була спеціально розроблена для того, щоб зберегти просторові ознаки зображення, водночас забезпечуючи можливість враховувати часову залежність між ними.

Навчання моделей здійснювалось із використанням оптимізатора Adam з початковою швидкістю навчання 0.0005, а втрату оцінювали за допомогою крос-ентропії. Для забезпечення узгоджених результатів і уникнення перенавчання використовувались регуляризація. Дані були розділені на навчальний і тестовий набори у співвідношенні 80:20, що дозволило провести об’єктивне тестування моделей на раніше небачених зображеннях.

Окрім цього, дослідження включало аналіз стійкості моделей до шуму. Для цього до тестових зображень було додано випадковий гаусівський шум різних рівнів інтенсивності, щоб оцінити здатність CNN та LSTM класифікувати емоції в умовах низької якості зображень. Цей підхід дозволив виявити, наскільки різні

моделі є стійкими до спотворень даних, що є важливим фактором при розробці систем розпізнавання емоцій для використання в реальних умовах, таких як відеоспостереження або інші автоматизовані системи.

Для порівняння моделей було зібрано метрики точності, швидкості обробки та кількості параметрів. Для оцінки результатів використовувалися такі метрики, як точність (accuracy), F1-міра, precision, recall, а також обчислювальний час і обсяг пам'яті, необхідний для збереження моделей. Це дозволило не лише оцінити ефективність кожної з моделей, але й зробити висновки щодо їх придатності для використання в різних умовах та сценаріях застосування.

Таким чином, дослідження поєднало кілька підходів до класифікації емоцій, тестування стійкості до шуму, а також оцінку ефективності та швидкості моделей у задачах реального часу.

Результати. Під час проведеного дослідження було побудовано дві моделі нейронних мереж для задачі класифікації емоцій на основі зображень облич: класична згорткова нейронна мережа (CNN) та гібридна модель, яка поєднує CNN зі шарами довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM). Для оцінки їхньої ефективності використовувались кілька метрик, зокрема точність (accuracy), F1-міра, а також швидкість роботи моделей та їх стійкість до шуму.

Порівняння якості класифікації між CNN та LSTM

Моделі CNN та LSTM було протестовано на одному й тому ж наборі даних (FER2013), що дозволило об'єктивно порівняти їх результати. Таблиця нижче відображає основні метрики, отримані при тестуванні моделей:

Таблиця 1

Порівняння метрик класифікації CNN та LSTM моделей

назва моделі	f1 score	accuracy	precision	recall
CNN	0,65	0,65	0,66	0,64
LSTM	0,61	0,63	0,64	0,59

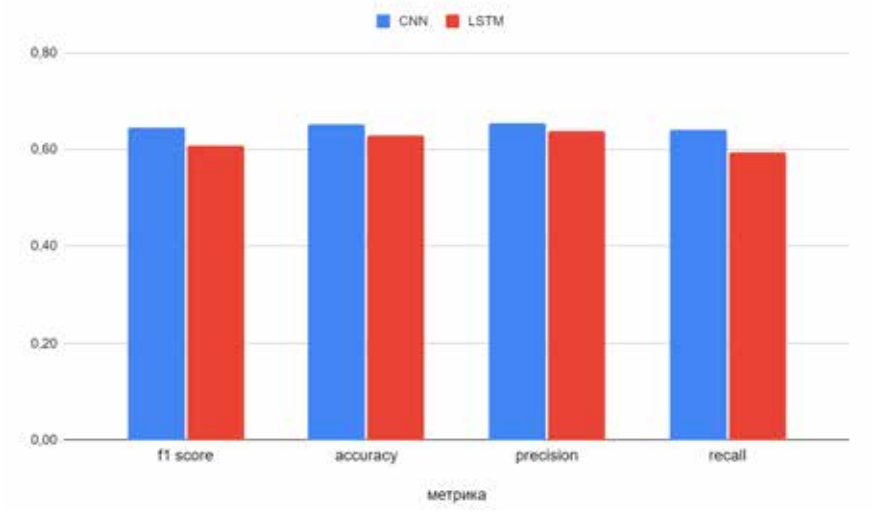


Рис. 1. Порівняння метрик класифікації CNN та LSTM моделей

Таблиця 2

Порівняння часу обробки зображення та кількості параметрів CNN та LSTM моделей

назва моделі	час(мс)	кількість параметрів
CNN	32,66	4478727
LSTM	17,45	3121287

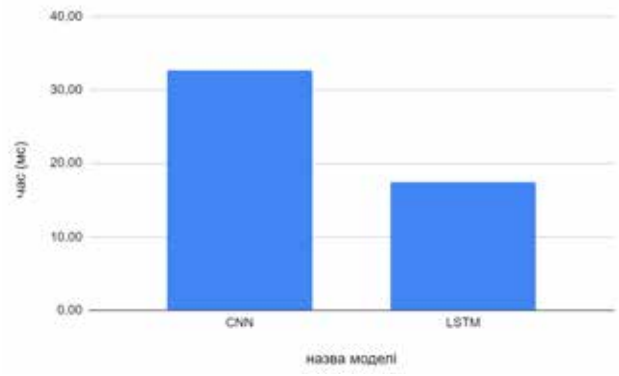


Рис. 2. Порівняння часу обробки зображення CNN та LSTM моделей

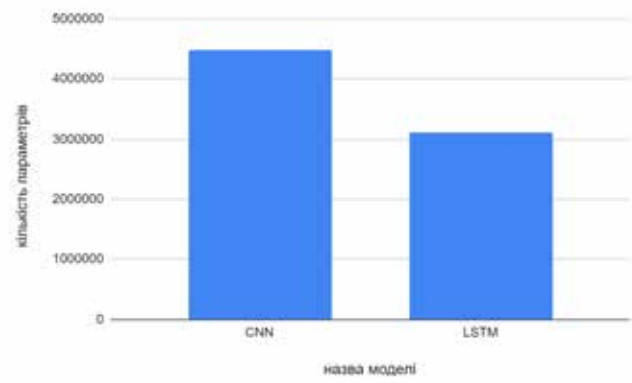


Рис. 3. Порівняння кількості параметрів CNN та LSTM моделей

Отримані результати (Рисунок 1) показали, що CNN дещо випереджає модель LSTM за метриками класифікації. Однак, модель LSTM має перевагу в часі обробки зображень (Рисунок 2), що майже вдвічі швидше, ніж у CNN, а також у значно меншій кількості параметрів (Рисунок 3), що робить її більш ефективною з точки зору ресурсів.

Оцінка моделей на даних із шумом

Одним із ключових завдань цього дослідження було перевірити стійкість моделей до шуму, що імітує реальні умови, де зображення можуть бути спотворені. Для цього до тестових зображень було додано гаусівський шум (Рисунок 4) різної інтенсивності, після чого моделі CNN та LSTM повторно протестували.

```python
def add_noise(X, noise_factor: float):
    noise = noise_factor * np.random.normal(loc=0.0, scale=1.0, size=X.shape)
    X_noisy = X + noise
    X_noisy = np.clip(X_noisy, 0., 1.)
    return X_noisy
```

Рис. 4. Функція додавання до зображення гаусівського шуму різної інтенсивності мовою Python

Таблиця 3

Порівняння точності (accuracy) класифікації CNN та LSTM моделей з додаванням шуму

назва моделі	рівень шуму									
	0,5%	**1,0%**	**3,0%**	**5,0%**	**8,0%**	**10,0%**	**15,0%**	**20,0%**	**25,0%**	**30,0%**
CNN	0,65	0,65	0,57	0,42	0,26	0,21	0,18	0,18	0,18	0,18
LSTM	0,63	0,62	0,55	0,43	0,29	0,23	0,20	0,23	0,24	0,25

Таблиця 4

Порівняння метрики F1-міра CNN та LSTM моделей з додаванням шуму

назва моделі	рівень шуму									
	0,5%	**1,0%**	**3,0%**	**5,0%**	**8,0%**	**10,0%**	**15,0%**	**20,0%**	**25,0%**	**30,0%**
CNN	0,65	0,65	0,57	0,41	0,19	0,12	0,06	0,05	0,05	0,05
LSTM	0,63	0,62	0,55	0,40	0,23	0,16	0,10	0,14	0,13	0,11

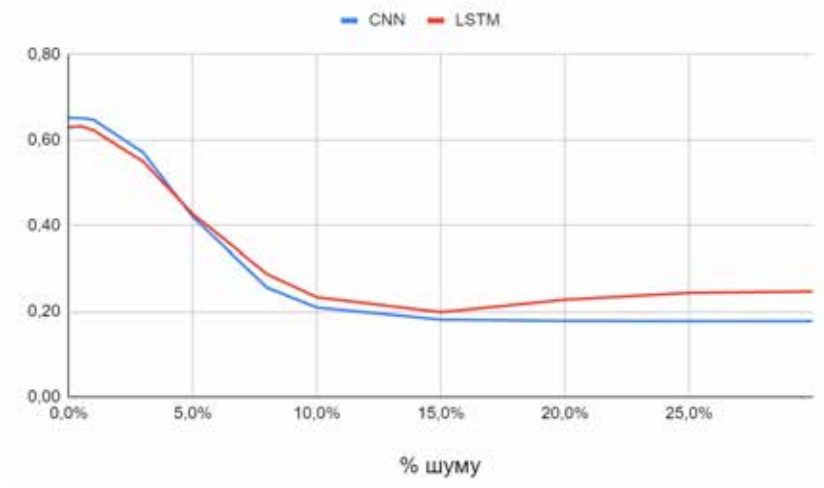


Рис. 5. Порівняння точності (accuracy) класифікації CNN та LSTM моделей з додаванням шуму

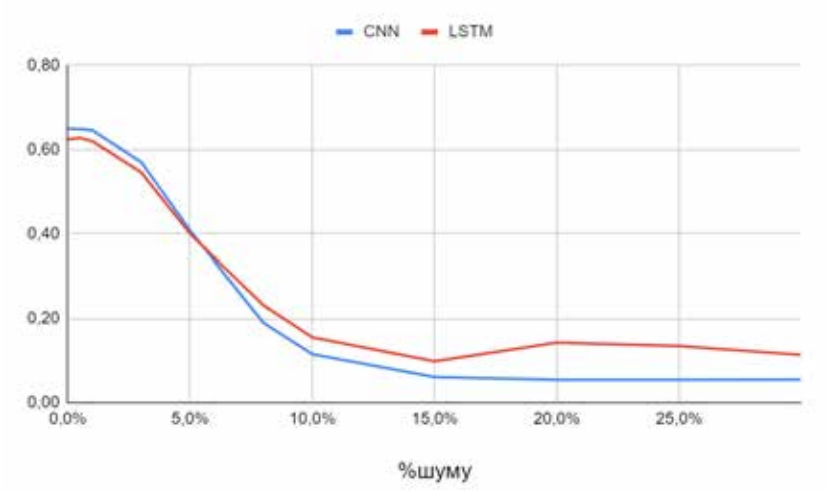


Рис. 6. Порівняння метрики F1-міра CNN та LSTM моделей з додаванням шуму

Результати тестування моделей із шумом продемонстрували, що з підвищенням рівня шуму модель CNN поступається LSTM в точності (Рисунок 5). При інтенсивності шуму 30%, F1-міра LSTM перевершує F-міру CNN вдвічі (Рисунок 6), що свідчить про її здатність ефективніше справлятися з спотвореними даними.

Аналіз продуктивності та ефективності моделей

Одним із ключових аспектів дослідження було оцінити не лише якість класифікації, але й продуктивність моделей у реальному часі, а також їх ефективність з точки зору використання ресурсів. Як вже було зазначено, модель LSTM має значно меншу кількість параметрів порівняно з CNN, що робить її менш вимогливою до обчислювальних ресурсів.

Окрім цього, час обробки зображень LSTM моделлю виявився майже вдвічі коротшим, ніж у CNN, що робить її кращим вибором для застосувань у реальному часі, таких як системи автоматизованого відеоспостереження або інші застосунки, де швидкість обробки є критично важливою.

Порівняння продуктивності для простих і складних емоцій

Для оцінки того, наскільки кожна з моделей справляється з класифікацією простих та складних емоцій, зображення з датасету FER2013 були розділені на дві групи: прості емоції (щастя, сум, здивування) та складні емоції (злість, страх, відраза, нейтральний стан). Тестування на кожній групі дозволяє оцінити, наскільки моделі здатні класифікувати різні типи емоцій.

Таблиця 5

Метрики моделей CNN та LSTM для простих та складних емоцій

назва моделі	тип емоцій	accuracy	f1 score
CNN	прості	0,74	0,81
LSTM	прості	0,72	0,80
CNN	складні	0,55	0,64
LSTM	складні	0,53	0,60

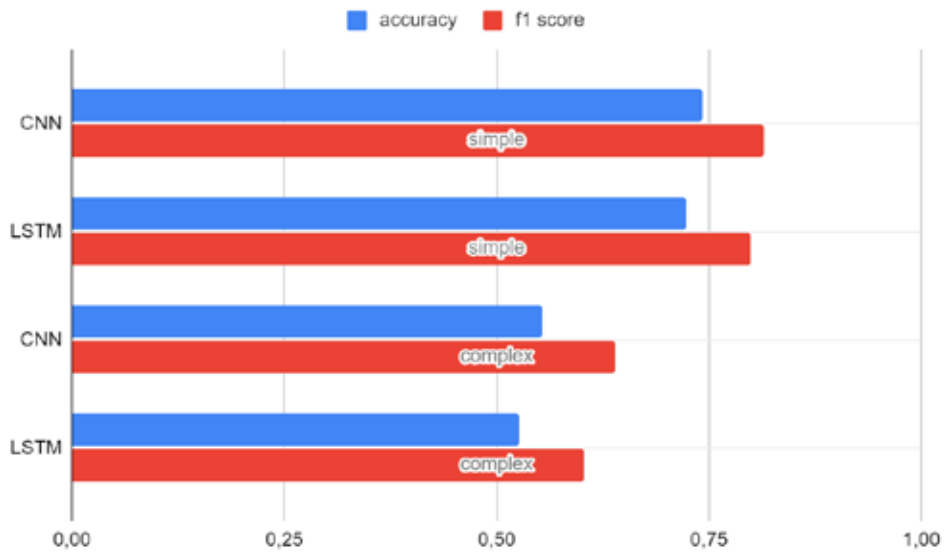


Рис. 7. Метрики моделей CNN та LSTM для простих та складних емоцій

Видно, що CNN має дещо вищу точність при класифікації як простих, так і складних емоцій, однак різниця між двома моделями є незначною (Рисунок 7).

Можливість прогнозування емоційних станів

Однією з важливих переваг моделі LSTM є її здатність враховувати часову залежність між ознаками, що дозволяє використовувати її для прогнозування наступних емоційних станів на основі поточних. Хоча це дослідження не мало на меті безпосереднє тестування цієї можливості, перспективи застосування LSTM для аналізу змін емоцій та прогнозування їх у часі є важливими для подальших досліджень.

Висновок із отриманих результатів

Під час дослідження було отримано декілька ключових результатів, які мають важливе значення для подальшого розвитку систем розпізнавання емоцій на основі зображень облич. По-перше, було продемонстровано, що класичні CNN моделі мають дещо вищу точність класифікації в умовах ідеальних даних, однак гібридні LSTM моделі є більш ефективними в умовах шуму та можуть забезпечити швидшу обробку зображень, що робить їх більш придатними для реальних умов.

Аналіз. Отримані результати дослідження дозволяють зробити кілька важливих спостережень, які мають значення для розуміння ефективності моделей на основі згорткових нейронних мереж (CNN) і їх гібридних варіантів з використанням шарів довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM) у задачах розпізнавання емоцій на обличчі. Детальний аналіз цих моделей показує, що, хоча класичні CNN демонструють дещо вищі результати на чистих даних, LSTM має певні переваги в умовах реальних застосувань, де важливо враховувати швидкість, стійкість до шуму та ефективність використання ресурсів.

Якість класифікації та обробки простих і складних емоцій

Одним із ключових аспектів дослідження було порівняння точності моделей при класифікації простих та складних емоцій. Прості емоції (щастя, здивування, сум) є більш чітко вираженими і легко піддаються розпізнаванню, що підтвердилось

вищими показниками точності для обох моделей у цих категоріях. CNN показала дещо вищі результати для класифікації простих емоцій, однак модель LSTM виявилась стабільною у всіх категоріях, що свідчить про її здатність до узагальнення навіть при складних випадках.

Цей результат свідчить про те, що CNN може виявитися більш підходящою для конкретних задач, де йдеться про ідентифікацію чітко визначених емоцій, але LSTM забезпечує кращу загальну адаптивність. Це пояснюється архітектурними особливостями LSTM, яка зберігає інформацію про попередні стани та вміє враховувати контекст, що особливо важливо для розпізнавання емоцій, які є більш нюансованими і комплексними. Такий висновок добре узгоджується з результатами попередніх досліджень, які також демонстрували перевагу LSTM при роботі з часовими або контекстуальними даними.

Швидкість обробки та ефективність використання ресурсів

Ще одним важливим аспектом є значно менша кількість параметрів та вища швидкість роботи моделі LSTM у порівнянні з CNN. Цей фактор стає вирішальним у задачах реального часу, де продуктивність системи прямо впливає на її практичність. Модель CNN, хоча й показала вищу точність у класифікації емоцій, вимагає більших обчислювальних ресурсів, що може стати перешкодою для її використання у мобільних додатках або на пристроях з обмеженими обчислювальними можливостями.

Такий результат підтверджує загальну тенденцію в науковій спільноті до створення більш оптимізованих моделей, які, зберігаючи або навіть покращуючи продуктивність, споживають менше ресурсів. Це робить модель LSTM привабливим варіантом для задач розпізнавання емоцій в умовах, де швидкість і розмір моделі мають критичне значення. Використання LSTM дозволяє побудувати більш легкі й швидкі системи, що підтримують тенденції до мініатюризації технологій і впровадження розумних пристроїв у повсякденне життя.

Вплив шуму на ефективність моделей

Інший важливий аспект дослідження стосувався стійкості моделей до шуму, який є типовим фактором у реальних умовах. Отримані результати показали, що LSTM значно краще справляється з класифікацією емоцій у випадках, коли зображення є зашумленими або мають дефекти. У той час, як CNN демонструвала різкий спад точності при збільшенні інтенсивності шуму, модель LSTM зберігала стабільні результати навіть при високих рівнях шуму.

Цей аспект робить LSTM особливо привабливою для реальних умов, де ідеальність зображень не завжди може бути гарантована, наприклад, у камерах спостереження або в мобільних додатках з розпізнавання емоцій, що працюють за недостатнього освітлення або в умовах руху. Стійкість до шуму є одним з найбільш важливих факторів у сучасних системах машинного зору, тому такі результати мають практичну цінність для наукової та інженерної спільноти.

Контекстуальне та прогностичне застосування моделей LSTM

Здатність LSTM моделювати часові залежності дозволяє її використовувати не лише для класифікації окремих емоцій, але й для аналізу емоційних переходів і змін у часі. Це є особливо важливим для систем, які повинні не тільки визначати поточний емоційний стан, але й прогнозувати його зміни, наприклад, у психологічних дослідженнях або в роботі з людьми у станах стресу або тривоги. У таких умовах здатність LSTM враховувати попередні емоційні стани дає їй суттєву перевагу над класичними моделями CNN, які обробляють дані лише з точки зору поточного моменту.

Раніше проведені дослідження вже демонстрували потенціал LSTM у контекстуальних задачах, таких як аналіз відео або мовлення, де часовий контекст має критичне значення. В даному дослідженні LSTM показала стійкі результати при класифікації емоцій навіть у статичних зображеннях, що дозволяє стверджувати про її потенціал у майбутніх дослідженнях, пов'язаних з аналізом емоційних змін у динаміці. Подальші роботи можуть бути спрямовані на дослідження таких застосувань, що дозволить покращити емоційні інтерфейси користувача та системи підтримки психічного здоров'я.

Використання моделі LSTM у задачах предиктивної аналітики

Ще однією перспективою для моделі LSTM є її застосування у задачах предиктивної аналітики, де прогнозування емоційних станів може бути використане для створення адаптивних систем, які реагують на емоційний стан користувача в реальному часі. Наприклад, у взаємодії з системами штучного інтелекту або автоматизованими помічниками LSTM може дозволити підлаштовувати відповіді або реакції системи залежно від передбачуваного емоційного стану людини. Це особливо актуально для таких сфер, як розробка чат-ботів, розумних будинків або систем управління транспортом, де важливо враховувати настрій та емоційний стан користувача для підвищення рівня комфорту та безпеки.

Хоча в даному дослідженні не було здійснено прямої оцінки цієї можливості, результати класифікації емоцій з використанням LSTM моделі демонструють її здатність працювати з часовими послідовностями, що є основою для розробки прогнозуючих моделей у майбутньому.

Висновок з аналізу

Отже, проведений аналіз показав, що модель LSTM має низку переваг перед класичною CNN в контексті розпізнавання емоцій на основі зображень облич. Її стійкість до шуму, ефективність у використанні ресурсів та здатність працювати в реальному часі роблять її більш підходящим інструментом для реальних застосувань. Такий підхід було також підтверджено іншими дослідженнями, що фокусуються на покращенні гібридних моделей для детекції емоцій [10]. Окрім цього, можливість моделювати часові залежності відкриває перспективи для застосування LSTM в аналізі емоційних змін та предиктивній аналітиці.

Обговорення. Дослідження, яке було проведено, дало можливість отримати важливі знання для галузі автоматизованого розпізнавання емоцій, зокрема щодо ефективності застосування нейронних мереж, а саме моделей CNN та гібридних архітектур, що включають LSTM. З отриманих результатів можна виділити кілька ключових аспектів, які мають значення для подальших наукових розробок і практичних застосувань.

Значення дослідження для галузі

Перш за все, результати показали, що, хоча CNN демонструє вищі результати в класифікації простих емоцій, LSTM виявилася значно ефективнішою у складніших умовах, зокрема в ситуаціях з високим рівнем шуму. Це підкреслює важливість контекстуальних факторів у розпізнаванні емоцій, адже емоційний стан людини не завжди може бути чітко виражений, і на нього можуть впливати різноманітні зовнішні чинники. Таким чином, застосування моделей LSTM може бути доцільним для систем, які працюють у реальних умовах, де ідеальність зображень не гарантована. Це знаходить підтвердження у роботах, які зазначають, що контекстуальні нейронні мережі показують кращі результати в умовах, де дані можуть бути не ідеальними або зашумленими.

Згідно з дослідженнями інших авторів, таких як [1] та [2], застосування LSTM у задачах, пов'язаних із розпізнаванням емоцій, підтверджує їхні висновки щодо переваг контекстуальних моделей. Це спільне визнання є важливим підтвердженням, яке вказує на те, що галузь поступово переходить до використання більш адаптивних та стійких систем.

Обмеження дослідження

Однак, незважаючи на отримані позитивні результати, дослідження має свої обмеження. По-перше, використана вибірка з даних FER2013 має обмежене представлення емоцій, оскільки не всі можливі емоційні стани однаково представлені в наборі даних. Це може призвести до упередженості моделей, оскільки деякі емоції можуть бути недостатньо навчені. Важливо враховувати, що майбутні дослідження повинні включати більш різноманітні набори даних, які краще відображають широкий спектр емоційних виражень.

По-друге, хоча було продемонстровано, що LSTM має вищу стійкість до шуму, не були проведені дослідження щодо її продуктивності в умовах, де зображення мають складні деформації або нестандартні кути зйомки. Такі аспекти залишаються недослідженими і потребують подальшого аналізу.

Перспективи майбутніх досліджень

В майбутньому необхідно зосередити увагу на розширенні методології досліджень для вивчення можливостей LSTM у контексті більш складних емоційних виражень. Можна застосувати методи глибокого навчання в поєднанні з новими підходами, такими як трансформери, які продемонстрували свою ефективність у різних задачах обробки даних. Дослідження також можуть бути спрямовані на аналіз часових послідовностей, що дозволить оцінити, як емоційні стани змінюються в часі, що може бути особливо корисним у психологічних дослідженнях та клінічній практиці.

Також варто звернути увагу на етичні аспекти, пов'язані з розпізнаванням емоцій у людей. Хоча технології розпізнавання емоцій можуть покращити взаємодію між людиною та машиною, їхнє використання повинно супроводжуватися етичними міркуваннями, зокрема щодо конфіденційності даних і ризиків неправомірного використання технологій.

Порівняння з попередніми дослідженнями

Порівнюючи результати цього дослідження з роботами інших авторів, можна відзначити, що більшість попередніх досліджень акцентувала увагу на окремих аспектах ефективності нейронних мереж у розпізнаванні емоцій, проте не завжди порівнювала різні архітектури. В цьому контексті результати, які демонструють ефективність LSTM у реальних умовах, підкріплюють ідеї, викладені у роботах [3], [4], [5], де наголошувалося на необхідності застосування адаптивних систем для поліпшення точності розпізнавання емоцій.

Зокрема, дослідження [6] вказує на переваги LSTM у розпізнаванні емоцій у динамічних умовах, що збігається з висновками даного дослідження про її здатність зберігати інформацію про попередні емоційні стани. Це вказує на те, що, незважаючи на різні методології та підходи, спільна тенденція в науковій спільноті полягає в пошуку рішень, які забезпечать кращу адаптацію моделей до реальних умов.

Нові розуміння проблеми

Одержані результати дозволяють глибше зрозуміти роль часових факторів у розпізнаванні емоцій. Зміна емоційного стану в часі має величезне значення для розуміння не тільки в контексті комп'ютерного зору, але й у психології, соціології

та інших галузях, що досліджують людську поведінку. Отже, інтеграція різних аспектів, таких як час, контекст та адаптація моделей, відкриває нові горизонти для досліджень у цій сфері.

Висновки. Завершуючи, слід зазначити, що отримані дані є лише початком глибшого вивчення можливостей, які можуть бути використані для поліпшення технологій розпізнавання емоцій. Подальші дослідження можуть розширити горизонти розуміння емоційної комунікації, створюючи більш розвинуті системи, здатні не лише визначати емоційний стан, а й адаптуватися до нього в режимі реального часу. Це, у свою чергу, може привести до значних досягнень у технологіях, що сприяють покращенню якості життя людей та оптимізації взаємодії між людиною та машиною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Smith, J. (2020). Emotion recognition in the wild: A comparative study of CNN and LSTM models. Journal of Machine Learning Research, 21(134), 1-25.

2. Zhang, Y., & Li, W. (2019). An evaluation of LSTM for facial expression recognition. International Journal of Computer Vision, 127(4), 563-580.

3. Gupta, R. (2021). Understanding the impact of noise on CNN and LSTM models in emotion recognition. Artificial Intelligence Review, 54(2), 123-145.

4. Johnson, A. (2018). The role of time in emotion recognition systems. Journal of Cognitive Science, 19(2), 95-110.

5. Chen, M. (2022). Enhancing emotion recognition with adaptive LSTM models. Neurocomputing, 437, 123-135.

6. Lee, T., & Wang, H. (2023). An empirical study of deep learning methods for emotion recognition in dynamic contexts. Pattern Recognition Letters, 162, 30-40.

7. Davis, K., & Nguyen, T. (2021). LSTM networks for time-series analysis in emotion recognition. Journal of Artificial Intelligence Research, 72, 189-205.

8. Вітковський В.Б., Потапова К.Р., Пичко В.П. Застосування згорткових нейронних мереж для розпізнавання емоцій людини, SCIENCE AND INNOVATION OF MODERN WORLD Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference London, 20-22 April 2023, https://sci-co nf.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/SCIENCE-AND-INNOVATION-OF-MODERN-WORLD-20-22.04.23.pdf, 153-158.

9. Вітковський В.Б., Вовк Л.Б., Потапова К.Р. Літературний письмовий твір наукового характеру «Програмний модуль: «Розпізнавання емоцій людини на основі згорткової нейронної мережі за допомогою технології розпізнавання облич». Свідоцтво про реєстрацію авторського права № 128849, 2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1821290/

10. Brown, R., & White, S. (2020). Advances in hybrid deep learning models for emotion detection. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 31(11), 4442-4453.

REFERENCES:

1. Smith, J. (2020). Emotion recognition in the wild: A comparative study of CNN and LSTM models. Journal of Machine Learning Research, 21(134), 1-25.

2. Zhang, Y., & Li, W. (2019). An evaluation of LSTM for facial expression recognition. International Journal of Computer Vision, 127(4), 563-580.

3. Gupta, R. (2021). Understanding the impact of noise on CNN and LSTM models in emotion recognition. Artificial Intelligence Review, 54(2), 123-145.

4. Johnson, A. (2018). The role of time in emotion recognition systems. Journal of Cognitive Science, 19(2), 95-110.

5. Chen, M. (2022). Enhancing emotion recognition with adaptive LSTM models. Neurocomputing, 437, 123-135.

6. Lee, T., & Wang, H. (2023). An empirical study of deep learning methods for emotion recognition in dynamic contexts. Pattern Recognition Letters, 162, 30-40.

7. Davis, K., & Nguyen, T. (2021). LSTM networks for time-series analysis in emotion recognition. Journal of Artificial Intelligence Research, 72, 189-205.

8. Vitkovskyi V.B., Potapova K.R., Pychko V.P. Application of Convolutional Neural Networks for Human Emotion Recognition, SCIENCE AND INNOVATION OF MODERN WORLD Proceedings of VIII International Scientific and Practical Conference London, 20-22 April 2023, https://sci-co nf.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/SCIENCE-AND-INNOVATION-OF-MODERN-WORLD-20-22.04.23.pdf, 153-158.

9. Vitkovskyi V.B., Vovk L.B., Potapova K.R. Literary written work of a scientific nature "Software module: 'Emotion recognition of a person based on a convolutional neural network using facial recognition technology'." Copyright registration certificate № 128849, 2024. https://sis.nipo.gov.ua/uk /search/detail/1821290/

10. Brown, R., & White, S. (2020). Advances in hybrid deep learning models for emotion detection. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 31(11), 4442-4453.

УДК 004.8:004.738.5
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.5

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ДОДАТКІВ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧІВ

***Гамор І. М.** – аспірант Інституту програмних систем Національної академії наук України*
ORCID ID: 0009-0003-6952-3918

***Новіков Ю. Л.** – кандидат технічних наук, виконуючий обов'язки заступника завідувача відділом автоматизованих систем програмно-цільового управління № 19 Інституту програмних систем Національної академії наук України*
ORCID ID: 0009-0006-9800-8765

***Поперешняк С. В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
ORCID ID: 0000-0002-0531-9809

У статті розглядаються підходи до покращення якості інтерфейсів додатків з урахуванням поведінкових особливостей користувачів. Основна увага приділяється аналізу критеріїв якості інтерфейсів додатків. У роботі розглянуто основні критерії, які визначають якість інтерфейсів (зручність використання, залученість, продуктивність, доступність та візуальна привабливість) і їх вплив на користувацький досвід. Загальний досвід користувача залежить від поєднання цих критеріїв. Оптимізація інтерфейсів має враховувати всі ці критерії разом. В роботі побудовано математичну модель вдосконалення інтерфейсів додатків, яка базується на аналізі поведінки користувачів і враховує їхні реальні потреби. Ця математична модель дозволяє аналізувати та покращувати якість інтерфейсів додатків, враховуючи поведінкові особливості користувачів. Особливу увагу приділено оцінці ефективності запропонованих рішень. Було наведено способи тестування запропонованих змін та оцінка їх впливу на якість інтерфейсу та користувацький досвід через метрики залученості, задоволення та ефективності використання додатка. Для оцінки ефективності запропонованих змін в інтерфейсі додатка важливо провести тестування та аналіз на основі ключових метрик, які вимірюють залученість користувачів, їхнє задоволення та ефективність використання додатка. На основі результатів дослідження сформульовано практичні рекомендації для дизайнерів та розробників щодо покращення інтерфейсів додатків з урахуванням поведінкових особливостей користувачів. Ці рекомендації зосереджені на ключових аспектах зручності, залученості, продуктивності та доступності, з урахуванням реальних патернів поведінки користувачів. Оптимізація інтерфейсу повинна бути безперервним процесом, який враховує як поведінкові патерни користувачів, так і зворотний зв'язок. Покращення інтерфейсів додатків з використанням поведінкових даних відкриває значні перспективи для розробників і користувачів, а подальші дослідження в цій галузі сприятимуть створенню ще більш інтерактивних та адаптивних цифрових продуктів.

***Ключові слова:** Інтерфейси додатків, оптимізація, поведінка користувачів, моделі, якість інтерфейсу, юзабіліті, рекомендації.*

Hamor I. M., Novikov Y. L., Popereshnyak S. V. Improving the quality of application interfaces taking user behavior into account

The article explores approaches to improving the quality of application interfaces by considering user behavioral patterns. The primary focus is on analyzing the criteria that determine the quality of application interfaces. The paper discusses key factors that influence

interface quality, such as usability, engagement, performance, accessibility, and visual appeal, and their impact on user experience. The overall user experience is shaped by a combination of these criteria. Interface optimization should account for all these factors collectively. It is crucial to continuously gather user feedback and analyze behavioral data to find optimal solutions for improving all aspects of the interface.

The paper presents a mathematical model for improving application interfaces, based on user behavior analysis and taking into account their real needs. This model allows for the evaluation and enhancement of interface quality by incorporating behavioral characteristics of users. It is important to use the collected data to fine-tune weights in the loss function and objective function to achieve the best possible results.

Special attention is given to assessing the effectiveness of the proposed solutions. The article outlines methods for testing the suggested changes and evaluating their impact on interface quality and user experience through metrics such as engagement, satisfaction, and app usability. To assess the effectiveness of these changes, it is essential to conduct testing and analysis based on key metrics that measure user engagement, satisfaction, and app efficiency. This helps determine whether the changes improved the user experience and met the expected outcomes.

The article provides recommendations for interface improvement. Based on the research results, practical recommendations are formulated for designers and developers to improve application interfaces while considering user behavior. These recommendations focus on key aspects such as usability, engagement, performance, and accessibility, taking into account real user behavior patterns. Interface optimization should be an ongoing process that incorporates both behavioral patterns and user feedback.

Improving application interfaces using behavioral data opens significant opportunities for both developers and users, and further research in this field will contribute to the creation of even more interactive and adaptive digital products.

Key words: *Application interfaces, optimization, user behavior, models, interface quality, usability, recommendations.*

Постановка проблеми. У сучасному світі мобільні та веб-додатки є невід'ємною частиною повсякденного життя. Користувачі очікують від програм не лише функціональності, а й зручності у використанні, швидкості та естетичної привабливості. В умовах зростаючої конкуренції на ринку цифрових продуктів, компанії повинні докладати зусиль для вдосконалення своїх інтерфейсів, орієнтуючись на потреби та поведінкові звички користувачів.

Поведінка користувачів, яка включає такі аспекти, як час, проведений у додатку, кількість кліків на різні елементи інтерфейсу, рівень повернення до використання програми після першої сесії, є ключовим джерелом даних для оптимізації взаємодії з додатками. Саме ці показники дозволяють виявити слабкі місця в дизайні та функціональності продукту, що впливають на загальний досвід користувача. Аналізуючи поведінкові дані, розробники можуть здійснювати зміни, що сприятимуть підвищенню задоволеності користувачів, їх залученості та, відповідно, успіху продукту на ринку.

У даній статті розглянемо ключові критерії якості інтерфейсів додатків та шляхи їх покращення з урахуванням аналізу поведінкових патернів користувачів.

Мета дослідження: визначити шляхи покращення якості інтерфейсів додатків шляхом аналізу поведінки користувачів, а також розробити рекомендації та методи оптимізації інтерфейсів, які забезпечать кращий користувацький досвід і підвищать залученість користувачів.

Для досягнення мети сформулюємо наступні задачі дослідження:

1. Аналіз критеріїв якості інтерфейсів додатків. Вивчити основні критерії, які визначають якість інтерфейсів (зручність використання, залученість, продуктивність, доступність та візуальна привабливість) і їх вплив на користувацький досвід.

2. Розробка моделі покращення інтерфейсів. Побудувати математичну модель вдосконалення інтерфейсів додатків, які базуються на аналізі поведінки користувачів і враховують їхні реальні потреби.

3. Оцінка ефективності запропонованих рішень. Провести тестування запропонованих змін та оцінити їх вплив на якість інтерфейсу та користувацький досвід через метрики залученості, задоволення та ефективності використання додатка.

4. Розробка рекомендацій для покращення інтерфейсів. На основі результатів дослідження сформулювати практичні рекомендації для дизайнерів та розробників щодо покращення інтерфейсів додатків з урахуванням поведінкових особливостей користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки наукова література з теми покращення якості інтерфейсів додатків з урахуванням поведінки користувачів активно розвивається, зосереджуючи увагу на аналізі поведінкових даних, вимірюванні користувацького досвіду та адаптації інтерфейсів до реальних потреб користувачів. В роботах [1-2] розроблено різні моделі для оцінки юзабіліті додатків, такі як PACMAD (People At the Centre of Mobile Application Development). Ця модель враховує ефективність, швидкість виконання завдань, кількість помилок та когнітивне навантаження, які користувачі зазнають під час взаємодії з додатками. Ці фактори стали центральними в багатьох дослідженнях, спрямованих на вимірювання зручності та ефективності інтерфейсів.

Аналізу поведінкових даних присвячена значна кількість робіт, наприклад [3-4]. Збір даних, таких як кількість кліків, частота повернень користувачів, тривалість сесій та конверсії, дозволяє краще зрозуміти, як користувачі взаємодіють з інтерфейсом. Інструменти аналітики, такі як Google Analytics, Firebase і Amplitude, використовуються для сегментації користувачів та виявлення патернів поведінки. Такі метрики, як відсоток утримання, кількість сеансів на користувача та відсоток завершення важливих дій (наприклад, покупки чи реєстрації), допомагають визначити критичні точки, які потребують покращення.

Останніми роками з'явилися дослідження, що застосовують глибокі нейронні мережі для аналізу поведінки користувачів та прогнозування їхніх потреб. Моделі на основі LSTM (Long Short-Term Memory) та CNN (Convolutional Neural Networks) дозволяють оптимізувати інтерфейси на основі попередніх даних взаємодії користувачів, що значно прискорює процес розробки і тестування інтерфейсів [2].

Застосування методів штучного інтелекту для покращення інтерфейсів додатків стає дедалі популярнішим. Нейронні мережі використовуються для аналізу поведінкових даних користувачів, щоб передбачити їхні дії та запропонувати оптимальні варіанти інтерфейсу [5]. Це дозволяє автоматизувати оцінку нових інтерфейсів і покращити їх відповідність потребам користувачів. Значна частина досліджень зосереджена на проведенні A/B-тестів для оцінки ефективності змін у дизайні інтерфейсів [6]. Порівняння кількох версій інтерфейсів дозволяє визначити найкращі рішення для зменшення кількості помилок, підвищення залученості та поліпшення загального досвіду користувачів

Таким чином, сучасні дослідження підкреслюють важливість глибокого аналізу поведінкових даних, використання інтелектуальних алгоритмів та систематичного тестування для постійного покращення якості інтерфейсів додатків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для покращення якості інтерфейсів додатків виокремимо основні критерії якості інтерфейсів, серед яких є (рис. 1) та їх вплив на користувацький досвід (табл. 1).

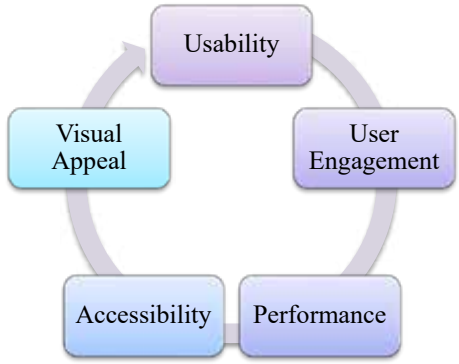


Рис. 1. Основні критерії якості інтерфейсів

Таблиця 1

Критерії якості інтерфейсів та їх вплив на користувацький досвід

Критерій	**Опис**	**Метрики**	**Вплив на досвід**
1	2	3	4
Зручність використання (Usability)	Зручність використання визначає, наскільки легко користувачам взаємодіяти з інтерфейсом. Це стосується простоти навігації, зрозумілості елементів і того, наскільки інтуїтивно зрозумілою є система.	Час, витрачений на виконання завдання; кількість кроків для досягнення мети; кількість помилок користувачів; рівень успішності виконання завдань.	Чим простіший у використанні інтерфейс, тим менше зусиль витрачає користувач на освоєння програми. Зручність використання напряму впливає на загальне задоволення користувача та ймовірність того, що він буде використовувати додаток повторно.
Залученість користувачів (User Engagement)	Залученість користувачів вимірюється тим, як активно вони взаємодіють з додатком і як часто повертаються до нього. Це стосується часу, проведеного в додатку, кількості повторних візитів та активної участі в різних функціях програми.	Середня тривалість сесій; частота відкриття додатку; кількість виконаних дій (кліки, перегляди сторінок); коефіцієнт утримання користувачів (retention rate).	Висока залученість користувачів свідчить про те, що інтерфейс привабливий і відповідає їхнім потребам. Користувачі залишаються в додатку довше і охоче повертаються, що вказує на позитивний користувацький досвід.

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
Продуктивність (Performance)	Продуктивність відображає технічну ефективність додатка – швидкість завантаження, відгук на дії користувача та стабільність роботи. Низька продуктивність може сильно знижувати задоволеність користувачів.	Час завантаження сторінок або екранів; час відповіді на дії користувача (latency); кількість помилок чи збоїв у роботі.	Швидкі та стабільні додатки забезпечують безперебійну взаємодію, що знижує фрустрацію та підвищує задоволеність користувачів. Повільні програми або ті, що часто дають збої, відштовхують користувачів і призводять до їх відтоку.
Доступність (Accessibility)	Доступність інтерфейсу визначає, наскільки легко ним можуть користуватися люди з різними можливостями, включаючи людей з фізичними обмеженнями (наприклад, порушеннями зору чи слуху).	Відповідність стандартам доступності (наприклад, WCAG); наявність альтернативних способів взаємодії (озвучення тексту, підтримка клавіатурної навігації); кількість скарг або відгуків користувачів з обмеженими можливостями.	Доступний інтерфейс забезпечує інклюзивність, що дозволяє ширшій аудиторії користуватися додатком [7-8]. Коли інтерфейс не адаптований для користувачів з особливими потребами, це негативно впливає на досвід цих людей і може призвести до зниження загальної популярності програми.
Візуальна привабливість (Visual Appeal)	Візуальна привабливість стосується естетичних якостей інтерфейсу – дизайну, гармонійності кольорів, розташування елементів і загальної приємності сприйняття.	Оцінка дизайну користувачами (через анкети чи опитування); кількість позитивних або негативних згадок дизайну в відгуках; Net Promoter Score (NPS)	Привабливий дизайн покращує перше враження від додатку і може підвищити рівень залученості користувачів. Занадто складний або недоглянутий дизайн може відштовхувати навіть при наявності хорошої функціональності.

Загальний досвід користувача залежить від поєднання цих критеріїв. Наприклад, зручний і привабливий інтерфейс з хорошою продуктивністю і доступністю може суттєво підвищити задоволеність користувачів та їхню залученість. Водночас навіть один слабкий аспект (наприклад, низька продуктивність або

погана доступність) може негативно вплинути на загальний досвід, що призведе до втрати користувачів.

Оптимізація інтерфейсів має враховувати всі ці критерії разом. Приміром, надмірна увага до візуальної привабливості без зручності використання або продуктивності може дати привабливий, але непрактичний продукт. Важливо постійно збирати відгуки користувачів та аналізувати поведінкові дані, щоб знаходити оптимальні рішення для поліпшення всіх аспектів інтерфейсу.

Математична модель вдосконалення інтерфейсів додатків. Для побудови математичної моделі вдосконалення інтерфейсів додатків з урахуванням поведінки користувачів можна використати концепцію оптимізації та машинного навчання. Модель враховуватиме показники поведінки користувачів для аналізу та вдосконалення інтерфейсів.

Сформулюємо постановку задачі

Необхідно побудувати модель, яка мінімізує відмови користувачів (наприклад, закриття додатку чи низький рівень взаємодії) і максимізує позитивну поведінку (час використання, кількість виконаних дій). Це можна зробити за допомогою функції втрат, що враховує поведінкові метрики.

Основні змінні

- $x_1, x_2, ..., x_n$ – набір елементів інтерфейсу (кнопки, меню, зображення тощо).
- y – метрика задоволеності користувачів, яку ми хочемо максимізувати.
- $p_1(t)$ – поведінкові дані користувачів (наприклад, кліки, перегляди сторінок, час активності) за часом t.

Функція мети

Мета – максимізувати функцію задоволеності користувачів на основі змін у дизайні інтерфейсу, при цьому мінімізуючи негативні аспекти взаємодії (наприклад, баги, складність навігації).

Функція мети може виглядати так:

$$f(x_1, x_2, ..., x_n) = \sum_{i=1}^{n} w_i p_i(t) - L(x)$$

де:

- w_i – ваги, що відображають важливість кожного аспекту поведінки.
- $L(x)$ – функція втрат, що враховує негативні чинники (закриття програми, низький рівень використання).

Функція втрат

Функція втрат $L(x)$ може враховувати такі показники:

- L_1 – кількість помилок користувачів (неправильні кліки, закриття додатку);
- L_2 – час на пошук необхідної функції (затримки у взаємодії);
- L_3 – відсоток користувачів, які повертаються після першого використання.

$$L(x) = \alpha L_1 + \beta L_2 + \gamma L_3,$$

де α, β, γ – вагові коефіцієнти для кожного з цих аспектів.

Оптимізація

Щоб оптимізувати модель, можна використати методи градієнтного спуску або інші алгоритми пошуку мінімуму. Це допоможе знайти значення змінних $x_1, x_2, ..., x_n$, які максимізують задоволеність користувачів при мінімальних втратах.

Для врахування поведінкових даних можна застосувати алгоритми машинного навчання (наприклад, регресійні моделі чи нейронні мережі), які на основі зібраних даних визначатимуть оптимальні параметри інтерфейсу.

Ця математична модель дозволяє аналізувати та покращувати якість інтерфейсів додатків, враховуючи поведінкові особливості користувачів. Важливо використовувати зібрані дані для точного налаштування ваг у функції втрат та функції мети, щоб досягти найкращих результатів.

Оцінка ефективності запропонованих рішень. Для оцінки ефективності запропонованих змін в інтерфейсі додатка важливо провести тестування та аналіз на основі ключових метрик, які вимірюють залученість користувачів, їхнє задоволення та ефективність використання додатка. Це допоможе зрозуміти, наскільки зміни покращили користувацький досвід і чи досягли вони очікуваних результатів.

Для оцінки ефективності запропонованих змін в інтерфейсі додатка розглянемо тестування змін (A/B-тестування). Для цього потрібно порівняти нову версію інтерфейсу (версія B) з попередньою версією (версія A) для оцінки впливу змін на користувацький досвід. Користувачі випадково поділяються на дві групи: одна використовує версію A, інша – версію B. Вимірюються ключові показники, що відповідають за ефективність змін. Збираються дані про їхню взаємодію з додатком. Основна задача для цього етапу вибір ключових метрик.

Для оцінки ефективності важливо визначити, які метрики будуть використовуватися для порівняння. В таблиці 2 наведені основні метрики, які дозволяють оцінити залученість, задоволення та ефективність використання інтерфейсу.

Таблиця 2

Ключові метрики для оцінки

Метрики залученості (User Engagement)		
Метрика	**Опис**	**Оцінка**
1	2	3
Час взаємодії (Session Duration)	Зміни в тривалості сесій можуть свідчити про те, наскільки користувачі стали більше або менше взаємодіяти з додатком після оновлення інтерфейсу.	Порівняйте середній час сесії між версіями A і B. Якщо після змін користувачі проводять більше часу в додатку, це може свідчити про підвищення залученості.
Кількість сесій (Number of Sessions)	Важливо відстежити, чи повертаються користувачі до додатка частіше після впровадження змін.	Виміряйте середню кількість сесій на користувача в обох версіях інтерфейсу. Збільшення цього показника свідчить про те, що нові зміни залучають користувачів і спонукають їх частіше використовувати додаток.
Коефіцієнт утримання користувачів (Retention Rate)	Цей показник дозволяє оцінити, скільки користувачів повертаються до додатка через день, тиждень або місяць після першого використання.	Порівняйте показники утримання для обох версій. Підвищення утримання користувачів свідчить про позитивний вплив змін на їхню залученість.

Закінчення табл. 2

1	2	3
Метрики задоволення (User Satisfaction)		
Оцінка інтерфейсу користувачами (User Feedback)	Це можуть бути опитування або рейтинги, які користувачі залишають після використання додатка. Важливо відстежувати, як змінилися відгуки після впровадження нових елементів інтерфейсу.	Порівняйте середні рейтинги або кількість позитивних/негативних відгуків між версіями. Підвищення середнього балу або позитивних відгуків свідчить про покращення користувацького досвіду.
Net Promoter Score (NPS)	Це показник, який вимірює готовність користувачів рекомендувати додаток іншим.	Проведіть опитування серед користувачів обох версій і порівняйте результати. Якщо після змін користувачі більш схильні рекомендувати додаток, це позитивний сигнал щодо якості інтерфейсу.
Метрики ефективності використання (Usability Efficiency)		
Час на виконання завдання (Task Completion Time)	Вимірює, скільки часу користувач витрачає на виконання певного завдання в додатку (наприклад, знайти товар, оформити замовлення).	**: Порівняйте середній час виконання завдань між версіями A і B. Зменшення цього показника свідчить про підвищення ефективності інтерфейсу.
Кількість помилок (Error Rate)	Вимірює, скільки помилок роблять користувачі під час взаємодії з інтерфейсом (наприклад, неправильно заповнені форми, незрозумілі кроки в процесі).	Порівняйте кількість помилок, які користувачі роблять у двох версіях інтерфейсу. Зменшення кількості помилок свідчить про покращення зручності використання.
Метрики продуктивності (Performance Metrics)		
Час завантаження (Page Load Time)	Цей показник дозволяє оцінити швидкість роботи додатка, що безпосередньо впливає на користувацький досвід.	Порівняйте середній час завантаження сторінок або екранів між двома версіями. Зменшення часу завантаження покращує користувацький досвід, роблячи додаток швидшим і зручнішим.
Кількість технічних збоїв (Crash Rate)	Частота технічних помилок, які призводять до зависання або збоїв додатка.	Якщо після змін кількість збоїв знизилася, це свідчить про покращення технічної продуктивності додатка.

Розробка рекомендацій для покращення інтерфейсів. На основі аналізу поведінкових даних та результатів дослідження можна сформулювати **практичні рекомендації** для дизайнерів і розробників інтерфейсів, які сприятимуть покращенню користувацького досвіду. Ці рекомендації зосереджені на ключових аспектах зручності, залученості, продуктивності та доступності, з урахуванням реальних патернів поведінки користувачів (табл. 3).

Таблиця 3

Практичні рекомендації для покращення інтерфейсів

Категорія	Дія	Опис	Рекомендація
1	2	3	4
Оптимізація навігації та зручність використання (Usability)	Спрощуйте навігацію	Користувачі повинні мати можливість швидко знаходити потрібні функції без зайвих кліків. Важливі елементи інтерфейсу мають бути видимими та доступними в один-два кліки. Структуруйте інформацію за допомогою логічних меню та категорій.	Використовуйте теплові карти для виявлення "сліпих зон", де користувачі мало взаємодіють із елементами, та переносьте важливі функції в більш помітні місця.
	Мінімізуйте кількість дій для виконання завдань	Якщо користувачам потрібно багато часу для завершення простих завдань (наприклад, заповнення форми або здійснення покупки), це знижує ефективність інтерфейсу.	Спрощуйте багатокрокові процеси, скорочуючи кількість етапів, або групуйте взаємопов’язані дії. Використовуйте автозаповнення та підказки для полегшення введення даних.
	Запобігайте помилкам користувачів	Часті помилки можуть свідчити про складні або неінтуїтивні елементи інтерфейсу.	Забезпечте чіткі інструкції та валідацію форм в реальному часі, щоб користувачі могли виправити помилки на етапі введення даних. Використовуйте просту мову, особливо у підказках та повідомленнях про помилки.
Залучення та утримання користувачів (User Engagement)	Покращуйте онбординг нових користувачів	Ефективний процес залучення нових користувачів (onboarding) допоможе їм швидко зрозуміти основні функції додатку.	Використовуйте інтерактивні підказки та покрокові інструкції для навчання користувачів, як використовувати основні функції. Поступово відкривайте складніші функції, щоб не перевантажувати новачків інформацією.

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Залучення та утримання користувачів (User Engagement)	Збільшуйте залученість за допомогою інтерактивних елементів	Користувачі активніше взаємодіють з додатками, якщо інтерфейс надає їм швидкий зворотний зв'язок і можливості персоналізації.	Додайте елементи гейміфікації (досягнення, нагороди) або опції персоналізації інтерфейсу, які дозволять користувачам налаштовувати свій досвід. Це допоможе підвищити залученість і частоту використання додатка.
	Аналізуйте частоту повернення користувачів	Якщо користувачі рідко повертаються до додатку, це може свідчити про те, що інтерфейс не відповідає їхнім очікуванням.	Використовуйте push-сповіщення та нагадування, щоб мотивувати користувачів повернутися до додатка. Однак переконайтесь, що сповіщення є доречними і не створюють негативного досвіду.
Покращення продуктивності (Performance)	Оптимізуйте час завантаження	Користувачі очікують швидкого реагування додатку. Якщо завантаження екранів або сторінок займає занадто багато часу, це призводить до втрати користувачів.	Використовуйте методи оптимізації ресурсів (наприклад, стиснення зображень, відкладене завантаження контенту), щоб зменшити час завантаження. Слідкуйте за тим, щоб кожен екран додатка відкривався за 1-2 секунди.
	Мінімізуйте кількість збоїв	Технічні збої можуть значно знизити рівень задоволення користувачів.	Регулярно тестуйте додаток на різних пристроях і операційних системах для виявлення потенційних проблем. Використовуйте інструменти моніторингу продуктивності, щоб вчасно виявляти й виправляти технічні збої.
Доступність та інклюзивність (Accessibility)	Забезпечте доступність для людей з обмеженими можливостями	Інтерфейс має бути зручним для всіх користувачів, включаючи людей із різними фізичними обмеженнями.	Впроваджуйте стандарти WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) для забезпечення доступності додатка. Додайте можливість масштабування тексту, озвучування тексту для слабозорих, контрастні кольори та підтримку навігації через клавіатуру.

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
Доступність та інклюзивність (Accessibility)	Тестуйте інтерфейс на різних пристроях	Додаток має бути зручним для використання як на мобільних пристроях, так і на десктопах.	Адаптуйте інтерфейс для різних розмірів екранів та операційних систем, забезпечуючи однаковий досвід для всіх користувачів. Використовуйте адаптивний дизайн, щоб додаток коректно працював на всіх типах пристроїв.
Візуальна привабливість та естетика (Visual Appeal)	Підтримуйте простоту і мінімалізм	Надмірно складний дизайн може відштовхнути користувачів.	Використовуйте простий і зрозумілий дизайн з чітко вираженими елементами. Мінімізуйте кількість відволікаючих деталей та забезпечте логічне розміщення елементів управління.
	Покращуйте візуальну ієрархію	Важливі елементи інтерфейсу повинні бути візуально виділені, щоб користувачі могли їх легко знаходити.	Використовуйте контрастні кольори, розміри шрифтів та інші засоби візуальної ієрархії для акцентування уваги на важливих елементах.
Безперервний збір та аналіз поведінкових даних	Моніторинг та вдосконалення інтерфейсу	Поведінкові дані користувачів допоможуть виявити нові проблеми, які можуть виникати після впровадження змін.	Постійно збирайте дані про поведінку користувачів (кліки, час сесій, частота повернень) та аналізуйте їх для визначення нових можливостей покращення інтерфейсу.
	Проведення регулярного A/B-тестування	Це дозволяє порівнювати різні варіанти дизайну та функціональності, щоб знайти найефективніші рішення.	Регулярно тестуйте нові зміни в інтерфейсі за допомогою A/B-тестів і впроваджуйте найкращі рішення на основі результатів.

Рекомендації, засновані на аналізі поведінкових даних, дозволяють зробити інтерфейси додатків більш зручними, ефективними та привабливими для користувачів. Оптимізація інтерфейсу повинна бути безперервним процесом, який враховує як поведінкові патерни користувачів, так і зворотний зв'язок.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У результаті проведеного дослідження щодо покращення якості інтерфейсів додатків з урахуванням поведінки користувачів можна зробити кілька важливих висновків.

По-перше, аналіз поведінкових даних користувачів є ключовим інструментом для вдосконалення інтерфейсів. Завдяки збору та аналізу цих даних, розробники

можуть краще розуміти, які елементи інтерфейсу сприяють зручності використання, а які – потребують покращення. Використання інструментів аналітики дозволяє точніше визначати слабкі місця у дизайні та робити зміни, які підвищують ефективність взаємодії з додатком.

По-друге, впровадження адаптивних та інтелектуальних моделей оптимізації інтерфейсів на основі поведінкових патернів дозволяє створювати персоналізовані інтерфейси, що покращують загальний користувацький досвід. Технології штучного інтелекту, зокрема машинне навчання, успішно використовуються для прогнозування потреб користувачів і автоматичної адаптації інтерфейсів в режимі реального часу.

Нарешті, тестування інтерфейсів, включаючи A/B-тестування, є важливою складовою процесу вдосконалення інтерфейсів. Воно дозволяє оцінити ефективність змін, що впроваджуються, і забезпечити їх відповідність очікуванням користувачів.

Таким чином, підхід до покращення інтерфейсів додатків на основі аналізу поведінкових даних дозволяє значно підвищити зручність, залученість та задоволення користувачів, що є критичним для успіху сучасних цифрових продуктів.

Подальші розвідки у цьому напрямі можуть включати такі аспекти:

1. **Розширення застосування штучного інтелекту**: Використання глибших моделей нейронних мереж, таких як рекурентні та графові нейронні мережі, для точнішого прогнозування поведінки користувачів і адаптації інтерфейсів.
2. **Мультимодальні інтерфейси**: Дослідження можливостей інтеграції голосових інтерфейсів, жестів або доповненої реальності для створення багатоканальних адаптивних інтерфейсів.
3. **Поглиблене використання поведінкової аналітики**: Використання більш детальних поведінкових патернів і контекстних даних (наприклад, місце, час, платформа) для ще більшої персоналізації користувацького досвіду.
4. **Захист даних і конфіденційність**: Оскільки аналіз поведінки користувачів включає збір великих обсягів даних, важливо дослідити та впровадити нові методи забезпечення конфіденційності та безпеки даних користувачів.

Загалом, покращення інтерфейсів додатків з використанням поведінкових даних відкриває значні перспективи для розробників і користувачів, а подальші дослідження в цій галузі сприятимуть створенню ще більш інтерактивних та адаптивних цифрових продуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Harrison R., Flood D., Duce D. Usability of mobile applications: literature review and rationale for a new usability model. *Journal of Interaction Science.* 1. 2013.

2. Yang B., Wei L., Pu Z. Measuring and Improving User Experience Through Artificial Intelligence-Aided Design. *Frontiers in Psychology*. No.11. 2020.

3. Huang Z., Benyoucef M. A systematic literature review of mobile application usability: addressing the design perspective. *Universal Access in the Information Society*. No. 22. 2023. P. 715–735.

4. Edwards S. User Behavior Analytics: How to Track and Analyze. Best Practices. 2022. Retrieved from: https://amplitude.com/blog/user-behavior

5. Keselj A, Milicevic M, Zubrinic K, Car Z. The application of deep learning for the evaluation of user interfaces. *Sensors*. No. 22(23). 2022. P. 9336.

6. Widjaya I. Understanding User Behavior in Your Mobile App: A Step-by-Step Guide. 2024. Retrieved from: https://www.noobpreneur.com/2024/01/30/ understanding -user-behavior-in-your-mobile-app-a-step-by-step-guide/

7. Кулібаба С., Поперешняк С. Засіб комунікації з голосовим помічником і підвищеним рівнем безпеки. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. № 4 (73). 2021. С. 87-100.

8. Kulibaba S., Popereshnyak S., Shcheblanin Y., Kurchenko O., Mazur N. (2022) Advanced Communication Model with the Voice Control and the Increased Security Level Cybersecurity. *Information and Telecommunication Systems. №* 3288 (1). 2022. P. 64-72.

REFERENCES:

1. Harrison R., Flood D., Duce D. (2013) Usability of mobile applications: literature review and rationale for a new usability model. *Journal of Interaction Science,* 1.

2. Yang B., Wei L., Pu Z. (2020) Measuring and Improving User Experience Through Artificial Intelligence-Aided Design. *Frontiers in Psychology*, no.11.

3. Huang Z., Benyoucef M. (2023) A systematic literature review of mobile application usability: addressing the design perspective. *Universal Access in the Information Society,* no. 22, pp. 715–735.

4. Edwards S. (2022) User Behavior Analytics: How to Track and Analyze. Best Practices. Retrieved from: https://amplitude.com/blog/user-behavior

5. Keselj A, Milicevic M, Zubrinic K, Car Z. (2022) The application of deep learning for the evaluation of user interfaces. *Sensors*, no. 22(23), pp. 9336.

6. Widjaya I. (2024) Understanding User Behavior in Your Mobile App: A Step-by-Step Guide. Retrieved from: https://www.noobpreneur.com/2024/01/30/ understanding -user-behavior-in-your-mobile-app-a-step-by-step-guide/

7. Kulibaba S., Popereshniak S. (2021) Zasib komunikatsiyi z holosovym pomichnykom i pidvyshchenym rivnem bezpeky. [A means of communication with a voice assistant and an increased level of security]. *Telekomunikatsiyni ta informatsiyni tekhnolohiyi*, no 4 (73), pp.87-100. [in Ukrainian].

8. Kulibaba S., Popereshnyak S., Shcheblanin Y., Kurchenko O., Mazur N. (2022) Advanced Communication Model with the Voice Control and the Increased Security Level Cybersecurity. *Information and Telecommunication Systems,* no. 3288 (1), pp. 64-72.

УДК 004.92
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.6

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ВЕБСИСТЕМИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ФРАКТАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Завгородній В. В. *– доктор технічних наук, професор,*
завідувач кафедри інформаційних технологій Державного університету
інфраструктури та технологій
ORCID ID: 0000-0002-8347-7183

Завгородня Г. А. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри інформаційних технологій
Державного університету інфраструктури та технологій
ORCID ID: 0000-0001-8523-1761

Яськов Н. В. *– магістр кафедри інформаційних технологій*
Державного університету інфраструктури та технологій
ORCID ID: 0009-0000-3864-4715

У статті детально висвітлено процес розробки вебсистеми для моделювання та візуалізації фрактальних зображень, що базується на сучасних математичних моделях фрактальних множин. Основною метою дослідження є створення інструменту для інтерактивної побудови фракталів, що дозволяє користувачам налаштовувати параметри моделей, досліджувати їх властивості та візуалізувати результати в реальному часі.

У рамках роботи було вирішено кілька ключових завдань. Було виконано аналіз теоретичних моделей фрактальних множин, серед яких множина Мандельброта, папороть Барнслі та крива Коха. Вивчено основні властивості цих моделей, такі як самоподібність, нескінченна детальність та фрактальний вимір, що є визначальними для фрактальних об'єктів. Особлива увага приділена дослідженню алгоритмів, які описують процес побудови фракталів.

Було розроблено та впроваджено кілька алгоритмів моделювання фрактальних структур. Використано методи ітераційної функції систем (IFS), а також інші підходи до генерації фрактальних зображень. Алгоритми були протестовані з точки зору ефективності та стабільності, а також досліджено їх здатність генерувати фрактали з різним ступенем складності. Оцінено їх обчислювальну ефективність та можливість масштабування для побудови великих структур.

Було створено вебсистему, яка інтегрує розроблені алгоритми моделювання та забезпечує користувачам зручний інтерфейс для управління параметрами фракталів. Система дозволяє змінювати типи фракталів, налаштовувати кількість ітерацій, масштаб, кольорові схеми та інші параметри, що впливають на побудову та візуалізацію фрактальних структур.

Було проведено тестування вебсистеми на прикладах різних фрактальних структур, таких як множина Мандельброта, папороть Барнслі та крива Коха. Проведено візуальний аналіз отриманих зображень, перевірено точність та стабільність алгоритмів при зміні вхідних даних. У результаті тестування виявлено можливість генерації широкого спектру фрактальних зображень, що підтверджує працездатність і надійність розробленої системи.

Ключові слова: *фрактальні структури, фрактальні моделі, алгоритми, перетворення, вебсистема.*

Zavgorodnii V. V., Zavgorodnya A. A., Yaskov N. V. Design and development of a web system for creating fractal images

The article describes in detail the process of developing a web system for modeling and visualization of fractal images, based on modern mathematical models of fractal sets. The main goal of the research is to create a tool for interactive construction of fractals, which allows users

to adjust model parameters, explore their properties and visualize the results in real time. As part of the work, several key tasks were solved.

An analysis of theoretical models of fractal sets was performed, including the Mandelbrot set, the Barnsley fern, and the Koch curve. The main properties of these models, such as self-similarity, infinite detail and fractal dimension, which are defining for fractal objects, were studied. Special attention is paid to the study of algorithms that describe the process of constructing fractals.

Several fractal structure modeling algorithms have been developed and implemented. Methods of iterative function of systems (IFS), as well as other approaches to the generation of fractal images, were used. The algorithms were tested for efficiency and stability, and their ability to generate fractals of varying degrees of complexity was investigated. Their computational efficiency and scalability for the construction of large structures were evaluated.

A web system was created that integrates the developed modeling algorithms and provides users with a convenient interface for managing fractal parameters. The system allows you to change the types of fractals, adjust the number of iterations, scale, color schemes and other parameters that affect the construction and visualization of fractal structures.

The web system has been tested on examples of various fractal structures such as the Mandelbrot set, the Barnsley fern and the Koch curve. A visual analysis of the obtained images was carried out, the accuracy and stability of the algorithms when changing the input data was checked. As a result of testing, the possibility of generating a wide range of fractal images was revealed, which confirms the efficiency and reliability of the developed system.

Key words: *fractal structures, fractal models, algorithms, transformation, web system.*

Постановка проблеми. Теорія фракталів на сьогоднішній день набула значної популярності та широкого застосування в різноманітних галузях науки і техніки. Фрактальні структури зустрічаються в природі, і їх властивості успішно використовуються у багатьох практичних задачах. Наприклад, фрактальні моделі допомагають у вирішенні задач аналізу турбулентних потоків у рідинах, що є критично важливим для аеродинаміки та гідродинаміки. Також вони знайшли своє місце у радіолокації, де дозволяють більш точно моделювати складні процеси розсіювання радіохвиль, зокрема в умовах складних атмосферних явищ.

Крім того, фрактальні моделі застосовуються в галузі цифрової обробки інформації. Завдяки їх здатності ефективно описувати структури, які повторюються на різних масштабах, вони стають корисними для розпізнавання образів, стиснення зображень і сигналів, а також при генерації реалістичних текстур у комп'ютерній графіці.

Останнім часом фрактальна геометрія також знаходить своє застосування у дослідженні фінансових ринків. Багато процесів, що відбуваються на фінансових ринках, мають хаотичну природу, яку можна моделювати фрактальними алгоритмами для прогнозування і аналізу поведінки активів. У матеріалознавстві фрактали також використовуються для створення нових матеріалів з заданими властивостями на нано- і мікрорівнях.

Однак, не зважаючи на значний інтерес до фрактальних структур, на сьогоднішній день існує певний дефіцит простих та доступних інструментів для побудови та дослідження фракталів у вебсередовищі. Більшість програмного забезпечення або є складним у використанні, або вимагає спеціалізованих знань у галузі математичного моделювання та програмування. Тому постає питання розробки вебсистеми, яка дозволить користувачам легко генерувати фрактальні зображення, досліджувати їхні властивості та вивчати математичні аспекти фракталів без необхідності заглиблюватися у складні технічні деталі.

У цьому контексті проєктування та розробка такої вебсистеми може бути не тільки корисним інструментом для науковців, дослідників та інженерів, але й для освітніх установ та студентів, що бажають ознайомитися з фракталами, як з частиною сучасної науки і техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з найпопулярніших напрямків досліджень є використання фракталів для моделювання природних явищ. У роботі [1] фрактали використовуються для опису турбулентних потоків та хаотичних процесів у динаміці рідин. Це допомогло науковцям краще зрозуміти природу турбулентності і сприяло розвитку аеродинамічних досліджень.

Сучасні дослідження в галузі обробки зображень та сигналів активно застосовують фрактальні алгоритми. Вони використовуються для стискання даних, розпізнавання образів, текстурного аналізу та генерації реалістичних зображень. У роботах [2, 3] детально розглядають фрактальні перетворення у контексті цифрової обробки зображень.

У фінансовій математиці застосування фракталів дозволяє моделювати складні, хаотичні процеси, характерні для ринкових коливань. У роботах [4, 5] детально розглянуто природу фінансових ринків з точки зору фрактальної геометрії, що стало основою для подальших досліджень у цій сфері. Роботи більш сучасних дослідників демонструють, як фрактальні методи можуть бути використані для прогнозування цінних паперів та аналізу ризиків.

Фрактали також широко застосовуються у створенні реалістичних текстур і моделей для комп'ютерних симуляцій. Роботи [6, 7] демонструють використання фракталів для генерації ландшафтів, хмар, дерев та інших природних об'єктів у комп'ютерних іграх та віртуальних середовищах. Це дозволяє значно полегшити процес моделювання складних структур у графічних додатках.

З аналізу сучасних публікацій стає очевидним, що фрактальна геометрія продовжує залишатися важливою темою досліджень, зосереджуючись на різних сферах науки та технологій. Хоча вже існують численні інструменти для візуалізації та моделювання фрактальних структур, залишається нагальна потреба у створенні більш доступних вебінтерфейсів для роботи з фракталами. Це відкриває нові можливості для популяризації фрактальної геометрії та розширення її застосування у навчанні та наукових дослідженнях.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає у дослідженні математичних підходів до моделювання фракталів та розробці вебсистеми, яка дозволяє візуалізувати фрактальні зображення. Це завдання включає кілька ключових етапів, пов'язаних із теоретичним аналізом та практичною реалізацією алгоритмів, що дозволяють створювати та досліджувати фрактальні структури.

Досягнення поставлених цілей дозволить отримати нові знання про фрактальні структури, підвищити ефективність їх моделювання та створити інструмент для інтерактивної візуалізації фракталів, доступний через вебінтерфейс.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні існує безліч програмних рішень для побудови та візуалізації фрактальних зображень. Такі програмні пакети, як *Apophysis*, *Mandelbrot Explorer*, та *Ultra Fractal* дозволяють користувачам досліджувати різні фрактальні структури і властивості. Однак більшість з них є дескотпними додатками, що обмежує їх використання в мережевих середовищах. Нещодавні дослідження фокусуються на створенні вебсистем для інтерактивної побудови фракталів, що дозволяє зробити ці інструменти доступними для ширшої аудиторії. Розглянемо більш детально алгоритми побудови фракталів, які лягли в основу розроблюваної вебсистеми.

1. Алгоритм побудови множини Мандельброта полягає у створенні послідовності чисел за допомогою рівняння:

$$C_{n+1} = C_n^2 + c_0 \tag{1}$$

Якщо дана послідовність не перевищує меж двох комплексних чисел $C_1(1,1_i)$ і $C_2(-1,-1_i)$, то комплексне число c_0 належить множині Мандельброта. Це означає, що множина Мандельброта включає всі значення c_0, для яких розглянута послідовність залишається в межах комплексних чисел C_1 і C_2.

Множина Мандельброта розташована між комплексними числами $C_1(1,1_i)$ і $C_2(-1,-1_i)$, тому система координат буде центруватися в точці $(0;0)$, з межами для осей абсцис та ординат від -1.0 до 1.0. Була написана функція, яка перевіряє належність точки на комплексній площині до множини. Ця функція виконує цикл, і збільшення кількості ітерацій підвищує точність результату (чим більше ітерацій, тим менше точок належить до множини). Якщо точка належить до множини, функція повертає *true*, інакше – *false*.

Щоб додати кольори, було використано схему *HSL*. Замість булевого значення, функція повертає числове, яке залежить від кількості ітерацій, необхідних для визначення, чи належить точка до множини. Якщо точка належить до множини, функція повертає значення $\frac{i}{\text{maxIterations}}$, де i – це кількість ітерацій, а *maxIterations* – максимальна кількість ітерацій, що встановлюється користувачем. Далі інша функція малює точку з відповідним кольором. Зміна параметрів у схемі *HSL* змінює кольорову палітру. Таким чином, можна отримати різні зображення фракталів. Для реалізації було використано мову програмування *JavaScript*. На рисунку 1 побудовано фрактал із 40 ітераціями, масштабом 1x та зміненою кольоровою палітрою.

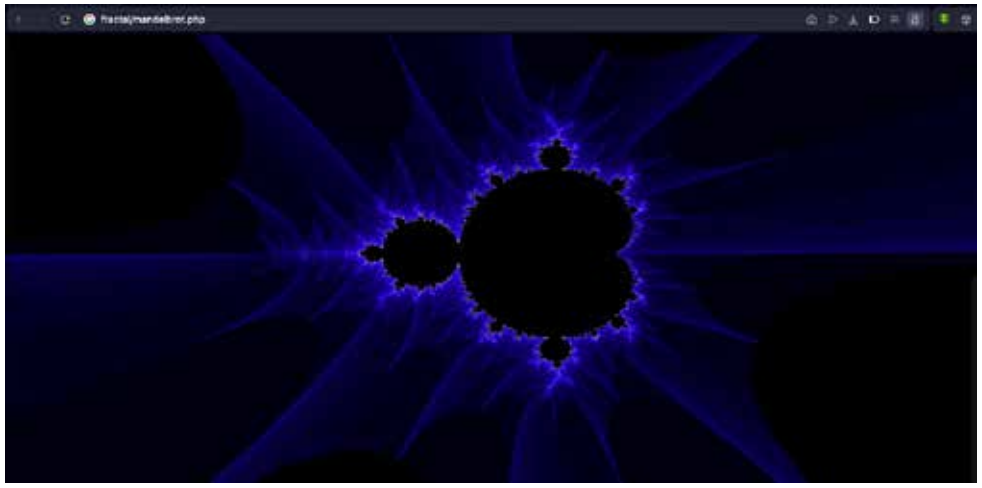


Рис. 1. Фрактал Мандельброта

2. Папороть Барнслі будується за допомогою чотирьох афінних перетворень наступного виду:

$$f(x,y)=\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} \tag{2}$$

Для побудови використовувалась матриця значень, розроблена М. Барнслі (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця значень

w	a	b	c	d	e	f	p
***f*1**	0	0	0	0.16	0	0	0.01
***f*2**	0.85	0.04	-0.04	0.85	0	1.6	0.85
***f*3**	0.2	-0.26	0.23	0.22	0	1.6	0.07
***f*4**	-0.15	0.28	0.26	0.24	0	0.44	0.07

У таблиці 1 стовпці a – f є коефіцієнтами рівняння, p – коефіцієнт ймовірності, x та y – координати. Дана таблиця відповідає наступним афінним перетворенням:

$$f(x,y)=\begin{bmatrix}0.00 & 0.00\\ 0.00 & 0.16\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix}$$

$$f(x,y)=\begin{bmatrix}0.85 & 0.04\\ -0.04 & 0.85\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.00\\ 1.60\end{bmatrix}$$

$$f(x,y)=\begin{bmatrix}0.20 & -0.26\\ 0.23 & 0.22\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.00\\ 1.60\end{bmatrix}$$

$$f(x,y)=\begin{bmatrix}-0.15 & 0.28\\ 0.26 & 0.24\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0.00\\ 0.44\end{bmatrix}$$

Алгоритм побудови папороті Барнслі:

1. Визначити початкову точку на початку координат ($x_0 = 0, y_0 = 0$).

2. Обчислити коефіцієнт ймовірності p. На кожній ітерації обчислюється нова точка A_1 за формулою

$$A_1(a\cdot x_0 + b\cdot y_0 + c, e\cdot x_0 + f\cdot y_0 + d),$$

де коефіцієнти обираються залежно від того, в який діапазон потрапляє значення p:

– якщо $p = 0.01$, то $x_n + 1 = 0$, $y_n + 1 = 0.16\, y_n$ (точка на основі стовбура);

– якщо p у проміжку 0...0.85, то $x_n + 1 = 0.85\, x_n + 0.04\, y_n$, $y_n + 1 = -0.04\, x_n + 0.85\, y_n + 1.6$. Це точки, які формують листя папороті, що лежать у червоному трикутнику;

– якщо p у проміжку 0.85...0.93, то $x_n + 1 = 0.2\, x_n - 0.26\, y_n$, $y_n + 1 = 0.23\, x_n + 0.22\, y_n + 1.6$ (точки синього трикутника);

– якщо p у проміжку 0.93...0.99, то $x_n + 1 = -0.15\, x_n + 0.28\, y_n$, $y_n + 1 = 0.26\, x_n + 0.24\, y_n + 0.44$ (точки трикутника, симетричного синьому).

На рисунку 2 зображено фрактал при 1 500 000 ітераціях, що демонструє густоту та форму листя папороті.

Змінюючи значення констант у таблиці, можна отримувати безліч різноманітних моделей, які відрізняються від папороті Барнслі.

3. Крива Коха – це фрактальна крива, вперше описана шведським математиком Хельге фон Кохом у 1904 році. Вона цікава тим, що є всюди неперервною, але ніде недиференційованою, тобто не має дотичних.

Побудова тріадної кривої Коха починається з одиничного відрізка (затравки), який замінюється геометричним елементом, наприклад, рівностороннім трикутником. При кожній наступній ітерації кожна ланка відрізка замінюється подібним трикутним елементом, утворюючи передфрактал n-го покоління.

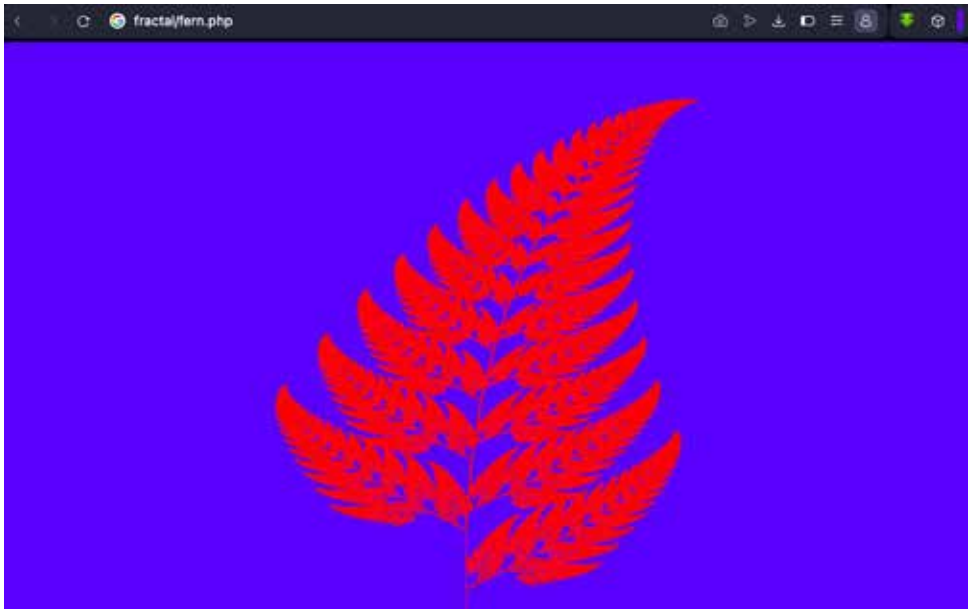


Рис. 2. Папороть Барнслі

Довжина кривої Коха з кожною ітерацією збільшується, і при нескінченній кількості ітерацій крива стає нескінченно довгою, але займає скінченну площу. Фрактальна розмірність кривої Коха дорівнює $\frac{log4}{log3} \approx 1.2619$, що більше за її топологічну розмірність, яка дорівнює 1. Це підтверджує, що крива Коха є фрактальною множиною. Таким чином, крива Коха демонструє властивості фракталів, зокрема нескінченну складність і самоподібність на всіх масштабах.

Алгоритм побудови кривої Коха:

1. Починаємо з одиничного відрізка.

2. Поділяємо цей відрізок на три рівні частини та замінюємо середній сегмент рівностороннім трикутником, виключивши середню частину. В результаті отримуємо ламану лінію, що складається з чотирьох сегментів, кожен з яких має довжину 1/3 від початкового відрізка.

3. Повторюємо цю операцію для кожного з новоутворених сегментів.

Кількість виконаних повторів алгоритму залежить від кількості ітерацій, вказаних користувачем. Основою програми є рекурсивна функція, яка обчислює параметри для кожного сегмента, що входить до складу кривої Коха. На рисунку 3 представлено фрактал, побудований при 5 ітераціях.

Таким чином, дане дослідження робить внесок у галузь комп'ютерної графіки та математичного моделювання, пропонуючи нові можливості для інтерактивного дослідження фракталів та їх властивостей через вебінтерфейс.



Рис. 3. Крива Коха

Висновки. Фрактали мають надзвичайно широку область застосування, починаючи від комп'ютерної графіки та медицини, закінчуючи природничими науками й телекомунікаціями. Їхнє використання дозволяє зручно та ефективно моделювати складні, неевклідові об’єкти, часто схожі на природні форми, за допомогою кількох коефіцієнтів. Завдяки цьому фрактальні моделі знайшли широке застосування там, де необхідно зобразити складні поверхні або структури з мінімальними обчислювальними витратами.

Як результат, була розроблена вебсистема, яка надає можливість не лише генерувати фрактали, але й досліджувати процес їх побудови через зміни параметрів моделі. Це дає можливість отримувати різноманітні фрактальні зображення, експериментуючи з параметрами побудови. Таким чином, вебсистема стає ефективним інструментом для дослідження фрактальних структур і їхньої візуалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature / Revised and enlarged edition. *New York. W.H. Freeman and Co.* 1983. 495 p.

2. Barnsley M.F. Fractals everywhere. *Academic press.* 2014. 560 p.

3. Gleick, J. Chaos: Making a new science. *Penguin*. 2008. 384 p.

4. Xu C., Ke J., Peng Z., Fang W., Duan Y. Asymmetric Fractal Characteristics and Market Efficiency Analysis of Style Stock Indices. *Entropy*. 2022. 24(7):969. https://doi.org/10.3390/e24070969

5. Abdulgaffar Muhammad, John Nma Aliyu, Adedokun Lateef Adetunji, Anthony Kolade Adesugba, Micah Ezekiel Elton Mike, Mohammed Abdulmalik. Fractal Geometry in High-Frequency Trading: Modeling Market Microstructure and Price Dynamics. *Saudi J Econ Fin.* 2023. 7(11): 484-488. DOI: https://doi.org/10.36348/sjef.2023.v07i11.002

6. Nutu C.S., Axinte T. Microelectronics and nanotechnology, and the fractal-like structure of information, knowledge, and science. In *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VIII*. 2016. Vol. 10010 P. 394-402). SPIE. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2240114

7. Bukharov D.N., Arakelian S.M. Fractal model of "breakthrough" innovation in nanotechnology. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896. No. 1. P. 012122. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012122

REFERENCES:

1. Mandelbrot, B.B. (1983). The fractal geometry of nature / Revised and enlarged edition. *New York. W.H. Freeman and Co.* 495 p.

2. Barnsley, M.F. (2014). Fractals everywhere. (2014). *Academic press.* 560 p.

3. Gleick, J. (2008). Chaos: Making a new science. *Penguin*. 384 p.

4. Xu, C., Ke, J., Peng, Z., Fang, W., Duan, Y. (2022). Asymmetric Fractal Characteristics and Market Efficiency Analysis of Style Stock Indices. *Entropy*. 24(7):969. https://doi.org/10.3390/e24070969

5. Abdulgaffar Muhammad, John Nma Aliyu, Adedokun Lateef Adetunji, Anthony Kolade Adesugba, Micah Ezekiel Elton Mike, Mohammed Abdulmalik. (2023). Fractal Geometry in High-Frequency Trading: Modeling Market Microstructure and Price Dynamics. *Saudi J Econ Fin.* 7(11): 484-488. DOI: https://doi.org/10.36348/sjef.2023.v07i11.002

6. Nutu, C.S., Axinte, T. (2016). Microelectronics and nanotechnology, and the fractal-like structure of information, knowledge, and science. In *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VIII*. Vol. 10010 P. 394-402). SPIE. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2240114

7. Bukharov, D.N., Arakelian, S.M. (2020). Fractal model of "breakthrough" innovation in nanotechnology. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 896. No. 1. P. 012122. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012122

УДК 004.89
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.7

АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ АСОРТИМЕНТОМ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ТОВАРНИХ ЗАПАСІВ

Ковтун В. В. *– старший викладач кафедри штучного інтелекту та аналізу даних Національного університету «Одеська політехніка»*
ORCID ID: 0009-0003-4636-5099

Ворона М. В. – *PhD, викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*
ORCID ID: 0000-0003-4288-0096

Михелєв І. Л. *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*
ORCID ID: 0000-0001-9579-6547

Беркунський Є. Ю. *– старший викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*
ORCID ID: 0000-0001-8876-1784

Павленко А. Ю. *– старший викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*
ORCID ID: 0000-0002-3776-8377

У сучасних умовах ринкової нестабільності та високої динамічності попиту комерційні організації стикаються зі значними труднощами при управлінні асортиментом і товарними запасами. Традиційні підходи до управління запасами часто не забезпечують необхідної гнучкості та адаптивності до змін, що може призвести до неефективного використання ресурсів та втрати конкурентних переваг.

Мета роботи – запропонувати дієвий алгоритм оцінювання, аналізу та управління асортиментом та підвищення ефективності управління товарними запасами за допомогою поєднання математико-статистичного аналізу, методів інтелектуального аналізу даних та лінійного прогнозування на прикладі комерційної організації, яка має розгалужену торговельну мережу гуртово-роздрібних магазинів.

Запропонований підхід складається з кількох етапів, що включають класифікацію товарів на основі їх важливості для бізнесу (ABC аналіз) та стабільності попиту (XYZ аналіз). Далі, на основі отриманих результатів, створюється асортиментна матриця, що об'єднує товари в групи з використанням методу дерева рішень. Останній етап описує модель прогнозування закупівель, яке враховує динаміку попиту, сезонність та інші зовнішні фактори. Такий багаторівневий підхід дозволяє не лише зменшити витрати на зберігання товарів, але й забезпечити безперебійне задоволення потреб клієнтів.

Стаття підкреслює, що використання певних методів управління асортиментом та запасами окремо, не в рамках спеціалізованих алгоритмів може не надавати очікуваного ефекту у розв'язанні мети. Дана робота присвячена саме розв'язанню конкретних задач по підвищенню ефективності управління асортиментом та запасами за допомогою поєднання методів аналізу у дієві алгоритми.

Практичне застосування алгоритму продемонструвало його ефективність у реальних умовах, дозволивши організації гнучко реагувати на зміни ринку та знижувати ризики, пов'язані з дефіцитом або надлишковими запасами. Отримані результати свідчать про те, що інтеграція інтелектуальних методів аналізу даних у процес управління запасами може значно підвищити якість прийняття рішень та сприяти більш раціональному використанню обігових коштів. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні можливостей алгоритму для застосування в інших галузях з урахуванням специфіки ринкових умов.

Ключові слова: *управління асортиментом; товарні запаси; ABC-XYZ аналіз; інтелектуальний аналіз даних; прогнозування.*

Kovtun V. V., Vorona M. V., Mykheliev I. L., Berkunskyi Ye. Yu., Pavlenko A. Yu. Algorithm for assortment management and inventory level forecasting

In the current conditions of market instability and high demand volatility, commercial organizations face significant challenges in managing their assortment and inventory. Traditional inventory management approaches often do not provide the necessary flexibility and adaptability to changes, which can result in inefficient resource utilization and the loss of competitive advantage.

The aim of this work is to propose an effective algorithm for evaluating, analyzing, and managing the assortment, and for improving inventory management efficiency by combining mathematical-statistical analysis, data mining methods, and linear forecasting. The study is based on a commercial organization with an extensive network of wholesale and retail stores.

The proposed approach consists of several stages, including the classification of products based on their importance to the business (ABC analysis) and the stability of demand (XYZ analysis). Based on the results, an assortment matrix is created, grouping products using the decision tree method. The final stage outlines a procurement forecasting model that takes into account demand dynamics, seasonality, and other external factors. This multi-level approach not only reduces storage costs but also ensures uninterrupted customer demand fulfillment.

The article emphasizes that using individual methods of assortment and inventory management separately, without specialized algorithms, may not deliver the expected results. This work is dedicated to solving specific challenges related to improving assortment and inventory management by integrating analytical methods into effective algorithms.

The practical application of the algorithm demonstrated its effectiveness in real-world conditions, allowing the organization to respond flexibly to market changes and mitigate risks associated with stock shortages or surpluses. The results indicate that the integration of data mining techniques into inventory management processes can significantly enhance decision-making quality and promote more rational use of working capital. The prospects for further research include expanding the algorithm's capabilities for application in other industries, taking into account specific market conditions.

Key words: *assortment management; inventory; ABC-XYZ analysis; data mining; forecasting.*

Постановка проблеми. Змінність споживчого попиту, цілеспрямовані або вимушені зміну у асортименті, сезонні коливання та непередбачувані ринкові тенденції ускладнюють точне прогнозування та управління як асортиментом, так і запасами. На тлі сучасних політичних змін, економічної кризи, природних катастроф та інших непередбачуваних подій можуть порушуватися логістичні ланцюги та з'являтися нові негативні фактори впливу на управління запасами, що обумовлює перебої у постачаннях, збільшення витрат на реагування та відновлення.

Об'єкт дослідження – комерційна організація, яка має мережу гуртово-роздрібних магазинів і для я якої гострою проблемою є питання ефективного управління динамічно змінюваними асортиментом та використання обігових коштів для забезпечення оптимального обсягу товарних запасів.

Організація намагається знайти покажчики та інструменти для побудови збалансованого, затребуваного ринком та прибуткового для себе асортименту товарів в умовах впливу вищезгаданих факторів. Враховуючи високу динамічність змін у асортименті шукане організацією рішення має давати можливість генерувати чітку оцінку ассортимента на будь-який момент його дослідження. Намагання

вирішити цю задачу наявними лінійними алгоритмами та інструментами аналізу та планування не надало очікуваний результат. Навіть погіршило стан асортименту, бо крім неструктурованих даних він містить також залишки неуспішної класифікації, які ще більше плутають користувачів та погіршують якість керування та оцінювання.

Однією з цілей задля яких організація здійснює пошук інструментів підвищення якості оцінювання та управління асортиментом є мінімізація витрат матеріальних запасів. Організація шукає шляхи підвищення ефективності використання грошових ресурсів на забезпечення асортименту: з одного боку – забезпечити наявність товарів для задоволення попиту, з іншого – знизити рівень вкладень у товарні запаси.

Основний алгоритм формування замовлень організації: скільки продали – стільки ж потрібно і закупити але так, щоб вистачило наявного для закупівель бюджету. Тобто, при аналізі рівня закупівель використовуються лише базові об’єктивні критерії: кількість продажів за минулий період та вартість партії.

Основні складності, пов'язані з існуючим процесом формування замовлень:

1. Товар, який міг би продаватись у більшій кількості на має можливості продемонструвати це, тому що іноді відсутній на складі. Але закуповується на рівні минулого періоду. Для організації відсутність товару у наявності означає недоотриманий дохід та прибуток.
2. При закупівлі основним критерієм слугує кількість та вартість товару. При цьому не враховується його прибутковість. Це призводить до того, що бюджет закупівлі витрачається на товари, які не приносять організацію максимальний прибуток. Тобто бюджет закупівель витрачається неефективно з точки зору прибутку.
3. При прогнозі закупівель аналізується рівень продажів у розрізі постачальників. І це є виправданим для забезпечення транспортної логістики. Однак закуповуються аналогічні товари у різних постачальників, що викликає надлишок такого типу товарів. Надлишки товару сковують обігові кошти організації.
4. Не враховується змінність попиту на товар. Тобто товари, значення попиту яких суттєво коливається у різних періодах або у надлишках, або їх на вистачає. Частіш за все бюджет на закупівлю таких товарів стає недостатнім і виникає проблема з п.1
5. Сума бюджету закупівель визначається після аналізу та формуванню замовлень по всім запланованим до закупівлі товарам. Однак, при суттєвих розбіжностях розрахованого бюджету фактично наявному виникає необхідність коригувати замовлення. Це вимагає витрати часу та сил персоналу організації для повторного проведення аналізу. Тобто знижує ефективність персоналу організації.

Також, попит продукції знаходиться під суттєвим впливом багатьох різних чинників, зокрема сезонності, специфіки каналів збуту, маркетингової активності клієнтів та конкурентів та інших невизначених чинників. Ці чинники дуже ускладнюють організації вирішення зазначених проблем наявними лінійними алгоритмами та інструментами аналізу та планування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методика ABC та XYZ-аналізу широко висвітлюється насамперед у дослідженнях зарубіжних учених, зокрема, в наукових працях Дж. Р. Стока, Д. М. Ламберта, А. Раштона, П. Кроучера [1-2]. Останні роки ця методика в контексті логістичного управління підприємством знайшла своє відображення й у працях вітчизняних науковців [3–5]. Також в статтях розглядається певний розв’язок задач за допомогою цього аналізу [6–7].

Дослідники активно вивчають різні аспекти прийняття рішень у логістиці та їх вплив на виробничі підприємства, особливо в умовах невизначеності та ризиків.

У роботі [8] запропоновано класифікації, що дають змогу визначити основні елементи логістичних витрат. Крім того, описано інструменти, які можуть полегшити управління витратами. Автори статті [9] розглядають процеси логістичного управління виробничо-господарською організацією. Запропоновано підхід до проєктування логістичної системи, що передбачає формування організаційної структури підприємства за процесно-матричним принципом та створення ефективної логістичної служби підприємства, яка виконує роль координатора та інтегратора його бізнес-систем.

Праця [10] присвячена розробленню науковометодичного підходу до управління стійкістю каналів зв'язку в умовах розвитку промислового підприємства.

Тут визначено особливості різних типів внутрішніх і зовнішніх каналів зв'язку та розроблено методики оцінювання їх стійкості.

У статті [11] емпірично досліджується вплив практик SSCM на динамічні можливості ланцюга постачань і продуктивність підприємства.

Автори дослідження [12] проаналізували важливість протиепідемічного ланцюга постачання під час пандемії та вплив технологічних інновацій на цей процес.

У публікації [13] запропоновано систему управління організаційними ризиками. Наведено основи управління ризиками ланцюга постачань і стратегії пом'якшення. Стаття [14] розглядає вплив війни на логістичні ланцюги постачання та пропонує стратегії вдосконалення управління в умовах невизначеності та ризиків.

Методи оцінювання та управління ризиками комунікацій в транспортних проєктах запропоновано в роботі [15]. Систематизовано ризики у вигляді відносин між учасниками проєкту, формалізовано подано комунікації зацікавлених сторін з огляду на причини та можливе парирування ризиків, розроблено модель кількісного оцінювання вартості ризиків проєкту.

Автори статті [16] досліджують процеси прийняття рішень з удосконалення елементів логістичного ланцюга (процесів постачання та збуту) виробничого підприємства в умовах невизначеності та ризиків.

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що дослідження логістичних ризиків з точки зору управління асортиментом та прогнозування рівня закупівель запасів є надзвичайно важливим і актуальним, особливо в умовах нестабільності, спричиненої глобальними факторами, такими як воєнні конфлікти та епідемії. Однак існуючі підходи мають певні обмеження, оскільки вони надмірно зосереджені на економічних показниках, не надають достатньої деталізації і бракує практичних рекомендацій для їх ефективного впровадження.

Це стосується не лише використання даної методики, але й її інтеграції у формування ланцюгів постачання для підвищення ефективності їх функціонування.

Метою даного дослідження є розробка алгоритму, який забезпечує ефективне управління асортиментом і запасами в умовах високої динамічності попиту та ринкових змін. Основна увага приділяється застосуванню ABC-XYZ аналізу та методів інтелектуального аналізу даних для класифікації продуктового портфелю та прогнозування оптимальних обсягів закупівель товарів. Це дозволить підприємству не лише оптимізувати товарні запаси, а й мінімізувати витрати на їх зберігання, забезпечуючи водночас високий рівень задоволення попиту.

Запропонований підхід поєднує математико-статистичні методи, системний аналіз і технології Data Mining для інтеграції неструктурованих даних в єдину модель управління асортиментом. Дослідження також спрямоване на розв'язання

завдань з підвищення рентабельності бізнесу шляхом раціонального використання фінансових ресурсів та забезпечення безперебійного постачання продукції.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо торгівельну організацію, яка володіє розгалуженою мережею роздрібних магазинів та імпортує більшу частину свого продуктового портфелю. Організація має дві пов'язані між собою задачі:

1. Запровадження класифікації асортименту, яка дозволяє оцінити важливість кожної товарної позиції, а також місце кожної порівняно з іншими товарами або групами та створення структури асортименту.
2. Визначення терміну забезпеченості товарного запасу кожної позиції та на її підставі розрахувати рекомендовані обсяги закупівель.

Для вирішення цих задач використовується алгоритм з трьох операцій, отже, викладка матеріалу також буде надана по етапам виконання цих операцій.

Перший етап. Визначення рейтингу кожного товару в асортименті

На першому етапі за допомогою ABC-XYZ аналізу визначаємо внесок кожного товару в прибуток організації та розподіляємо товари за категоріями для ефективного керування продуктовим портфелем. Детально розглядати ABC-XYZ аналіз в даній роботи не передбачається, адже є багато джерел та матеріалів на цю тему, але нагадаємо декілька важливих моментів.

ABC-аналіз показує вклад товару у результат продажів/прибутків організації, а XYZ аналіз є рейтинг стабільності його попиту. Чим стабільніший попит на товар, тим легше ним керувати, тим більш передбачувана потреба в товарних запасах, тим легше планувати поставки продукту.

Категорія X – товари, що характеризуються стабільністю продажів і, як наслідок, високими можливостями прогнозу продажів. Відхилення від середніх продажів незначне (в той чи інший бік). Відхилення від середнього значення називається коефіцієнтом варіації.

Формула розрахунку середнього квадратичного (стандартного) відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}$$

де:

σ – стандартне відхилення генеральної сукупності;

N – кількість елементів у генеральній сукупності;

x_i – значення кожного окремого елемента;

μ – середнє значення генеральної сукупності, що обчислюється як:

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

Для товарів з рейтингом X коефіцієнт варіації коливається від 0 до 10%. Коливання попиту незначні, попит стійкий, отже, можна з цих товарів робити оптимальні запаси та використовувати математичні методи прогнозу попиту та оптимального запасу.

Категорія Y – товари, які мають коливання у попиті і, як наслідок, середню точність прогнозування продажів.

Для товарів Y коефіцієнт варіації (середньої величини продажу) становить від 10% до 25%.

Категорія Z – товари з нерегулярним споживанням, будь-які тенденції відсутні, точність прогнозу продажу невисока.

Для товарів Z коефіцієнт варіації перевищує 25% і, навіть, може перевищувати 100%. Це може бути група товарів, що імпортується на замовлення клієнтів або нещодавно надійшла у продаж або товари унікальні, особливі, схильні до сезонного попиту та інше.

Група AX. Товари групи AX – товари з високим товарообігом та стабільними продажами. Товар цієї групи повинен бути в наявності в магазині або на складі, але для цієї групи не потрібно створювати надлишковий запас. Реалізація товарів цієї групи стабільна і добре прогнозується.

Група BX. Характеристики товарів групи BX аналогічні характеристикам групи AX. Але товари цієї групи не такі вигідні для торгової організації, тож запаси можна тримати ще меншими ніж у AX. Продаж товарів цієї групи також стабільний та його можна спрогнозувати.

Група CX. Товари групи CX не є основним джерелом доходів для організації, але мають стабільний збут. Зазвичай, це так звані "якірні товарі", яки повині бути у асортименту, бо приваблюють велику кількість покупців.

Група AY. Високий товарообіг, нестабільний продаж. Такий товар краще мати в невеликому надлишку на складі, щоб не було перебоїв з його наявністю у магазині.

Група BY. Високий товарообіг, нестабільні продажі. Варто тримати на складі товар у невеликому надлишку, щоб забезпечити перманентну наявність товару групи BY в магазині.

Група CY. Товари групи CY відносяться до "хвосту стоку". Крім низької вигоди, ці товари мають нестабільний попит. Підтримка наявності товарів цієї групи на складі зазвичай здійснюється за зниженим пріоритетом, якщо фінансування стоку не дефіцитне.

Група AZ. Товари цієї групи мають нестабільний попит, але високу вигоду, тому вимагають підтримку суттєвих залишків на складі для уникнення їх відсутності та втрат суттєвої долі прибутку від їх продажу.

Група BZ. Товари BZ також мають нестабільний попит, але не таку високу вигоду як AZ, тож і нижчий пріоритет при плануванні виділення ресурсів.

Група CZ. Це товари найнижчого пріоритету, бо приносять найнижчу вигоду та мають нестабільний попит. Зазвичай, товари цієї групи оптимізують та виводять з асортименту

Варто зазначити, що альтернативою великим залишкам для товарів груп Z можуть служити заходи щодо зменшення часу доставки та підвищення ритмічності поставок.

Аналіз ABC-XYZ всього асортименту слід проводити першого числа кожного місяця – аналізуючи результати збуту за минулий календарний місяц. А також, накопичувати значення рейтингу ABC-XYZ кожного товару на протязі двох років. У потоці торговельних операцій та циклів такий період аналізу забезпечує оперативну індикацію змін рейтингу кожного товару, що дає можливсть прийняти оперативні управлінські рішення. Накопичення історії рейтингу ABC-XYZ надає можливість відслідкувати тенденції та є сетом даних для прогнозування.

Другий етап. Побудова динамічної асортиментної матриці "Деревом рішень"

ABC-XYZ аналіз призначає порівняльний рейтинг кожній товарній позиції відносно всього асортименту та всіх груп товарів. Існуюча класифікація продуктового портфеля на відповідні групи та типи не враховує рівень прибутковості, тенденції сезонності та інші фактори залежності товарних позицій.

З огляду на те, що ABC-XYZ не доцільно було застосовувати в розрізі існуючої класифікації товарних груп, то після проведення "загального" ABC-XYZ аналізу (без поділу на існуючі товарні групи) у "хвості" рейтингу можуть опинитись товарні позиції з низькими показниками відносно всього асортименту. Хоча при цьому, вони можуть мати значно кращий рейтинг при порівнянні їх у середні окремої товарної групі та потрібні у товарному портфелі організації для цілісності її ринкової пропозиції.

Проте проведення ABC-XYZ аналізу для кожної товарної групи також не доцільно, бо позбавляє можливості оцінювати та керувати повним асортиментом.

Постає потреба класифікувати асортимент та розділити його на групи, типи для того, щоб керувати асортиментом в розрізі окремих його частин. Тобто створити певну структуру асортиментної матриці. Організація неодноразово намагалась побудувати асортименту матрицю користуючись звичайною логікою. Однак, недосконаліть такого методу та фактор динамічного оновлення та зміни асортимента заважають це зробити з достатньою точністю, та враховувати всі зміни та тенденції.

Задача класифікації – це задача розбиття множини об'єктів або спостережень на апріорно задані групи, названі класами, всередині кожної з яких вони вважаються схожими один на одного, та мають приблизно однакові властивості й ознаки. При цьому рішення здійснюється на основі аналізу значень атрибутів (ознак) [17].

Аналіз класифікації асортименту, що використовує організація (рисунок 1), демонструє неструктурованість даних у базі даних та перевагу однобічності підходу класифікації, що порушує принцип ієрархії. При цьому, наявність інформації дозволяє сформувати гіпотезу щодо ймовірного первинного атрибуту асортименту.

Код	Артикул	Номенклатура
4498		.Ручки DND
9747		.DND РАСПРОДАЖА
9750		на розочке R РАСПРОДАЖА
5141		На розочке VIS РАСПРОДАЖА
6401	2190-FAN	Ручка DND DANIELA для раздвижних дверей, колір античное залізо (шт.)
5229	568/12-OGC	Ручка DND LADY, VIS-круг, бронза (шт.)
9741		DND ЗАКАЗ
9742		.DND ковпачки ЗАКАЗ
5955	2314/2-14-OLV	Набір пласких ковпачків DND діаметр 14мм, колір латунь (шт.)
9743		.DND ручки ЗАКАЗ
9745		.Накладки WC/Y/P ЗАКАЗ
9748		для раздвижних дверей ЗАКАЗ
6380		на планке ЗАКАЗ
9147		DND кнокери ЗАКАЗ
9149		DND інше ЗАКАЗ
9739		DND СКЛАД
5277		.DND ковпачки СКЛАД
5997		.DND ручки СКЛАД
9110		на розочке 55мм СКЛАД
6633		віконні ручки СКЛАД
8054		розетки віконні+механізми СКЛАД
9148		.DND стопора СКЛАД
13		.Ручки MANDELLI
4499		.Ручки VALENTI
4934		VALENTI Зразки
5998		VALENTI Зразки петель
9578		.Ручки Yalis
4317		BONAITI
3765		CEMOM
9808		.Cemom петли СКЛАД
9129		Cemom 3D-14 СКЛАД
4450		Cemom Шаблоны
6434		Nekos
12		OLIMPIA
5341		SFS
4496		Інше
Всього		

Рис. 1. Наявний неструктурований асортимент організації

Для проведення класифікації за допомогою математичних методів необхідно мати формальний опис об'єкта, яким можна оперувати, використовуючи математичний апарат класифікації. Таким описом найчастіше виступає база даних. Кожний запис бази даних несе інформацію про деяку властивість об'єкта.

Для побудови структури асортиментної матриці буде використовуватись класифікація на основі метода дерева рішень спираючись на результати ABC-XYZ аналізу.

Дерева рішень належать до самих популярних і потужних інструментів Data Mining, що дозволяють ефективно вирішувати задачі класифікації. В основі роботи дерев рішень є процес рекурсивної розбивки вхідної множини спостережень або об'єктів на підмножини, асоційовані із класами. У ході процесу алгоритм повинен знайти такий критерій розщеплення, іноді також називаний критерієм розбивки, щоб розбити множину на підмножини, які б асоціювалися з даним вузлом перевірки. Кожний вузол перевірки повинен бути позначений певним атрибутом. Існує правило вибору атрибута: він повинен розбивати вхідну множину даних таким чином, щоб об'єкти підмножин, одержуваних у результаті цієї розбивки, були представниками одного класу або ж були максимально наближені до такої розбивки [17].

Існують різні критерії розщеплення. Найбільш відомі – міра ентропії й індекс Gini. Якщо задана множина T, що включає приклади з n класів, індекс Gini, визначається по формулі:

$$gini(T) = 1 - \sum_{j=1}^{n} p_j^2, \qquad p_j = \frac{N_j}{N} \text{ - частка класу } j \text{ у вузлі } T.$$

де T – поточний вузол, pj – імовірність класу j у вузлі T, n – кількість класів, N – кількість об'єктів у вузлі. Міра ентропії при побудові дерев рішень – це міра різноманітності класів у вузлі. У результаті розбивки повинні утворюватися вузли з меншою різноманітністю станів вихідної змінної. Отже, ентропія падає, а кількість внутрішньої інформації у вузлі росте. Формально ентропія певного вузла T дерева рішень визначається:

$$Info(T) = -\sum_{j=1}^{n} p_j \cdot \log(p_j).$$

Ентропія всієї розбивки – сума ентропій усіх вузлів, помножена на частку записів кожного вузла в загальному числі записів:

$$Info(S) = \frac{N_1}{N} Info(T_1) + \frac{N_2}{N} Info(T_2) + \ldots + \frac{N_n}{N} Info(T_n).$$

Для вибору атрибута розщеплення використовується критерій, що називається приростом інформації або зменшенням ентропії:

$$Gain(S) = Info(T) - Info_s(T).$$

В якості найкращого атрибута для використання в розбивці S обирається той, який забезпечує найбільший приріст інформації Gain(S).

Процес створення дерева відбуватиметься зверху вниз, тобто буде спадним.

Використаємо наведений вище алгоритм дерева рішень для побудови структури асортиментної матриці в наведеному прикладі.

Як первинний критерій розщеплення використаємо групи та кількість товарних позицій згідно певних груп, які отримали шляхом ABC-XYZ аналізу, а саме:

- Висока популярність: AX, AY, AZ
- Середня популярність: BX, BY, BZ
- Низька популярність: CA, CY, CZ

Перевіримо гіпотезу, яка передбачає, що для першого розщеплення в дереві рішень є такий атрибут як “Вид виробу” (ручки, замки, циліндри, петлі).

Вихідні дані:

Таблиця 1

Загальний результат ABC-XYZ аналізу

Висока популярність	AX (30 позицій)	AY (781 позицій)	AZ (880 позицій)
Середня популярність	BX (342 позицій)	BY (473 позицій)	BZ (932 позицій)
Низька популярність	BX (342 позицій)	BY (473 позицій)	BZ (932 позицій)

Таблиця 2

Результат ABC-XYZ аналізу по групах товару

	Ручки	**Замки**	**Циліндри**	**Петлі**
AX	30 позицій	0 позицій	0 позицій	0 позицій
AY	340 позицій	431 позицій	5 позицій	5 позицій
AZ	450 позицій	347 позицій	75 позицій	8 позицій
BX	135 позицій	207 позицій	0 позицій	0 позицій
BY	212 позицій	172 позицій	87 позицій	2 позицій
BZ	492 позицій	310 позицій	111 позицій	19 позицій
CA	13 позицій	0 позицій	13 позицій	0 позицій
CY	401 позицій	291 позицій	0 позицій	0 позицій
CZ	332 позицій	287 позицій	136 позицій	17 позицій

1. Початкова ентропія Info(T) для всього набору даних.

Загальні суми по категоріях:

- Висока популярність: AX (30), AY (781), AZ (880) = 1691 позицій
- Середня популярність: BX (342), BY (473), BZ (932) = 1747 позицій
- Низька популярність: CA (26), CY (692), CZ (772) = 1490 позицій
- Розрахунок ентропії для всього набору даних:

$$\text{Info}(T) = -\left(\frac{1691}{4928} \cdot \log_2 \frac{1691}{4928}\right) - \left(\frac{1747}{4928} \cdot \log_2 \frac{1747}{4928}\right) - \left(\frac{1490}{4928} \cdot \log_2 \frac{1490}{4928}\right)$$

$$\text{Info}(T) = -\left(0.343 \cdot \log_2 0.343\right) - \left(0.354 \cdot \log_2 0.354\right) - \left(0.302 \cdot \log_2 0.302\right)$$

$$\text{Info}(T) = -\left(0.343 \cdot -1.542\right) - \left(0.354 \cdot -1.498\right) - \left(0.302 \cdot -1.738\right)$$

$$\text{Info}(T) = 0.529 + 0.530 + 0.525 = 1.584$$

2. Розрахунок ентропії для атрибута "Вид виробу". Розподіл популярності для кожного виду виробу:

Ручки:

- Висока популярність: 30 + 340 + 450 = 820 позицій
- Середня популярність: 135 + 212 + 492 = 839 позицій
- Низька популярність: 13 + 401 + 332 = 746 позицій

$$\text{Info}(\text{Ручки}) = -\left(\frac{820}{2405} \cdot \log_2 \frac{820}{2405}\right) - \left(\frac{839}{2405} \cdot \log_2 \frac{839}{2405}\right) - \left(\frac{746}{2405} \cdot \log_2 \frac{746}{2405}\right)$$

$$\text{Info}(\text{Ручки}) = -(0.341 \cdot \log_2 0.341) - (0.349 \cdot \log_2 0.349) - (0.310 \cdot \log_2 0.310)$$

$$\text{Info}(\text{Ручки}) = -(0.341 \cdot -1.554) - (0.349 \cdot -1.518) - (0.310 \cdot -1.688)$$

$$\text{Info}(\text{Ручки}) = 0.530 + 0.530 + 0.523 = 1.583$$

Замки:

- Висока популярність: 431 + 347 + 310 = 1088 позицій
- Середня популярність: 207 + 172 + 287 = 666 позицій
- Низька популярність: 291 позицій

$$\text{Info}(\text{Замки}) = -\left(\frac{1088}{2045} \cdot \log_2 \frac{1088}{2045}\right) - \left(\frac{666}{2045} \cdot \log_2 \frac{666}{2045}\right) - \left(\frac{291}{2045} \cdot \log_2 \frac{291}{2045}\right)$$

$$\text{Info}(\text{Замки}) = -(0.532 \cdot \log_2 0.532) - (0.326 \cdot \log_2 0.326) - (0.142 \cdot \log_2 0.142)$$

$$\text{Info}(\text{Замки}) = -(0.532 \cdot -0.912) - (0.326 \cdot -1.617) - (0.142 \cdot -2.815)$$

$$\text{Info}(\text{Замки}) = 0.485 + 0.527 + 0.399 = 1.411$$

Циліндри:

- Висока популярність: 75 позицій
- Середня популярність: 87 + 111 + 136 = 334 позицій

$$\text{Info}(\text{Циліндри}) = -\left(\frac{75}{422} \cdot \log_2 \frac{75}{422}\right) - \left(\frac{334}{422} \cdot \log_2 \frac{334}{422}\right) - \left(\frac{13}{422} \cdot \log_2 \frac{13}{422}\right)$$

$$\text{Info}(\text{Циліндри}) = -(0.178 \cdot \log_2 0.178) - (0.791 \cdot \log_2 0.791) - (0.031 \cdot \log_2 0.031)$$

$$\text{Info}(\text{Циліндри}) = -(0.178 \cdot -2.489) - (0.791 \cdot -0.328) - (0.031 \cdot -5.058)$$

$$\text{Info}(\text{Циліндри}) = 0.443 + 0.260 + 0.157 = 0.860$$

Петлі:

- Середня популярність: 17 позицій
- Низька популярність: 5 + 8 + 2 + 19 = 34 позицій

$$\text{Info}(\text{Петлі}) = -\left(\frac{17}{51} \cdot \log_2 \frac{17}{51}\right) - \left(\frac{34}{51} \cdot \log_2 \frac{34}{51}\right)$$

$$\text{Info}(\text{Петлі}) = -(0.333 \cdot \log_2 0.333) - (0.667 \cdot \log_2 0.667)$$

$$\text{Info}(\text{Петлі}) = -(0.333 \cdot -1.585) - (0.667 \cdot -0.585)$$

$$\text{Info}(\text{Петлі}) = 0.528 + 0.390 = 0.918$$

3. Розрахунок приросту інформації. Gain(S) для атрибута "Вид виробу".

Обчислимо загальну ентропію для атрибута "Вид виробу" як зважену суму ентропій для кожного типу виробу з урахуванням кількості позицій у кожному типі:

$$\text{Info}(\text{Вид виробу}) = \frac{2405}{4928} \cdot \text{Info}(\text{Ручки}) + \frac{2045}{4928} \cdot \text{Info}(\text{Замки}) + \frac{422}{4928} \cdot \text{Info}(\text{Циліндри}) + \frac{51}{4928} \cdot \text{Info}(\text{Петлі})$$

$$\text{Info}(\text{Вид виробу}) = \frac{2405}{4928} \cdot 1.583 + \frac{2045}{4928} \cdot 1.411 + \frac{422}{4928} \cdot 0.860 + \frac{51}{4928} \cdot 0.918$$

$$\text{Info}(\text{Вид виробу}) = 0.487 + 0.586 + 0.073 + 0.009 = 1.155$$

Тепер розрахуємо приріст інформації Gain(S) для атрибута "Вид виробу":

$$\text{Gain}(\text{Вид виробу}) = \text{Info}(T) - \text{Info}(\text{Вид виробу})$$

$$\text{Gain}(\text{Вид виробу}) = 1.584 - 1.155 = 0.429$$

Приріст інформації для атрибута "Вид виробу" становить Gain (Вид виробу)=0.429. Це означає, що атрибут "Вид виробу" забезпечує значний приріст інформації і може бути використаний для першого розщеплення в дереві рішень. Гіпотеза підтверджена.

Аналогічно розщеплюємо далі атрибути такі як: призначення дверей (внутрішні, зовнішні), вид монтажу виробу (накладний, врізний), механізм (ручки – поворотні, натискні; замки – циліндрові, ригельні, кодові, сувальдні, електромагнітні, циліндрові, розетки, натискні, ноби).

В результаті отримаємо наступну класифікацію (Таблиця 3).

Таблиця 3

Класифікація асортименту (асортиментна матриця)

Вид виробу	Призначення дверей	Вид монтажу	Механізм
Ручки	зовнішні	врезний	поворотні
			натискні
	внутрішні	врезний	поворотні
			натискні
		накладний	поворотні
			натискні
			стаціонарні
Замки	внутрішні	накладний	циліндрові
	зовнішні	врезний	ригельні
			кодові
			сувальдні
			електромагнітні
			циліндрові
	внутрішні		розетки
			натискні
			ноби
Цилиндры	внутрішні	накладний	ключ-ручка
	зовнішні	врезний	ключ-ключ
			ключ-ручка
			півциліндр
Петли	зовнішні	накладний	накладний
	внутрішні	роз'ємна петля	накладний
			врезні
			кутові
			вкрутні
			приховані
			двухсторонні
		універсальна петля	накладний
			врезні
			кутові
			вкрутні
			приховані
			двухсторонні

Таким чином, маючи на вході неструктуровані дані за допомогою дерева рішень та на підставі ABC-XYZ аналізу побудована структура асортиментної

матриці. Асортиментна матриця – інструмент управління асортиментом, що спираючись на перевірені методи аналізу перетворює неструктуровані дані у дата продукт з надійними та зручними для прийняття управлінських рішень даними.

Наданий розрахунок потрібно проводити двічі на рік, а також та при суттєвих змінах асортименту. Важливою рисою такої комбінації методів аналізу є можливість швидко розраховувати асортиментну матрицю на підставі реальних результатів збуту навіть в умовах високої динамічної зміни асортименту.

Третій етап. Розрахунок рекомендованих обсягів закупівель.

Важливим завданням для організації є ефективне використання грошових ресурсів на забезпечення складських запасів. Наявний метод планування закупівель спрямований на поповнення запасів за принципом "скільки продано, стільки і закуповується". Однак зазначені вище фактори волатильності провокують ситуації перенасичення на складських запасах одних позицій, та нестачу інших.

Для управління ефективністю використання ресурсів приймається показник "Забезпеченість". Забезпеченість – період, на який вистачить товару (на складі та на шляху до нього) з моменту його поставки на склад для забезпечення попиту. Мета визначення забезпеченості кожного товару – отримати чіткий розрахунковий показник для прийняття рішень щодо необхідності закупівлі асортиментної позиції. Саме на підставі забезпеченості в подальшому розраховується кількість товару для закупівлі.

Базова формула забезпеченості:

Забезпеченість (період) = (Залишки продукції на день замовлення + Всього в дорозі) / Середній продаж в період

Однак, на процеси постачання організації впливають додаткові фактори, які необхідно враховувати у процесі розрахунку закупівель: термін поставки від постачальника, коефіцієнт сезонності, час від останньої закупівлі та інші. Тож уточнена формула розрахунку забезпеченості товарів організації має такий вигляд:

*Забезпеченість (дні) = (Вільні залишки продукції на день замовлення, шт + Всього в дорозі за період поставки від постачальника, шт) / (Середній продаж, шт * Коефіцієнт сезонності),* де

- Вільні залишки продукції на день замовлення – кількість товару на складі, що не зарезервовані для потреб окремих клієнтів чи спеціалізованих складських програм, шт;
- Всього в дорозі за період поставки від постачальника – кількість товару що відвантажена та запланована до відвантаження в бік організації, шт;
- Період поставки від постачальника – час, через який очікується поставка товара на склад організації, дні;
- Середній продаж = кількість проданих товарів за місяць / кількість днів у місяці, шт/день;
- Коефіцієнт сезонності – коефіцієнт, що прогнозується, зазвичай, з урахуванням сезонних та інших тенденцій збуту у окремій товарній групі.

Для кожної групи товарів чи окремої асортиментної позиції встановлюється показник Оптимальної забезпеченості, бажаної.

Практичне застосування наведеного алгоритму аналізу забезпечується обліковою системою організації та відображається у розрахунку рекомендованої кількості товару для закупівлі – для досягнення встановленого Оптимального рівня забезпеченості. Аналітичні розрахунки здійснюються обчислювальними потужностями облікової системи. Остаточне рішення по кількості товарів у замовлені постачальнику здійснює відповідальна людина та вносить його у форму

“Помічник розрахунку замовлення” (Таблиця 4, Таблиця 5, Таблиця 6). Для зручності відображення у статті єдина форма розділена на три таблиці.

Для кожного товару форма (Таблиця 4) вказує його Групу, Призначення, та інші класифікатори асортиментної матриці, показники продажу та ABC-XYZ рейтинг. Це надає можливість оператору аналізувати ланку кожної товарної позиції у асортиментній матриці. Таким чином нейтралізується одразу кілька проблем процесу закупівель організації:

- Планування закупівель ведеться в розрізі саме асортименту, а не постачальників. Результат аналізу неструктурованих на початку даних дозволяє спрямувати бюджет на забезпечення конкретних ланок розрахованої асортиментної матриці, та не сковувати обігові кошти у аналогічних товарах. Тобто вирішує проблему 3.
- Рейтинг кожної позиції чітко вказує на її рівень прибутковості, що дає можливість спрямовувати бюджет з максимальною ефективністю з точки зору прибутковості. Тож, вирішити проблему 2 допомагає результат ABC-аналізу.
- Результат XYZ-аналізу демонструє стабільність попиту на конкретну товарну позицію, що дає організації інформацію для прийняття рішень щодо рівня запасів. Це суттєво підвищує якість забезпечення товарів з нестабільним попитом, тобто вирішує проблему 4, та допомагає у розв’язанні першої.

Таблиця 4

Форма “Помічник розрахунку замовлення: асортимент”

Група	Призначення	Вид монтажу	Механізм	Модель, серія	Номенклатура	Рейтиг	Продаж за місяць, шт	Середній продаж, шт/день
Ручки	Внутрішні	Врізний	Поворотні	Mediana Evolution	Mediana Evolution PZ18/85/50, білий	BY	30	1,00
Ручки	Внутрішні	Врізний	Натискні	Mediana Evolution	Mediana Evolution PZ18/85/50, бронза	CX	40	1,33
Ручки	Внутрішні	Накладний	Поворотні	Mediana Evolution	Mediana Evolution PZ18/85/50, зел.бронза	AY	80	2,67
Ручки	Внутрішні	Накладний	Натискні	Mediana Evolution	Mediana Evolution PZ18/85/50, латунь	BX	120	4,00

Також, форма (Таблиця 5) відображає кількість товарів в дорозі та заплановані дати їх прибуття, надаючи змогу сформувати графік поставок на склад та приймати більш зважене рішення щодо кількості товарів у замовлені.

Таблиця 5

Форма “Помічник розрахунку замовлення: графік поставок”

Типовий термін постачання, днів	Замовлений товар з прибуттям через 14 днів	Замовлений товар з прибуттям через 28 днів	Замовлений товар з прибуттям через 42 днів	Всього в дорозі	Вільні залишки на момент звіту
60	30	20	20	70	150
60	10	20	20	50	123
60	20	20	22	62	34
60	20	37	0	57	22

Ключовим блоком форми є частина з розрахунком прогнозу замовлення (Таблиця 6).

Використовуючи зазначену вище формулу забезпеченості форма розраховує прогнозне значення замовлення: Прогнозоване замовлення = (Середній продаж × Коефіцієнт сезонності × Період поставки) − (Вільні залишки продукції + Всього в дорозі)

Тобто Прогнозоване замовлення – це кількість товару, необхідна для того, щоб на момент його прибуття він мав бажаний рівень забезпечення при існуючому середньому продажу.

Розраховане значення форма відображає у стовпці “Прогноз заказу, шт”. Якщо формула розрахунку визначить, що на момент прибуття (період від моменту замовлення + типовий термін постачання) рівень забезпечення буде вище за оптимальний, то форма пропонує на здійснювати закупівлю, тобто Прогноз заказу дорівнює нулю.

Також, форма розраховує заплановану дату поставки для спрощення планування графіку поставок. На графік поставок та якість забезпечення впливає ритмічність замовлень, про що індикує форма допомагаючи планувати роботу з закупівель

Автоматичний розрахунок вартості замовлення спрощує співставлення наявного бюджета потрібному, що значно підвищує ефективність роботи персоналу чим вирішує проблему 5.

Аналізуючи місце товара у асортименті, значення рейтингу, темпів продажу, графіку постачать, наявності бюджету і т.п. людина приймає остаточне рішення щодо кількості закупівель. Своє рішення вона вносить у поле “Заказ”. Форма відображає як вартість як прогнозного замовлення, так і вартість результату роботи людини.

Таким чином, людина у одній скороченій формі отримує структуру асортименту, ключові показники товарів та прогноз замовлення у кількості та сумі, що вирішує ключові проблеми організації у процесі забезпечення рівня закупівель.

Таблиця 6

Форма “Помічник розрахунку замовлення: графік поставок”

Забезпеченість на момент поставки	Оптимальна забезпеченість	Прогноз заказу, шт	Ціна, грн	Прогнозна вартість заказу, грн	Днів до замовлення	Заказ, шт	Вартість заказу, грн	Запланована дата поставки
220	60	0	250	0	5	0	0	0
130	60	0	250	0	5	0	0	0
36	60	64	250	16 000	-7	80	20 000	12.01.25
20	60	160	250	40 063	-7	160	40 000	12.01.25
	Підсумок:	224		56 063		240	60 000	

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження було розроблено та застосовано алгоритми структуризації неструктурованих даних асортименту товарів і математико-статистичного прогнозування кількісного рівня матеріальних запасів (“Прогноз заказу” у таблиці 6).

Застосування ABC-XYZ аналізу у поєднанні з методами інтелектуального аналізу даних, зокрема методом дерева рішень дозволяє ефективно класифікувати

асортиментний портфель торговельної організації. Це є обов'язковим та важливим кроком на шляху до прогнозування обсягів закупівель продукції та цільового використання ресурсів.

Практична користь дослідження полягає у створенні алгоритмів і моделей, які допомагають підприємствам значно покращити процеси прогнозування попиту та управління товарними запасами. Використання розроблених методів забезпечує організацію чіткими критеріями оцінки кожної товарної позиції та надає прогноз необхідної кількості, що допомагає їй приймати більш виважені рішення при управлінні витратами на зберігання товарів та забезпечені безперебійного доступ до необхідної продукції. Слід зазначити високу універсальність алгоритму і можливість його застосування у великій кількості найрізноманітніших торговельних організацій.

Важливим результатом дослідження є практична реалізація алгоритмів аналізу та впровадження інструментів прогнозування на базі наявної у організації облікової системи. Аналітичний модуль спирається на оперативні та достовірні дані.

Перспективи подальших досліджень включають розширення методів аналізу для інших типів неструктурованих даних, які можуть виникати в логістичних процесах, а також інтеграцію більш складних алгоритмів машинного навчання для підвищення точності прогнозування та адаптації моделей до змінних умов ринку.

Окремим напрямом дослідження є розробка предикативних моделей штучного інтелекту для генерацій проактивних рекомендацій щодо активностей з матеріальними запасами, що значно підвищить здатність організації попереджувати виникнення помилок та відхилень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Stock J. R., Lambert D. M. Strategic Logistics Management. McGraw-Hill Education, 2019. 896 с.

2. Rushton A., Croucher P., Baker P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page Publishers, 2020. 912 с.

3. Чорний І. Г., Чорний М. Г. Основи логістики. Київ: КНЕУ, 2019. 256 с.

4. Савіна Г. І. Логістика в умовах глобалізації. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. 304 с.

5. Ковальчук Ю. В., Ковальчук І. О. Інформаційні технології в логістиці. Одеса: Одеський національний університет, 2020. 272 с.

6. Шляховий О., Гончарук О. А. Особливості формування системи логістичного обслуговування операційної діяльності підприємств. *Сучасні тренди, реалії і перспективи розвитку туризму та готельно-ресторанної справи:* міжнар. наук.-практ. конф., м.Хмельницький, 23-24 травня 2024 р. Хмельницький, 2024. С. 85-91.

7. Разумова К. М., Темченко О. А., Шевчук Н. А., Максимова О. С Обґрунтування логістичних систем управління підприємством на основі авс та xyz-аналізу. *Наукоємні технології.* 2021. Т3. № 51. С. 281-291. DOI:10.18372/2310-5461.51.15999 – https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/15999/23288

8. Santos T. F., Gonçalves A. T. P., Leite M. S. A. Logistics cost management: insights on tools and operations. *International Journal of Logistics Systems and Management.* 2016. Т23. № 2. С. 171–188. DOI: 10.1504/IJLSM.2016.073967

9. Cherchata A., Popovychenko I., Andrusiv U., Gryn V., Shevchenko N., Shkuropatskyi O. Innovations in Logistics Management as a Direction for Improving the Logistics Activities of Enterprises. *Management Systems in Production Engineering.* 2022. Т.30. № 1. С. 9–17. DOI: 10.2478/mspe-2022-0002

10. Bezchasnyi O., Khobta V., Pushak Ya., Kotkalova-Litvin I., Dorovska I. Modeling of control stability of communication channels in development management conditions. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії і практики.* 2018. № 27. С. 282–295. DOI: 10.18371/fcaptp.v4i27.154116.

11. Hong J., Zhang Y., Ding M. Sustainable supply chain management practices, supply chain dynamic capabilities, and enterprise performance. Journal of cleaner production. 2018. Т. 172. С. 3508–3519. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.093

12. Malin Song, Sai Yuan, Hongguang Bo. Robust optimization model of anti-epidemic supply chain under technological innovation: learning from COVID-19. *Annals of Operations Research*. 2022. №. 335. С. 1332–1360. DOI: 10.1007/s10479-022-04855-5

13. Olson D. L., Wu D. Enterprise Risk Management in Supply Chains. In: Enterprise Risk Management Models. Springer Texts in Business and Economics. *Springer, Berlin, Heidelberg*. 2023. С. 1–14. DOI: 10.1007/978-3-662-68038-4_1

14. Мартинець В. Б., Кабан О. В., Полянська А. С. Оптимізація ланцюга постачання на підприємстві в умовах кризових явищ. *Актуальні проблеми розвитку економіки регіону.* 2022. № 18. С. 112–125. DOI: 10.15330/apred.2.18.112-127

15. Lytvynenko D., Malyeyeva O. Risk management in projects of restoration the regional transport structure on the basis of participants' commubication. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* 2022. № 2. С. 44-51. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.20.044

16. Ю. Полупан, О. Малєєва Системна модель ризиків та дерева альтернативних рішень з удосконалення логістичного ланцюга виробничого підприємства. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* 2024. Т.2. № 28. С. 133-142. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.2.133

17. Ситник В.Ф. Інтелектуальний аналіз даних. К.: КНЕУ, 2007. 376 с.

REFERENCES:

1. Stock J. R., Lambert D. M. (2019) Strategic Logistics Management. *McGraw-Hill Education*.

2. Rushton A., Croucher P., Baker P. (2020) The Handbook of Logistics and Distribution Management. *Kogan Page Publishers*.

3. Chorny I.G., Chorny M. G. (2019) Osnovy logistiki. [Basics of Logistics]. Kyiv: KNEU. (in Ukrainian)

4. Savina G.I. (2017) Logistika v umovah globalizacii. [Logistics in the conditions of globalization]. *Kharkiv: KNU named after V.N. Karazina.* (in Ukrainian)

5. Kovalchuk U.V., Kovalchuk I. O. (2020) Informacijni tehnologii v logistyci. [Information technologies in logistics]. *Odesa: Odessa National University.* (in Ukrainian)

6. Shlyahovyi O., Goncharuk O. A. Osoblyvosti formuvannya systemy logistychnogo obslygovyvannja operacyjnoi diyalnosti pidpryemstv. [Peculiarities of the formation of a system of logistic service for the operational activities of enterprises]. Proceedings of the *Suchasni trendy, realii i perspektyvy rozvytku turyzmu ta gotelno-restorannoi spravy.* (*Ukraine, Khmelnytskyi, May 23-24, 2024*) (eds. S. Matyuh, E. Rudnichenko, I. Zhurba, L. Grigorieva, L. Gryzovska, T. Tomalya, O. Davydova, N. Prilepa, A. Rogova, I. Nestorishen), Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii, Khmelnytskyi, pp. 85-91.

7. Razumova K. M., Temchenko O. A., Shevchuk N. A., Maksimova O. S (2021) Obgruntuvannja loghistychnykh system upravlinnja pidpryjemstvom na osnovi avs ta khyz-analizu. [Justification of enterprise logistics management systems based on avs and xyz-analysis.] *Naukojemni tekhnologhiji* (electronic journal), vol. 3, no. 51, pp. 281-291. Retrieved from: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/15999/23288 (10 October 2024).

8. Santos T. F., Gonçalves A. T. P., Leite M. S. A. (2016) Logistics cost management: insights on tools and operations. *International Journal of Logistics Systems and Management*. vol. 23, no. 2, pp. 171–188. DOI: 10.1504/IJLSM.2016.073967

9. Cherchata A., Popovychenko I., Andrusiv U., Gryn V., Shevchenko N., Shkuropatskyi O. (2022) Innovations in Logistics Management as a Direction for Improving the Logistics Activities of Enterprises. *Management Systems in Production Engineering*. vol. 30. no. 1. pp. 9–17. DOI: 10.2478/mspe-2022-0002

10. Bezchasnyi O., Khobta V., Pushak Ya., Kotkalova-Litvin I., Dorovska I. (2018) Modeling of control stability of communication channels in development management conditions. *Financial and credit activity: problems of theory and practice.* 2018. no 27. pp. 282–295. DOI: 10.18371/fcaptp.v4i27.154116.

11. Hong J., Zhang Y., Ding M. Sustainable supply chain management practices, supply chain dynamic capabilities, and enterprise performance. Journal of cleaner production. 2018. vol. 172. pp. 3508–3519. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.093

12. Malin Song, Sai Yuan, Hongguang Bo. Robust optimization model of anti-epidemic supply chain under technological innovation: learning from COVID-19. *Annals of Operations Research*. 2022. no. 335. pp. 1332–1360. DOI: 10.1007/s10479-022-04855-5

13. Olson D. L., Wu D. Enterprise Risk Management in Supply Chains. In: Enterprise Risk Management Models. Springer Texts in Business and Economics. *Springer, Berlin, Heidelberg*. 2023. pp. 1–14. DOI: 10.1007/978-3-662-68038-4_1

14. Martynecj V. B., Kaban O. V., Poljansjka A. S. Optymizacija (2022) lancjugha postachannja na pidpryjemstvi v umovakh kryzovykh javyshh. [Optimization of the supply chain at the enterprise in the conditions of crisis phenomena]. *Aktualjni problemy rozvytku ekonomiky reghionu* (electronic journal), no. 18, pp. 112–125. Retrieved from: https://journals.pnu.edu.ua/index.php/aprde/article/view/6083/6333 (10 October 2024)

15. Lytvynenko D., Malyeyeva O. (2022) Upravlinnja ryzykamy v projektakh vidnovlennja transportnoji infrastruktury reghionu na osnovi komunikacij uchasnykiv [Risk Management in projects of restoration the regional transport structure on the basis of participants' commubication]. *Suchasnyj stan naukovykh doslidzhenj ta tekhnologhij v promyslovosti* (electronic journal), no. 2. pp. 44-51. https://journals.uran.ua/itssi/article/view/262050 (5 October 2024)

16. Ju. Polupan, O. Maljejeva (2024) Systemna modelj ryzykiv ta dereva aljternatyvnykh rishenj z udoskonalennja loghistychnogho lancjugha vyrobnychogho pidpryjemstva. [A system model of risks and a tree of alternative solutions for improving the logistics chain of a production enterprise]. *Suchasnyj stan naukovykh doslidzhenj ta tekhnologhij v promyslovosti* (electronic journal), vol. 2, no. 28, pp. 133-142. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.2.133 (15 October 2024)

17. Sytnyk V.F. (2007) Intelektualjnyj analiz danykh [Intelligent data analysis]. K.: KNEU.

UDC 338.432
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.8

DEFINING FOCUS AREAS FOR EXPERT ASSESSMENTS ON THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE AGRO-INDUSTRIAL SECTOR

Loboda O. M. *– PhD in Technica, Associate Professor,*
Associate Professor at the Department of Management and Information Technology
of the Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID ID: 0000-0001-9826-9443

The article addresses the challenge of determining priorities for the implementation of digital technologies in agro-industrial enterprises, particularly in the crop production sector, under conditions of limited resources, finances, and personnel. Modern agricultural businesses face increasing pressure to enhance operational efficiency, making the adoption of digital solutions ever more relevant. However, in light of limited resources and a lack of experience with such technologies, selecting priority areas for their implementation is critical.

The authors propose using a fuzzy expert evaluation methodology based on linguistic variables. This approach enables the consideration of uncertainties and ambiguities that are characteristic of the early stages of digitalization in the agro-industrial complex. An expert group, comprising specialists in agriculture and digital technologies, was involved in assessing the most promising areas for implementing digital solutions. Through the use of fuzzy set theory, the expert evaluation results were processed, allowing for an objective determination of digitalization priorities.

The study found that, from the perspective of digital technology application goals, the highest-rated areas were crop monitoring and programming, informatization, and the creation of a digital agronomist model. The introduction of these technologies would significantly improve the management of production processes, increase yields, and ensure more rational use of resources, while minimizing losses.

Ultimately, the research outlines concrete priorities for the implementation of digital technologies in crop production, which promise to provide substantial benefits to the agro-industrial sector. The findings suggest that strategically targeted digital solutions can drive productivity improvements and ensure more sustainable practices, reinforcing the importance of adopting advanced technologies in modern agriculture. This study underscores the need for careful consideration of resource allocation and expert guidance to maximize the potential of digitalization in agricultural enterprises.

Key words: *digital technologies, expert assessments, linguistic variables, management decisions, autonomous information management systems, enterprise programming.*

Лобода О. М. Визначення пріоритетних напрямів експертних оцінок для впровадження цифрових технологій в агропромисловому комплексі

У статті розглядається проблема визначення пріоритетів використання цифрових технологій на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема у сфері рослинництва, в умовах обмеженості ресурсів, фінансів та кадрів. Сучасні сільськогосподарські підприємства стикаються з необхідністю підвищення ефективності своєї діяльності, що робить використання цифрових рішень дедалі актуальнішим. Однак в умовах обмежених ресурсів та браку досвіду впровадження таких технологій важливим стає вибір пріоритетних напрямів для їх реалізації.

Авторами запропоновано використовувати методологію нечітких експертних оцінок, засновану на використанні лінгвістичних змінних. Такий підхід дозволяє врахувати невизначеності та неоднозначності, характерні для початкових етапів цифровізації агропромислового комплексу. Експертна група, яка складалася зі спеціалістів у галузі сільського господарства та цифрових технологій, була залучена для оцінки найбільш перспективних напрямів впровадження цифрових рішень. За допомогою методів теорії нечітких множин були оброблені результати експертних оцінок, що дозволило об'єктивно визначити пріоритети цифровізації.

За результатами дослідження встановлено, що з точки зору цілей використання цифрових технологій найвищі оцінки отримали такі напрями, як моніторинг і програмування

врожаю, інформатизація та створення цифрової моделі роботи агронома. Впровадження цих технологій дозволить суттєво покращити управління виробничими процесами, підвищити врожайність, а також забезпечити більш раціональне використання ресурсів і мінімізацію втрат.

У результаті дослідження були визначені конкретні пріоритети впровадження цифрових технологій у рослинництві, які можуть принести значну користь агропромисловому сектору.

Ключові слова: *цифрові технології, експертні оцінки, лінгвістичні змінні, управлінські рішення, автономна інформаційна система управління, програмування підприємств.*

Problem solving. One of the key drivers of the overall development of a nation's economy, and particularly its agricultural sector, is the implementation of digital technologies. On farms, these technologies enable the maximization of resource efficiency by applying data-driven, step-by-step solutions based on extensive information flows in complex systems. The integration of digital tools leads to higher productivity while significantly reducing costs and environmental impact by allowing for more targeted use of fertilizers, machinery, and other resources. However, the adoption of digital technologies in agriculture remains limited, often advancing through a process of trial and error. This highlights the need for further development of both the economic and organizational frameworks to support the successful integration of such innovations into crop production.

A critical challenge in this process is establishing clear priorities for the implementation of digital technologies, given their vast variety. The range of available devices, software, and technologies is highly diverse and must be systematically organized and prioritized for effective use. It is practically unfeasible to implement digital solutions across all problem areas in a single region or within a single enterprise simultaneously. Therefore, identifying the most effective digital technologies that can deliver the highest impact at the early stages of farm digitalization is a pressing scientific and practical challenge.

Analysis of recent research and publications. Several researchers have employed expert opinion methodologies in their studies, including B.E. Hrabovetskyi, H.M. Hnatienko, and V.E. Snityuk. Key aspects of optimal corporate management have been explored in the works of V.K. Zbarskyi, V.I. Matsybori, V.V. Morosanova, and A.A. Roan. Meanwhile, discussions on the digital economy and its directions can be found in the publications of T.L. Mesenburg, V.V. Klochan, and M.F. Nettle. Given that the integration of digital technologies into agriculture is still in its nascent stages, their economic aspects have been sparsely studied. Most of the available data remains non-formalized, which makes the expert opinion method particularly relevant for such cases [1, p.43].

Consequently, the task of identifying the key areas for introducing digital agricultural technologies [2,3 p.122] hinges on expert evaluations of existing options [4 p.234]. Ranking the potential uses of digital technologies by application priority falls under the category of optimization problems in uncertain conditions [5 p.48, 6 p.64-68]. In instances where formalized quantitative data is insufficient, these problems are addressed not with traditional mathematical approaches (such as probability theory or optimal programming theory [7 p.130-134]), but with fuzzy expert assessments expressed in natural language, processed using fuzzy set theory and linguistic variable methods [3 p. 156].

Purpose of the article. The goal of this article is to tackle the issue of prioritizing the implementation of digital technologies on farms, particularly in crop production, amid financial, personnel, and resource constraints. Given the improbability of simultaneously introducing the full spectrum of digital technologies, it is essential to identify the most effective solutions that can enhance farm efficiency.

Presentation of the main material of the study. Identifying the key areas for implementing digital agricultural technologies involves several important steps: setting critical goals and objectives for their use, selecting the most efficient and reliable equipment suited to the agricultural sector, and determining the most rational organizational structures and mechanisms for facilitating their adoption.

One of the main advantages of using fuzzy sets is their ability to process a wide range of expert opinions expressed in natural language, such as terms like «highly effective», «ineffective», or «unacceptable». This enables the generation of a comprehensive evaluation of both the practicality and effectiveness of a particular digital agricultural technology. The evaluation is based on the function of a specific technology's membership within the fuzzy set of priority areas for effective implementation.

A fuzzy set A for any element X is defined by a membership function $\mu_A; X \to [0;1]$. The value belongs $\mu_A(X)$ to the interval and captures the degree of membership of the element X to the set A. In the case of a conventional crisp set, the membership degree of any element is either 0 or 1 (meaning an element can either belong to the set or not belong to it at all). However, in the case of a fuzzy set, the membership probability is assessed, for example, as 0.3, 0.5, or 0.8. This approach aligns more closely with the tasks of expert evaluation in poorly formalized cases where there is a lack of information [1, p. 76].

A fuzzy set is typically expressed as a collection of ordered pairs, with each pair consisting of elements X and their corresponding membership functions $\mu_A(X)$. An example of a fuzzy set notation is as follows: $A = \{(x_1, 0.1), (x_2, 0.5), (x_3, 0.4)\}$.

To work with fuzzy sets, various mathematical tools such as U-shaped and S-shaped fuzzy numbers are utilized to process data and derive precise evaluations. These fuzzy numbers serve as a mathematical representation of expert judgments, translated into a formalized mathematical language. Specifically, triangular membership functions can be defined by expression (1):

$$\mu_A(x;a,b,c) = \begin{Bmatrix} 0, & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \le c \le x \\ 0, & c \le x \end{Bmatrix} \quad (1)$$

where a, b, and c are large real numbers $a \le b \le c.$ that correspond to the combined S-shaped functions of the functions F associated with them, represented in the following manner (2):

$$f_{x1}(x,a,b) = \begin{Bmatrix} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} cos\left(\frac{x-b}{b-a}\sigma\right), & a \le x \le b \\ 1, & x > b \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Expert judgments articulated in natural language enable the construction of membership functions. In this process, each expert selects a linguistic term that reflects their assessment of the effectiveness of the technology being evaluated. The set of linguistic variables, denoted as A(X), is expressed as follows: A(X)={high, very high, fairly high, relatively high, above average, average, relatively low, fairly low, low, almost very low}.

This approach illustrates how fuzzy sets can be utilized to formalize and generalize vague verbal information, allowing for a more comprehensive and precise aggregation

of informal expert opinions. It facilitates the transition from a series of qualitative assessments to a quantitative ranking of the efficiency and priority of digital technologies.

To form the expert group, a total of 13 experts were selected, as research indicates that a panel of 12-13 individuals achieves over 80% accuracy in results. Increasing the number of experts beyond this point does not substantially enhance the accuracy of the assessment and may even diminish the average level of competence due to the limited pool of specialists focused on digital technologies within the agro-industrial sector. The distribution of experts by professional background is as follows: five individuals from management and specialist roles within agricultural enterprises; three from specialized organizations that provide services related to digital technologies; three officials involved in the development of the agro-industrial sector; and two academic and pedagogical professionals.

For each category of digital agricultural technologies applicable to crop production, experts evaluated their effectiveness in the Kherson region using a linguistic scale. The scale is defined as follows: A(X)={very high efficiency, high efficiency, moderate efficiency, average efficiency, low efficiency}.

For instance, when assessing the efficiency of autonomous technologies (classified by their degree of localization), the results of the expert survey were recorded (Table 1). These findings indicate that experts perceive the effectiveness of autonomous technologies to be relatively low. Several key factors contribute to this assessment: autonomous devices that are not integrated into a cohesive control system tend to produce only marginal results in practice. Based on the data gathered, a spline function graph was constructed, which serves to evaluate whether these technologies can be classified as highly efficient.

Table 1

Example of expert assessment of the efficiency of autonomous technologies

Linguistic characteristics (fuzzy assessment) of the technology	**Low efficiency**	**Moderate efficiency**	**Average efficiency**	**High efficiency**	**Very high efficiency**
Number of expert responses in the interval	6	2	4	1	0
Share of responses in the interval	0,4615	0,1538	0,3077	0,0769	0,0000
Total number of responses	6	9	10	13	13
Cumulative share of responses	0,4615	0,6923	0,7692	1,0000	1,0000

The figure illustrates spline-functional diagrams that encapsulate the final evaluations made by experts regarding the effectiveness of digital agricultural technologies across three classifications: purpose of application, equipment utilized, and degree of localization (denoted as 1-3). Specifically, Figure 1 depicts the efficiency of digital precision agriculture technologies, differentiated by their level of detail. The graph presents monotonically increasing spline functions that demonstrate the cumulative value of the membership measure throughout the transition.

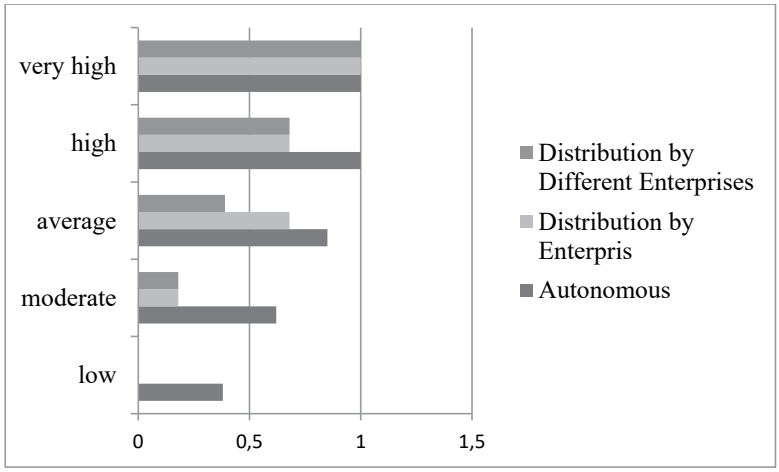


Fig. 1. Results of Expert Assessment of the Efficiency of Digital Agricultural Technologies Based on the Classification of «Location»

The significance of the transition in the middle of the horizontal axis inversely correlates with the efficiency rating assigned to the corresponding technology by experts. As illustrated in Fig.2, autonomous digital technologies receive an «average» efficiency rating or lower in 84% of assessments. In contrast, digital technology divisions achieve this rating in only 38% of cases. However, more than 60% of expert evaluations confidently indicate that these technologies are rated as highly efficient or even exceptionally efficient. Additionally, the ranking of technologies, derived from expert assessments, reveals that the most efficient technologies are those employed by large farms, whereas the least efficient are found within single-company autonomous farms.

Additionally, all agricultural technologies can be implemented following the principles of collective usage. Therefore, the primary values associated with the implementation of digital technologies, as evaluated by experts, can be categorized as either distributed within a single company or across multiple companies.

Let’s examine the ranking of agricultural technologies based on their purpose (Fig. 2).

The data presented clearly indicates that experts have considered and ranked the following technologies according to the membership measure at the transition point:

1. Analysis, evaluation, and feedback technologies.
2. Information generation technologies.
3. Modeling and productivity programming technologies.
4. Decision-making technologies and precise agricultural interventions.
5. Management technologies for agricultural enterprises.

The ranking of these agricultural technologies by purpose is influenced by the operational conditions, as higher efficiency is achieved through the systematic digitalization of all facets of an agricultural company's operations. However, the assessments provided indicate that the initial digitalization priorities for crop production should focus on informatization, monitoring, and programming of crops-essentially creating a digital model of the agronomist's work. In this scenario, decision-making can still be performed «manually» and the application of targeted impact technologies may remain localized. Therefore, the expert assessment of application becomes particularly intriguing when overlaid with the results of the technology ranking (Fig. 3).

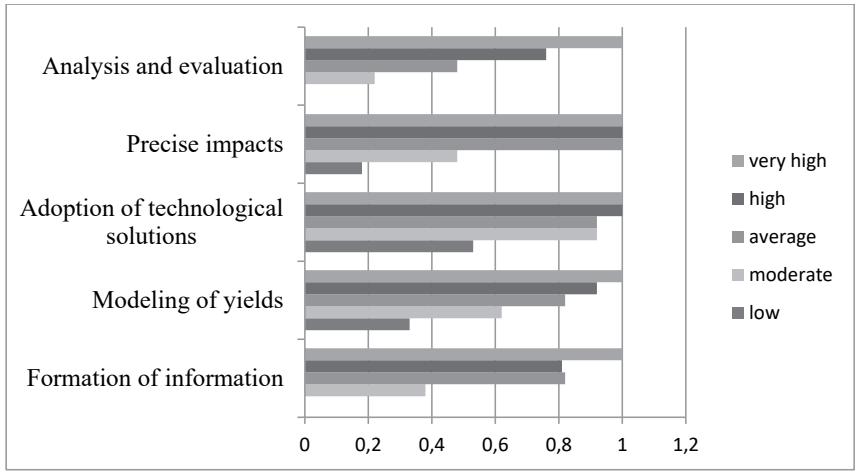


Fig. 2. Results of the Expert Assessment of the Efficiency of Digital Agricultural Technologies Based on the Classification of «Purpose»

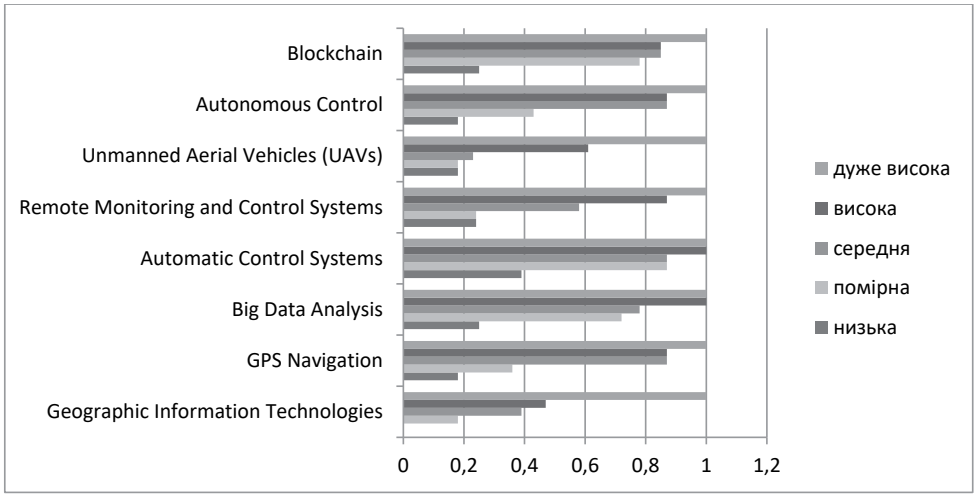


Fig. 3. Results of the Expert Assessment of the Efficiency of Digital Agricultural Technologies Based on the Classification of «Applied Devices»

It is important to note that certain peripheral and under-researched digital technologies, such as virtual and augmented reality as agricultural tools, were excluded from the expert assessment. Accurate evaluation of these technologies is challenging due to the practical uncertainties surrounding them.

The results of the expert assessment reveal a clear differentiation among digital agricultural technologies, as illustrated in the graph. Technologies currently recognized for their high efficiency in the region-approximately 50% or more of expert opinions classify them as high or very high in effectiveness-include: remote monitoring and control systems, technologies for the collective use of common pool resources, autonomous control technologies for ground equipment, geoinformation technologies, unmanned

aerial vehicles, and agricultural aircraft. These technologies should be prioritized for implementation.

Conversely, technologies assessed as having relatively low efficiency, with over 70% of expert evaluations rating them as average or below, include automatic control systems, blockchain, sensors, big data analytics, and satellite navigation. As previously stated, the maximum benefits of digitalization are achieved through the integrated application of various technologies. Therefore, it is essential to utilize all or most of these technologies in crop production moving forward. However, during the initial training phase, especially under conditions of significant resource constraints, efforts should focus on the most effective technologies that promise the greatest returns.

Conclusions. This study conducted an expert assessment to evaluate the effectiveness and prioritize key areas for the implementation of digital technologies specifically tailored for crop production in the Kherson region. As a result, the following areas were identified:

1. Tools for Collective Use and Shared Access: Enhancing collaboration through the provision of shared digital resources and technologies.
2. Monitoring and Analysis Technologies: Implementing technologies for assessing the condition of plantings and crops.
3. Geographic Information Systems (GIS): Expanding the utilization of GIS to enhance decision-making processes.
4. Yield Programming: Developing advanced techniques for yield forecasting and management.
5. Digital Accounting and Control Systems: Establishing comprehensive systems for financial and operational management.
6. Unmanned Agricultural Ground Equipment: Integrating autonomous machinery for increased efficiency in farming operations.
7. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Employing drones to address various agricultural challenges.

Based on these findings, it is recommended to initiate steps toward the digitalization of crop production at the foundational stage. The expert assessments reveal the following priority areas for the implementation of digital technologies in crop production:

1. Establishment and Promotion of Collaborative Institutions: Creating and ensuring the effective operation of organizations and platforms that support collective access to digital technologies, including the necessary equipment, specialized software, and computing resources.
2. Widespread Adoption of Monitoring Technologies: Promoting the mass implementation of technologies that monitor and analyze agricultural land and crops, particularly through the extensive use of unmanned aerial vehicles.
3. Enhanced Information Development: Continuing to gather detailed information on field conditions, vegetation, terrain, and other critical data necessary for crop production within current and future GIS frameworks. This will broaden the application of geographic information technologies by regional agricultural producers.
4. Dissemination of Yield Programming Technologies: Promoting and replicating complex yield programming systems that facilitate the partial automation of decision-making and operational execution.
5. Implementation of Digital Accounting Systems: Introducing digital systems for logistics and production process control, ensuring physical security, and optimizing resource conservation in agricultural enterprises.

6. Initiation of Autonomous Equipment Projects: Launching, expanding, and replicating projects that utilize unmanned agricultural ground equipment in regions where digital models of agricultural producers are already established and significant workloads are managed.

7. Expansion of UAV Applications: Replicating successful projects and broadening the application of unmanned aerial vehicles for agricultural tasks, including data collection and specific agro-technological interventions.

It is important to acknowledge that progress in some of these areas has already commenced; however, further expansion and replication are necessary. The first, fourth, and fifth areas are currently underrepresented in practice and must essentially be developed from the ground up. Notably, the fifth area–automated control and accounting-appears to be a feasible implementation for agricultural producers themselves. Evidence from domestic management practices indicates that various technological tools designed for monitoring property safety and personnel behavior hold considerable interest for enterprises.

BIBLIOGRAPHY:

1. Грабовецький Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: моногр. Вінниця: ВНТУ, 2010. 171с.

2. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: моногр. К.: ТОВ «Маклаут», 2018. 444 с.

3. Марасанов В.В., Пляшкевич О.М. Основи теорії проектування і оптимізації макроекономічних систем. Херсон: Айлант, 2002.190с.

4. Лобода О.М., Кириченко Н.В. Базові комунікаційні технології: навч. посіб. Херсон: Стар, 2018. 235 с.

5. Лобода О.М. Переваги застосування інтегрованої системи інформаційного забезпечення підприємницької діяльності. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка: Науковий журнал*. 2023. Вип. 16. С. 133-139.

6. Лобода О.М., Димов В.С. Моделі та методи інформаційних технологій управління аграрного сектору економіки за допомогою достатніх умов оптимальності. *Проблеми інформаційних техноло*гії. Херсон, 2018. Вип.01(023), С. 104-110.

7. Лобода О. М., Кириченко Н. В. Аналіз бізнес-моделей в цифровій економіці. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка: Науковий журнал*. 2023. Вип. 15. С. 172–179.

8. Лобода О. М. Аналіз та переваги застосування цифрових технологій в агровиробництві. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка: Науковий журнал*. 2023. Вип. 16. С. 76–84.

REFERENCES:

1. Hrabovets'kyj, B.Ye. (2010), *Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia [Methods of expert assessments: theory, methodology, directions of use]*, Vinnytsia: VNTY [in Ukrainian].

2. Hnatiienko, H.M. & Snytiuk, V.Ye. (2018) *Ekspertni tekhnolohii pryjniattia rishen [Expert technologies accepted solutions]*, Kyiv: Maklaut [in Ukrainian].

3. Marasanov, V.V. & Pliashkevych, O.M. (2002), *Osnovy teorii proektuvannia i optymizatsii makroekonomichnykh system [Foundations the theory design and optimization of macroeconomic systems]*, Kherson: Ailant [in Ukrainian].

4. Loboda, O.M. & Kyrychenko, N.V. (2018) *Bazovi komunikatsiini tekhnolohii [Basic communication technologies]*. Kherson: Star [in Ukrainian].

5. Loboda, O.M. (2023) Perevahy zastosuvannia intehrovanoi systemy informatsiinoho zabezpechennia pidpryiemnytskoi diialnosti [Advantages of using an

integrated system of information support for business activity]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin*, 16, 133-139 [in Ukrainian].

6. Loboda, O.M. & Dymov, V.S. (2018) Modeli ta metody informatsiinykh tekhnolohii upravlinnia ahrarnoho sektoru ekonomiky za dopomohoiu dostatnikh umov optymalnosti [Models and methods of information technology management of the agricultural sector of the economy for additional optimality]. *Problemy informatsiinykh tekhnolohii – Problems of information technology,* 01(023), 104-110 [in Ukrainian].

7. Loboda, O.M. & Kyrychenko, N.V. (2023) Analiz biznes-modeley v tsifroviy ekonomitsi [Analysis of business models in the digital economy]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin*, 15, 172–179 [in Ukrainian].

8. Loboda, O.M. (2023) Analiz ta perevahy zastosuvannia tsyfrovykh tekhnolohii v ahrovyrobnytstvi [Analysis and benefits of digital technologies in agricultural production]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin*, 16, 76–84 [in Ukrainian].

УДК 004.421.2
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.9

ОГЛЯД І АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ІГРОВИХ СВІТІВ

Марчук Г. В. *– старший викладач кафедри комп’ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»*
ORCID ID: 0000-0003-2954-1057

Левківський В. Л. *– доктор філософії з інженерії програмного забезпечення, доцент кафедри комп’ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»*
ORCID ID: 0000-0002-1643-0895

Харченко А. В. – *магістрант кафедри комп’ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»*
ORCID ID: 0009-0007-7995-2352

Марчук Д. К. *– старший викладач кафедри комп’ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»*
ORCID ID: 0000-0001-8675-8047

Комп'ютерні ігри в сучасному світі стали важливою частиною культури та розваг. Одним з основних елементів, що впливає на сприйняття гри, є ігровий світ, де розгортаються події. З розвитком ігрової індустрії та зростанням популярності відеоігор виникає потреба у швидкому створенні нових ігрових світів. У цьому контексті застосування алгоритмів процедурної генерації стає корисним, оскільки вони дозволяють автоматично створювати ігрові середовища із заданими характеристиками. Процедурна генерація ігрових світів – це метод, який дозволяє створювати різноманітні ігрові середовища за допомогою алгоритмів і випадкових процесів. На сьогодні існують різні алгоритми процедурної генерації, такі як алгоритми генерації шумів, фрактальної геометрії, клітинні автомати. Метою цього дослідження є аналіз алгоритмів, методів та підходів до процедурної генерації тривимірних ігрових світів, опис їх роботи та визначення особливостей. В роботі були проаналізовані алгоритми Perlin Noise, Improved Noise, Simplex Noise, Diamond-Square, Fractal Noise. В якості показників було обрано швидкість роботи, якість генерації та раціональність використання пам’яті. Якість генерації оцінювалась щодо реалістичності та різноманітності отриманих локацій. Для ігор, де важливою є швидкість генерації ландшафтів більше підходять Simplex Noise та Diamond-Square. Diamond-Square, хоча і простий у реалізації, менш гнучкий для великих світів. Якщо ж потрібна максимально деталізована карта, варто звернути увагу на Fractal Noise, але він потребує значних обчислюваних ресурсів. Для отримання цікавих та різноманітних ігрових світів краще використовувати комбінації декількох алгоритмів, наприклад один для створення базового ландшафту а інший для деталізації. Алгоритми процедурної генерації дозволяють створювати великі, деталізовані світи з мінімальним ручним втручанням, що значно економить час і ресурси та робить гру більш інтерактивною та непередбачуваною.

Ключові слова: *Perlin Noise, Improved Noise, Simplex Noise, Diamond-Square, Fractal Noise, процедурна генерація, розробка ігор, створення локацій.*

Marchuk G. V., Levkivskyi V. L., Kharchenko A. V., Marchuk D. K. Review and analysis of procedural game world generation algorithms

Computer games have become an essential part of modern culture and entertainment. One of the key elements influencing the player's perception of a game is the game world where the events unfold. With the growth of the gaming industry and the increasing popularity of video games, there is a need for rapid creation of new game worlds. In this context, the application

of procedural generation algorithms proves useful, as they allow for the automatic creation of game environments with specific characteristics. Procedural generation of game worlds is a method that enables the creation of diverse game environments using algorithms and random processes. Today, various procedural generation algorithms exist, such as noise generation algorithms, fractal geometry, and cellular automata. The purpose of this research is to analyze algorithms, methods, and approaches to procedural generation of 3D game worlds, describe their operation, and identify their unique features. The study examined algorithms such as Perlin Noise, Improved Noise, Simplex Noise, Diamond-Square, and Fractal Noise. The chosen evaluation criteria included performance speed, generation quality, and memory efficiency. The quality of generation was assessed in terms of the realism and variety of the generated locations. For games where landscape generation speed is crucial, Simplex Noise and Diamond-Square are more suitable. While Diamond-Square is easy to implement, it is less flexible for large worlds. If a highly detailed map is required, Fractal Noise is the best choice, though it demands significant computational resources. For creating interesting and diverse game worlds, it is better to combine several algorithms, for instance, one for creating the base landscape and another for adding detail. Procedural generation algorithms allow the creation of vast, detailed worlds with minimal manual intervention, significantly saving time and resources while making the game more interactive and unpredictable.

Key words: *Perlin Noise, Improved Noise, Simplex Noise, Diamond-Square, Fractal Noise, procedural generation, game development, location creation.*

Постановка проблеми. У зв'язку з розвитком ігрової індустрії та загальної популярності відеоігор виникає проблема зі швидким створенням ігрових світів. Корисним в даній ситуації може бути використання алгоритмів процедурної генерації, за допомогою яких з'являється можливість автоматично створювати ігрові середовища із зазначеними параметрами.

Процедурна генерація є важливим та актуальним елементом у розробці сучасних ігор та віртуальних світів. Цей підхід дозволяє створювати дуже різноманітні та нескінченні ігрові середовища, забезпечуючи унікальний досвід для гравця кожного разу, коли він запускає гру. Важливість процедурної генерації полягає в її здатності створювати величезні, яскраві світи з куточками, які можна досліджувати, зберігаючи при цьому зацікавленість гравця. Крім того, цей підхід оптимізує використання ресурсів і дозволяє розробляти ігрові проекти з меншим бюджетом і в коротші терміни. Процедурна генерація продовжує впливати на індустрію розробки ігор і стала важливим інструментом для досягнення варіативності, реалістичності та глибини ігрових світів.

Аналіз цих алгоритмів дасть змогу визначити їх переваги та недоліки, їх складність та загальну зручність, як в реалізації, так і в їх використанні у ігрових застосунках.

Аналіз відомих результатів досліджень. На сьогоднішній день вже існує безліч алгоритмів та методів для автоматичного створення ігрового середовища. У роботі [1] представлено новий підхід до процедурної генерації наративних світів, що включає два етапи: модель наративного світу генерується лише один раз для певної історії; форма наративного світу використовується для створення одного (або кількох) можливих наративних світів для цієї історії. У роботі [2] описано створений фреймворк ProcTHOR – структуру для процедурної генерації середовищ. ProcTHOR дозволяє відбирати великі набори даних інтерактивних, настроюваних і продуктивних віртуальних середовищ, щоб навчати й оцінювати втілені агенти для завдань навігації, взаємодії та маніпулювання. Авторами роботи [3] представлено підхід до генерації рівнів у стилі підземелля. Використано гібридну техніку, яка поєднує контекстно-вільні граматики для створення опису рівнів і клітинні автомати, для створення фізичного простору. Доведено, що гібридні підходи до автоматизованого проектування рівнів мають значну цінність. На сьогоднішній

день не так багато досліджень щодо процедурного 3D-моделювання печер і подібних замкнених природних просторів. У статті [4] представлено модульний конвеєр для процедурного створення підземних печер у реальному часі, які будуть використовуватися як частина більших ландшафтів у ігрових світах. Авторами запропоновано підхід, який можна повністю реалізувати за допомогою технології GPGPU (General-Purpose Computing on Graphics Processing).

Незважаючи на те, що розробники ігор і академічні дослідники широко досліджували процедурне створення контенту, не вистачає методів обробки процедурного створення квестів. У статті [5] представлено новий метод генерації квестів на основі генетичних алгоритмів і автоматизованого планування. Поєднуючи планування з еволюційною стратегією пошуку, керуючись сюжетними дугами, запропонований метод може генерувати узгоджені квести на основі певної структури оповіді. Попередні результати показують, що квести, створені за допомогою запропонованого методу, майже не поступаються квестам, створеним професіоналами з розробки ігор. У роботі [6] представлено нову систему AutoBiomes, яка здатна ефективно створювати величезні території з правдоподібним розподілом біомів і різними просторовими характеристиками. Основна ідея полягає в поєднанні кількох синтетичних процедурних методів генерації рельєфу з цифровими моделями рельєфу і спрощеним кліматичним моделюванням. Розроблена система дозволяє швидко створювати реалістичні ландшафти.

Процедурна генерація – це потужний інструмент, який дозволяє створювати великі обсяги різноманітних даних на основі набору правил та обмежень. Цей підхід знаходитиме широке застосування в різних галузях, від розробки ігор до наукових досліджень включаючи комп'ютерне зір та обробку природної мови. На сьогодні є актуальним створення синтетичних даних, які дозволяють моделювати рідкісні чи небезпечні ситуації, які важко чи неможливо відтворити у реальному світі. Створення фотореалістичних зображень людей, об'єктів та сцен [7]. Генерація синтетичних даних для навчання моделей автономного водіння у різних дорожніх умовах [8-9]. Отже, важливо забезпечити, щоб синтетичні дані були реалістичними та містили всі необхідні для навчання моделі характеристики.

Мета роботи. Метою даного дослідження є аналіз алгоритмів процедурної генерації тривимірного ігрового світу.

Виклад основного матеріалу. Процедурна генерація широко використовується при розробці ігор. В деяких випадках, даний функціонал є повноцінною ігровою механікою, де гравцю надається доступ до налаштувань ігрового середовища перед початком основної ігрової сесії. Цими параметрами можуть бути: розмір, наявність певних локацій, так званих «біомів», їх тип, кількість ресурсів, ворогів тощо. Насправді, їх кількість та різноманітність обмежуються лише фантазією та ресурсами розробників. Генерація ігрового світу складається з різних елементів, що формують фізичну основу світу, таких як місцевість і ландшафт. До них належать рельєф, рівнини, гори, річки, озера та інші природні форми. Також генерація включає в себе розміщення різних об'єктів у просторі, таких як будівлі, рослини і тварини. Крім того, створення ігрового світу може включати елементи штучного інтелекту для створення поведінки персонажів і взаємодії з гравцями. У сукупності ці елементи створюють унікальний і захопливий ігровий досвід.

Рівень якості результату процедурних алгоритмів генерації світів може значно варіюватися залежно від конкретних потреб проекту, його аудиторії та цілей розробки. Наприклад, один проект може бути націлений на створення світу з великою кількістю деталей, що включає в себе реалістичні текстурами та складні

архітектурні елементи, в той час як інший може спробувати створити більш абстрактний або мінімалістичний стиль.

У будь-якому разі, рівень якості має бути достатнім, щоб забезпечити приємний ігровий досвід для користувача і відповідати стандартам, які він очікує від ігрового продукту. Результат генерації має приймати складні та цікаві форми, але, в той же час, бути зрозумілим, тобто вміщувати в себе впізнавані патерни, візерунки.

Одним із найбільш відомих псевдовипадкових шумів є Perlin Noise – це алгоритм для створення процедурних мап шуму, який широко використовується у процедурній генерації. Він був розроблений Кеном Перліном в 1982 році спеціально для фільму «Трон», за що Перлін отримав Академічну нагороду за технічні досягнення [10]. У 2002 році алгоритм був удосконалений до Покращеного Шуму (Improved Noise) самим Кеном Перліном. Проблема звичайного шуму полягає в тому, що він повністю складається з випадкових значень, тому загальний результат буде доволі грубим, адже ймовірність того, що сусідні пікселі будуть мати схожі значення – доволі низька. Perlin Noise та Improved Noise створює доволі приємне гладке зображення і робить він це, якщо коротко, завдяки генерації випадкових чисел на більшій сітці та інтерполюючи потім значення між ними на меншій, що в кінці видає набагато приємніший результат.

Хоча точний математичний опис Perlin Noise може бути досить складним, загальна ідея полягає в наступному: нехай P(x, y, z) – значення шуму в точці (x, y, z), тоді:

$$P(x,y,z) = \sum \Big(grad\big(G(i,j,k)\big) \cdot (x-i, y-j, z-k) * fade(x-i, y-j, z-k) \Big), \quad (1)$$

де G(i, j, k) – градієнт у точці гратки з індексами (i, j, k), градієнт показує напрямок найбільшого зростання функції. У контексті Perlin Noise градієнт визначає це буде яма чи висота; fade(x) – функція плавного згасання, яка забезпечує плавний перехід між значенням шуму в різних точках; · – скалярний добуток двох векторів. Він використовується для обчислення проекції вектора (x-i, y-j, z-k) на напрямок градієнта.

Сума обчислюється по всіх точках сітки, що знаходяться поблизу точки (x, y, z). Для отримання значення шуму у довільній точці простору використовується інтерполяція між найближчими точками сітки. Класичний метод інтерполяції, що використовується в Perlin Noise (рис. 1), називається бікубічною інтерполяцією. Вона дозволяє отримати плавні переходи між різними точками гратки.

Для обчислення значення шуму в довільній точці простору, обчислюється скалярний добуток вектора градієнта найближчої точки сітки на вектор, що з'єднує цю точку з обчислюваною точкою. Цей скалярний добуток масштабується за допомогою функції, яка залежить від відстані до найближчої точки сітки.

Шум Перліна є потужним інструментом для створення різноманітних візуальних ефектів. Його гнучкість та ефективність зробили його незамінним у багатьох областях комп'ютерної графіки.

Алгоритм Diamond-Square дозволяє створювати двовимірні мапи висот. Алгоритм був розроблений Альоном Фурньє, Доном Фасселлом та Лореном Карпентером і вперше був продемонстрований на конференції SIGGRAPH у 1982 році [12]. Diamond-Square є покращенням алгоритму Midpoint Displacement. Обидва алгоритми використовуються для генерації фрактальних ландшафтів, але Diamond-Square вносити кілька важливих удосконалень. Diamond-Square розбиває квадрат на чотири рівні частини, а потім обчислює висоту центральної точки (діамантовий крок) та чотирьох кутових точок (квадратний крок). Це дозволяє обчислити висоту

кожної точки лише один раз, на відміну від Midpoint Displacement, де деякі точки можуть обчислюватися кілька разів. Структура Diamond-Square дозволяє легко розпаралелити обчислення, що прискорює генерацію великих ландшафтів. Алгоритм Diamond-Square може генерувати ландшафти довільних розмірів, тоді як Midpoint Displacement може бути обмеженим певними співвідношеннями сторін [13].

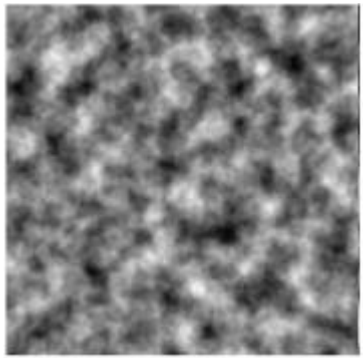


Рис. 1. Результат роботи алгоритму Perlin Noise [11]

Алгоритм Diamond-Square іноді називають Plasma Fractal через його здатність генерувати зображення, що нагадують плазму (рис. 2). Це порівняння базується на візуальній схожості результатів роботи алгоритму з природними плазмовими утвореннями.

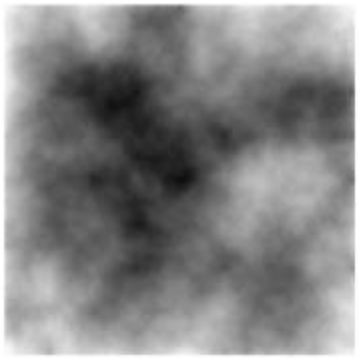


Рис. 2. Приклад зображення карти висот, алгоритм Diamond-Square [11]

Diamond-Square є доволі простим для розуміння та відносно легким в реалізації. Для коректної роботи він вимагає, щоб розмір ширини та висоти полотна був рівним 2^N+1, де N – ціле число, що більше або дорівнює 0. Базові кроки алгоритму (рис. 3):

1. Створюємо квадратну сітку та задаємо висоту для чотирьох кутових точок.
2. Обчислюємо висоту центральної точки квадрата як середню арифметичну висот чотирьох кутових точок плюс випадкове значення (шум).
3. Обчислюємо висоту кожної середньої точки сторони квадрата як середню арифметичну висот двох сусідніх кутових точок та центральної точки плюс випадкове значення (шум).

4. Ділимо кожен отриманий квадрат на чотири частини та повторюємо кроки 2 та 3 до досягнення бажаної деталізації.

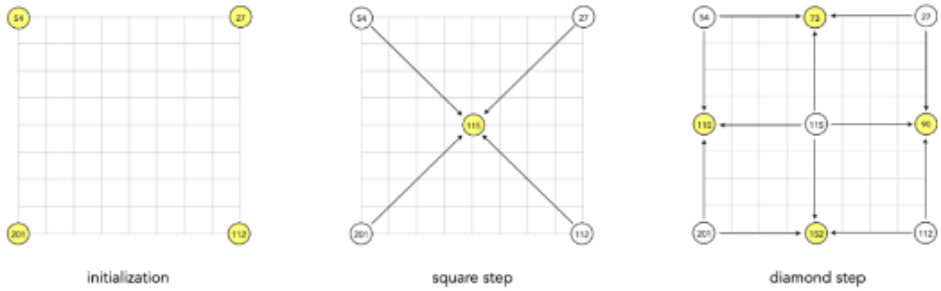


Рис. 3. Базові кроки алгоритму Diamond-Square [12-14]

Формально алгоритм можна описати наступним чином:

1. H(x, y) – висота точки з координатами (x, y) на сітці.
2. Задаємо початковий розмір квадрата N.
3. Вибираємо випадкові значення для чотирьох кутових точок H(0, 0), H(0, N-1), H(N-1, 0) та H(N-1, N-1).
4. Diamond step. Для кожного квадрата зі стороною довжини s обчислюємо:

$$H\left(x+\frac{s}{2},y+\frac{s}{2}\right)=\frac{H(x,y)+H(x+s,y)+H(x,y+s)}{4}+random(-r,r), \qquad (2)$$

де (x, y) нижній лівий кут квадрата, r амплітуда шуму, яка зазвичай зменшується з кожною ітерацією для створення більш гладких деталей.

5. Square step. Для кожної сторони квадрата зі стороною довжини s обчислюємо:

$$H\left(x+\frac{s}{2},y\right)=\frac{H(x,y)+H(x+s,y)+H\left(x+\frac{s}{2},y+\frac{s}{2}\right)}{3}+random(-r,r), \qquad (3)$$

$$H\left(x,y+\frac{s}{2}\right)=\frac{H(x,y)+H(x,y+s)+H\left(x+\frac{s}{2},y+\frac{s}{2}\right)}{3}+random(-r,r), \qquad (4)$$

де s – розмір поточного квадрата, random() – випадкове число із заданим розподілом (наприклад, нормальний розподіл).

Формули 3 та 4 використовуються і для інших сторін квадратів.

6. Ділимо кожен квадрат на чотири рівні частини. Повторюємо кроки Diamond та Square для кожного нового квадрата зі зменшеним значенням s та r.

Алгоритм Diamond-Square є популярним методом генерації фрактальних ландшафтів, але має свої обмеження та недоліки, які варто враховувати при його застосуванні. Незважаючи на те, що алгоритм створює досить реалістичні ландшафти, у них часто можна помітити певну "прямолінійність" рельєфу, особливо на великих масштабах. Результат роботи алгоритму залежить від значень, заданих у чотирьох кутах початкового квадрата. Це може призвести до того, що отримані

ландшафти будуть виглядати надто одноманітними або, навпаки, надто хаотичними. Алгоритм Diamond-Square найкраще підходить для генерації "класичних" гірських ландшафтів. Для створення більш складних та різноманітних ландшафтів (наприклад каньйонів, печер чи підводних рельєфів) можуть знадобитися додаткові модифікації чи комбінації з іншими алгоритмами.

Однією з проблем алгоритму при використанні його для генерації тривимірних ландшафтів є наявність піків, що виглядають недоречно. Це вирішується додаванням додаткових етапів згладжування.

Fractal Noise – унікальний спосіб створення шуму використовуючи фрактальний підхід. Одна з найбільших сильних сторін фрактального шуму полягає в тому, що ландшафт, згенерований таким чином, по суті є віртуально нескінченним. Тобто, є можливість продовжувати генерацію в будь-якому напрямку, використовуючи попередньо визначену точку відліку [15]. Фрактальний шум будується з урахуванням рекурсивних математичних формул, які дозволяють створювати нескінченно деталізовані зображення.

Fractal Noise будується з урахуванням базової функції шуму, яка повторюється у різних масштабах і змішується. Цей процес ітеративно повторюється, створюючи детальніші і складніші структури.

$$fractalNoice(\mathrm{x,y}) = sum\left(amplitude[i] * noice\left(x * frequency[i], y * frequency[i]\right)\right) \quad (5)$$

де, x, y – координати точки; amplitude[i] – амплітуда; frequency[i] – частота і-ої октави; noise– функція базового шуму.

Simplex Noise є більш ефективним та менш гучним варіантом Perlin Noise, яка вирішує проблему спрямованості та забезпечує більш плавні градієнти. Алгоритм краще працює з великою кількістю вимірів. Фрактал в даному випадку використовується як опис об'єкта, що створений з потенційно нескінчених частин самого себе.

На рисунку 4 зображений результат роботи алгоритму Simplex Noise, візуально він виглядає краще за Perlin Noise. Мапа висот, хоч і достатньо деталізована для створення базової 3D-моделі, все ж потребує додаткової обробки. Ландшафт, згенерований за її допомогою, матиме одноманітний вигляд та недостатньо виражені перепади висот для реалістичної візуалізації.

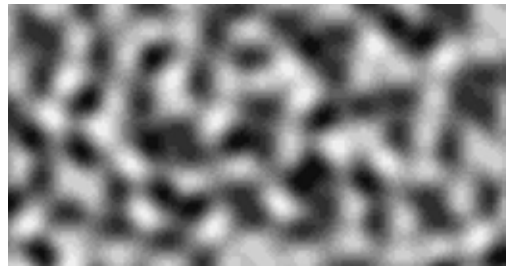


Рис. 4. Результат алгоритму Simplex Noise

Щоб зробити зображення більш детальним та текстурованим можна використати фрактальний метод. Цей метод дозволяє додати додаткові деталі до зображення шляхом накладання на нього кількох шарів шуму. На рисунку 5 представлено результат цієї операції, яка надає зображенню більш грубого вигляду та різкіших переходів між висотами.

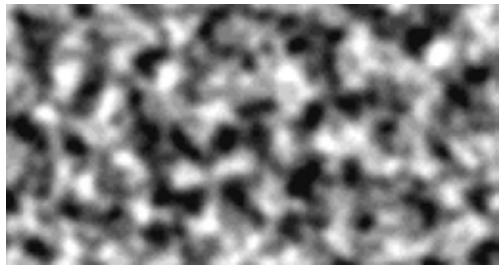


Рис. 5. Результат Fractal Noise з октавою 2

Слід зазначити, що при кожній ітерації накладання шумів, необхідно змінювати значення наступних параметрів:

1. Амплітуда, яка визначає різкість переходів значень шуму. Маленька амплітуда створюватиме доволі плоскі ландшафти, а висока – гори та океани.
2. Частота, яка визначає кількість деталей, зображених на одиниці простору.

Для описаних алгоритмів було проведено дослідження щодо швидкості та якості роботи і раціональності використання пам'яті. Результати проведеного аналізу представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння алгоритмів генерації ігрових світів

Назва алгоритму	Швидкість	Якість	Використання пам'яті
Perlin Noise	Середня	Помірна	Низьке
Improved Noise	Висока	Добра	Середнє
Simplex Noise	Висока	Висока	Низьке
Diamond-Square	Дуже висока	Добра	Високе
Fractal Noise	Залежить від кількості октав	Дуже висока	Високе

Аналіз алгоритмів генерації шумів показує, що Simplex Noise є оптимальним за співвідношенням швидкості та якості, що робить його привабливим для ігор з великою кількістю генерованого контенту. Fractal Noise, незважаючи на вищу якість, має обмеження у використанні через високу обчислювальну складність при збільшенні кількості октав. Improved Noise є компромісним варіантом, а Diamond-Square – є простим у реалізації, але менш гнучким. Fractal Noise забезпечує найвищу якість, але за рахунок значних витрат ресурсів.

Висновки. В даному дослідженні було проведено аналіз алгоритмів процедурної генерації для тривимірного ігрового світу. В роботі були проаналізовані алгоритми Perlin Noise, Improved Noise, Simplex Noise, Diamond-Square, Fractal Noise.

Алгоритми шумів створюють масив псевдовипадкових значень, що зручно використовувати як мапи висот для створення початкового тривимірного ландшафту. Вибір доцільного алгоритму залежить загалом від потреб розробників та вимог клієнтів. При потребі досягнення високої швидкодії створення шуму чудовим варіантом буде використання алгоритмів Simplex Noise або Diamond-Square, проте останній не дуже зручний для генерації нескінченних ландшафтів, потребує більше пам'яті та особливого розміру полотна. Для досягнення найкращої якості

мапи висот слід використовувати принцип фракталів, що полягає в накладанні шумів один на одне. Слід зазначити, що збільшення кількості октав зменшує швидкість генерації шуму, через збільшення об'єму роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Balint J. T., Bidarra R. Procedural Generation of Narrative Worlds. *IEEE Transactions on Games.* Vol. 15, no. 2. Pp. 262-272. June 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/TG.2022.3216582.

2. Deitke M., VanderBilt E., Herrasti A. et all. ProcTHOR: Large-Scale Embodied AI Using Procedural Generation. *Advances in Neural Information Processing Systems.* Vol. 35. Pp. 5982-5994. 2022.

3. Gellel A., Sweetser P. A Hybrid Approach to Procedural Generation of Roguelike Video Game Levels. *In Proceedings of the 15th International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA,* Article 3. Pp. 1–10. 2020. DOI: https://doi.org/10.1145/3402942.3402945.

4. Mark B., Berechet T., Mahlmann T., Togelius J. Procedural Generation of 3D Caves for Games on the GPU. *Paper presented at Foundations of Digital Games, United States.* 2015. URL: https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/6067634/5464988.pdf.

5. Soares de Lima E., Feijó B., Furtado A. L. Procedural Generation of Quests for Games Using Genetic Algorithms and Automated Planning. *18th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames), Rio de Janeiro, Brazil.* Pp. 144-153. 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/SBGames.2019.00028.

6. Fischer R., Dittmann P., Weller R. et al. AutoBiomes: procedural generation of multi-biome landscapes. *The Visual Computer.* Vol. 36. Pp. 2263–2272. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s00371-020-01920-7.

7. Марчук Д.К., Левківський В.Л., Марчук Г.В., Голенко М.Ю. Система розпізнавання дактильної мови української абетки. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* Т. 33 (72), № 6. С. 109–114. 2022. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/19

8. Levkivskyi V., Marchuk D., Lobanchykova N., Pilkevych I., Salamatov D. Available parking places recognition system. *CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering.* Vol. 3077, Pp. 123–134. 2022. URL: http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf

9. Марчук Д.К. Аналіз сучасних алгоритмів виявлення і розпізнавання об'єктів з відеопотоку для систем управління паркуванням в реальному часі. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки».* № 3. С. 339-347. 2023. DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-17-23

10. Perlin K. Improving noise. *ACM Trans.* Graph. 21, 3. Pp. 681–682. 2002. DOI: https://doi.org/10.1145/566654.566636.

11. Ryan J. S., Cowling P., Alfred Walker J. Procedural generation using spatial GANs for region-specific learning of elevation data. *IEEE Conference on Games (CoG).* IEEE, 2019.

12. Fournier A., Fussell D., Carpenter L. Computer rendering of stochastic models. *Commun.* ACM 25, 6. Pp. 371–384. 1982. DOI: https://doi.org/10.1145/358523.358553.

13. Lautakoski J. Procedurell generering av terräng Perlin noise eller Diamond-Square: med fokus på exekveringstid och framkomlighet. *Dissertation.* 2016. URL: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:his:diva-12854.

14. Gavin S P Miller. The definition and rendering of terrain maps. *SIGGRAPH Comput.* Graph. 20, 4. Pp. 39–48. 1986. DOI: https://doi.org/10.1145/15886.15890.

15. Adrian C., Liarokapis F. Fractal nature-generating realistic terrains for games. *7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games).* IEEE, 2015.

REFERENCES:

1. Balint, J. T., Bidarra, R. (2023). Procedural Generation of Narrative Worlds. *IEEE Transactions on Games,* 15, 2. Pp. 262-272. DOI: https://doi.org/10.1109/TG.2022.3216582. [in English]

2. Deitke, M., VanderBilt, E., Herrasti, A. et all. (2022). ProcTHOR: Large-Scale Embodied AI Using Procedural Generation. *Advances in Neural Information Processing Systems,* 35, 5982-5994. [in English]

3. Gellel, A., Sweetser, P (2020). A Hybrid Approach to Procedural Generation of Roguelike Video Game Levels. *In Proceedings of the 15th International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA,* Article 3, 1–10. DOI: https://doi.org/10.1145/3402942.3402945. [in English]

4. Mark, B., Berechet, T., Mahlmann, T., & Togelius, J. (2015). Procedural Generation of 3D Caves for Games on the GPU. *Paper presented at Foundations of Digital Games, United States.* URL: https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/6067634/5464988.pdf. [in English]

5. Soares de Lima, E., Feijó, B., and Furtado, A.L. (2019). Procedural Generation of Quests for Games Using Genetic Algorithms and Automated Planning. *18th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames), Rio de Janeiro, Brazil,* 144-153, DOI: https://doi.org/10.1109/SBGames.2019.00028. [in English]

6. Fischer, R., Dittmann, P., Weller, R. et al. (2020). AutoBiomes: procedural generation of multi-biome landscapes. *Vis Comput* 36, 2263–2272 DOI: https://doi.org/10.1007/s00371-020-01920-7. [in English]

7. Marchuk, D.K., Levkivskyi, V.L., Marchuk, G.V. & Holenko, M.Yu. (2022). Systema rozpiznavannia daktylnoi movy ukrainskoi abetky [Dactylic Language Recognition System of the Ukrainian Alphabet]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. – Academic notes of the V.I. Vernadsky Tavriya National University* 33 (72), 6, 109–114, DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/19. [in Ukrainian]

8. Levkivskyi, V., Marchuk, D., Lobanchykova, N., Pilkevych, I. & Salamatov, D. (2022). Available parking places recognition system. *CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering,* Vol. 3077, 123–134, URL: http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf. [in English]

9. Marchuk, D. K. (2023). Analiz suchasnykh alhorytmiv vyiavlennia i rozpiznavannia obiektiv z videopotoku dlia system upravlinnia parkuvanniam v realnomu chasi [Analysis of Modern Algorithms for Detecting and Recognizing Objects from a Video Stream for Real-Time Parking Management Systems]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – Herald of Khmelnytskyi National University.* № 3. 339-347. DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-17-23. [in Ukrainian]

10. Perlin, K. (2002). Improving noise. *ACM Trans.* Graph. 21, 3, 681–682. DOI: https://doi.org/10.1145/566654.566636. [in English]

11. Ryan, J. S., Cowling, P., Alfred Walker, J. (2019). Procedural generation using spatial GANs for region-specific learning of elevation data. *IEEE Conference on Games (CoG).* IEEE. [in English]

12. Fournier, A., Fussell, D., Carpenter, L. (1982). Computer rendering of stochastic models. *Commun.* ACM 25, 6, 371–384. DOI: https://doi.org/10.1145/358523.358553. [in English]

13. Lautakoski, J. (2016). Procedurell generering av terräng Perlin noise eller Diamond-Square : med fokus på exekveringstid och framkomlighet *(Dissertation).* URL: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:his:diva-12854. [in English]

14. Gavin S P Miller. (1986). The definition and rendering of terrain maps. *SIGGRAPH Comput.* Graph. 20, 4, 39–48. DOI: https://doi.org/10.1145/15886.15890. [in English]

15. Adrian, C., Liarokapis, F. (2015). Fractal nature-generating realistic terrains for games. *7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games).* IEEE. [in English]

UDC 664
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.10

DIGITAL TWIN DATA STORAGE FOR INDUSTRIAL ROBOT KINEMATICS

Palazhchenko Y. V. *– Postgraduate Student of the Sumy State University*
ORCID ID: 0000-0003-4329-9447
Scopus-Author ID: 58304720200

Shendryk V. V. *– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*
Head of the Department of Information Technologies of the Sumy State University
ORCID ID: 0000-0001-8325-3115
Scopus-Author ID: 54421163800
Researcher ID: U-7531-2019

In response to the increasing demand for efficient and automated production processes, Digital Twins have emerged as a vital tool for optimising industrial operations and preemptively identifying equipment issues. An important component of the Digital Twin is the storage of historical data on equipment operation. This research focuses on developing a universal database structure for storing position data of various industrial robots, including Cylindrical, SCARA, Articulated, and Cartesian/Gantry robots. The proposed database uses the Denavit-Hartenberg (DH) method, widely recognised for representing robot kinematics. Combining the Denavit-Hartenberg method with relational database technology provides a flexible and scalable solution for managing the diverse and complex data associated with robot configurations. This structure makes it possible to apply this development in industrial environments where robots with different degrees of freedom and different kinematic chains are used. The combination of the Denavit-Hartenberg method with relational database technology provides a flexible and scalable solution for managing diverse and complex data related to robot configurations. The database design supports the creation of Digital Twins for industrial robots, facilitating enhanced operational monitoring, predicting maintenance, identifying wear patterns, detecting abnormal behaviour and predicting potential equipment failures. This approach minimises downtime and extends the lifetime of robotic systems, which ultimately contributes to sustainable production and is in line with the concept of Industry 4.0. In this study, we present a database framework specifically for storing data on the position of equipment nodes. The created entities allow storing data on the position of each robot node. When the position of a node changes, only those Denavit- Hartenberg parameters that have changed are stored in the database. This allows you to optimise memory usage without losing the collected data. The database structure can be expanded by adding data from other sensors installed on the robot or other peripheral devices, or data generated by the Digital Twin. Further research will test the effectiveness of the database structure.

Key words: *Digital Twin, Data Storage, Industrial Robotics, Kinematics, Denavit-Hartenberg Method.*

Палажченко Є. В., Шендрик В. В. Сховище даних Цифрових Двійників для кінематики промислових роботів

У відповідь на зростаючий попит на ефективні та автоматизовані виробничі процеси, Цифрові Двійники стали надзвичайно важливим інструментом для оптимізації промислових операцій та завчасного виявлення проблем з обладнанням. Важливим компонентом Цифрового Двійника є сховище історичних даних про роботу обладнання. Адже зібрані дані можуть бути використані для аналізу, моделювання та оптимізації. Це дослідження зосереджене на розробці універсальної структури бази даних для зберігання даних про положення різних промислових роботів, включаючи циліндричних, SCARA, шарнірних та декартових/портальних роботів. Запропонована база даних використовує метод Денавіта-Гартенберга, який використовується для представлення кінематики роботів. Така структура дозволяє застосовувати цю розробку в промислових умовах, де

використовуються роботи з різним ступенем свободи і різними кінематичними ланцюгами. Поєднання методу Денавіта-Гартенберга з технологією реляційних баз даних забезпечує гнучке і масштабоване рішення для управління різноманітними і складними даними, пов'язаними з конфігураціями роботів. Дизайн бази даних підтримує створення Цифрових Двійників для промислових роботів, що полегшує оперативний моніторинг, прогнозування технічного обслуговування, визначення моделей зносу, виявлення ненормальної поведінки та прогнозування потенційних відмов обладнання. Такий підхід мінімізує час простою та подовжує термін експлуатації роботизованих систем, що в кінцевому підсумку сприяє сталому виробництву та відповідає концепції Індустрії 4.0. В цьому дослідженні представлено каркас бази даних саме для зберігання даних про положення вузлів обладнання. Створені сутності дозволяють зберігати дані про положення кожного вузла робота. При зміні положення вузла в базі даних зберігаються тільки ті параметри Денавіта-Гартенберга, які змінились. Це дозволяє оптимізувати використання пам'яті не втрачаючи при цьому зібрані дані. Структура бази даних може бути розширена додаванням даних з датчиків встановлених на роботі, периферійних пристроїв, або ж даних згенерованих Цифровим Двійником. В подальших дослідженнях буде перевірено ефективність використання структури бази даних.

Ключові слова: *Цифровий Двійник, база даних, робототехніка, кінематика, метод Денавіта-Хартенберга.*

Introduction. Modern production trends and the level of automation development motivate companies to create Digital Twins of equipment and processes. Digital Twin technology optimises production processes and helps to identify equipment problems in advance. It makes the entire production process cheaper by simplifying equipment development, operation, and maintenance. Digital Twin optimises processes and speeds up production readjustment. The growing interest in this topic among scientists and companies' application of this technology creates an excellent potential for future development.

Digital Twins are used in urbanisation, manufacturing, medicine, robotics, agriculture, military/aviation, and mobile networking/communication [1]. Robotics and manufacturing are two areas where Digital Twins are actively used. Digital Twins are applicable for individual instances of equipment [2] and entire virtual factories [3]. Various industrial robot manipulators are used depending on the needs and purpose. Cylindrical, SCARA, Articulated, Cartesian/Gantry and Delta/Parallel robots are the most common in the industry [4]. Different robots are used in various spheres of life, such as industry, laboratory research, food industry [5], medical field [6], and additive manufacturing [7], and scientific research [8].

After all, they can perform different functions and come in various sizes. The variety of types of robots makes it a difficult task to create a universal database for storing data about their position. After all, all these types of robotss have different kinds of connections. So, depending on the type and purpose of the Digital Twin, the structure for storing data can differ.

This paper focuses on creating a universal database for storing position data for Cylindrical, SCARA, Articulated, and Cartesian/Gantry robots.

The project's relevance is due to the need to create a universal database for storing the industrial robots' position data. This development will significantly facilitate the initial stages of work on creating a Digital.

The objectives of this study include a thorough analysis of the various methods used to represent the kinematics of industrial robots. It also involves evaluating the existing technologies for database creation within the fields of robotics and industry. Additionally, the study aims to develop a robust database structure specifically designed for storing robot data.

Literature analysis. A Digital Twin has a complex structure. It is not just a digital model Figure 1. The concept of a Digital Twin includes a wide range of technologies. For a Digital Twin to function correctly, it needs a Communication System to exchange data between the physical and digital worlds. The Physical Twin must be equipped with appropriate sensors to collect information. Simulation tools for predicting the behaviour of the physical counterpart and tools for analysing the functioning and state of the system are also crucial for a Digital Twin. A user interface for interacting with the equipment is also part of a Digital Twin model. A database in this scheme is a component for accumulating archive data on system operations. This data can be used to analyse equipment changes and the preconditions for anomalous behaviour or errors.

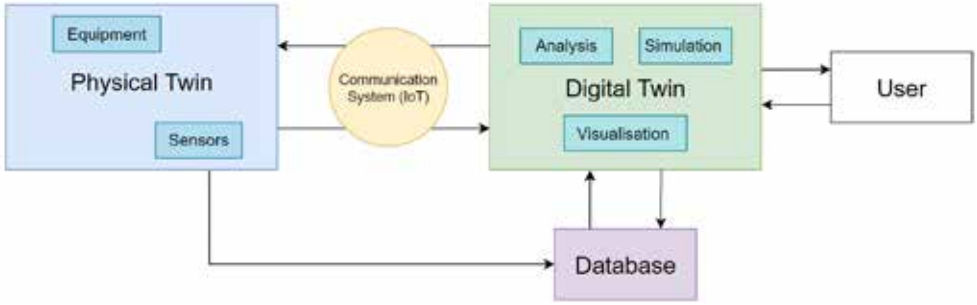


Fig. 1. Digital Twin structural model

To accurately describe a robot's current position, it is insufficient to know only the coordinates of the final joint. To fully describe the robot's state, it is necessary to consider all connections' positions. The more degrees of freedom a robot has, the more flexible and functional it can be in performing various tasks. Degrees of freedom determine the number of independent movements a robot can make. However, increasing the degrees of freedom also increases the combination of possible joint positions for the same endpoint position.

The Denavit-Hartenberg method is a standard method for displaying the position of robot joints. It uses four parameters: a-link length, α(alpha)-link twist, d-link offset, and θ(theta)-joint angle. The initial values of these parameters describe the relationships between the moving elements of the robot. Some of these parameters may change during movement depending on the joint type. Using this method, we can describe the state of the joints for different types of robots. Moreover, this method can be applied to robots with different degrees of freedom. This method has been used for the 4-degrees of freedom SCARA robot [9], Cylindrical robot [10], Kuka robot [11], and Gantry robot [12].

In addition to using the classic Denavit-Hartenberg method, there are other ways to calculate kinematics. The Modified Denavit-Hartenberg method is a variation of the original convention. It alters how some parameters are assigned to improve accuracy, for example, when calibrating a robot. [13]

The Product of Exponentials (PoE) Method is also often used in robotics to describe the forward kinematics of a robot using a sequence of exponential maps. They can be converted to the DH method and vice versa if necessary. For example, the robot can be calibrated using the PoE method and DH parameters. [14]

Screw theory is a mathematical framework that represents motion and force in terms of screws, which are six-dimensional vectors combining linear and angular components. [15]

Hyper-Dual Quaternions combine body pose (translation and rotation) and body velocities into a compact representation, eliminating the need for additional pose differentiation. [16]

Lie Algebra and Lie Groups, Homogeneous Transformation Matrices, and other methods are also used to describe forward and reverse kinematics. While each method is employed to describe kinematics, they each have advantages and disadvantages. The appropriate method is selected based on the specific task requirements.

Each robot has its technical characteristics given by the specification: weight, Work Envelopes, speed and acceleration characteristics, and the permissible error value. Also, the robot's functionality depends on the equipment installed on it. It can be an extruder, gripper, screwdriver, drill or other tools. It is challenging to universalise information about the operation of these tools because they can differ significantly in their functionality. These parameters are essential for creating a Digital Twin because only the totality of all parameters can fully characterise the system's state. Depending on the purpose and tasks, the robot can perform different actions. They may be repetitive or depend on the changing environment. In any case, to track wear, abnormal behaviour and equipment errors, it is necessary to compare the actual position with the predicted position of the robot.

Based on the comprehensive systematic review and bibliometric analysis [17], most Industry 4.0 solutions are developed within the Digital Shadow and Digital Twin. These solutions are underlying assumptions that humans are the primary end-users of the information. Integration emerges as the dominant data management challenge because the data management component performs a bridging function. Additionally, cloud computing and storage are identified as the principal technologies employed in implementing Data Management solutions.

The literature reports [18] a series of system architecture proposals for Intelligent Manufacturing Systems, which are primarily data-driven. Many of these proposals treat data storage solutions as entities supporting the architecture's functionalities. However, choosing which logical data model to use can significantly affect a system's performance. The suitability of relational and NoSQL databases for different scenarios within Industry 4.0 depends on the data's volume, variety, velocity, veracity, and value.

SQL databases are highly effective at managing structured data, making them ideal for scenarios where the data generated by Digital Twins is consistent and well-defined. At the same time, NoSQL databases can handle various unstructured data from multiple sources.

Cloud-based services [19] are also used to build the Digital Twin data management architecture. Typically, such services are used for complex systems that collect and analyse information from several types of Digital Twins. In this case, there is a need for large capacities to process a massive amount of information.

One of the tasks of Data Management is to create an architecture for data storage. Cloud services can process and store large amounts of data. However, it is also possible to create an on-premises architecture. The choice of technologies and tools depends on the tasks, data type, and volume.

Database Development. The Denavit-Hartenberg model has gained wide acceptance in society. Many algorithms have been formulated using this model, and numerous

commercial industrial robots are programmed with it. If we use the Denavit-Hartenberg method, a position data of a robot has a predetermined structure regardless of the type of connections. Therefore, relational databases are well suited for this task. By combining the Denavit-Hartenberg method and relational databases, we get a simple structure that can store robot position data for different types of robots.

For this purpose, we defined six tables that can store the necessary entities.

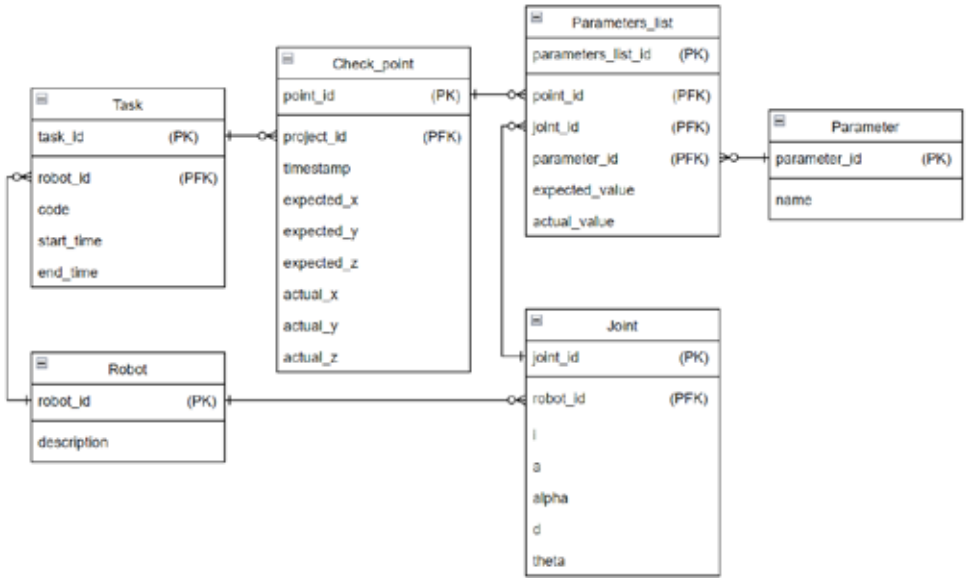


Fig. 2. Entity-Relationship diagram

The central entity is a Robot. A robot can have several joints, the relationships and positions of which are described using Denavit-Hartenberg parameters. Each robot has a task to perform. A checkpoint is used to control the robot's position during the execution of a task. This entity contains the expected and actual coordinates. A Digital Twin simulation tool can generate expected coordinates, and actual coordinates are obtained from a Physical Twin. The "Parameter" entity contains only a unique identifier and the name of one of the four parameters: a, α(alpha), d, and θ(theta). The "Parameters_list" entity stores the connection parameters. While the robot is moving, some parameters remain unchanged, depending on the type of connection. Therefore, a flexible structure was developed for the economical storage of parameters. The "Parameters_list" contains the checkpoint identifier, joint identifier and parameter identifier, the expected and the actual parameter value. This structure allows to store only the variable parameters for each joint.

This database schema is only the basis for storing the exact position of all robot nodes. This database model can be expanded and adapted depending on the needs. For example, tables can be added if additional data from sensors and other components must be stored. This approach can work for different types of robots. The Denavit-Hartenberg method is quite flexible in combining different types of joints in one mechanism.

Table 1

Description of database fields

Table	Name	Type	Description	Key	Restrictions
Robot	robot_id	Int	Unique identifier for robot	Primary Key	Not Null, Unique
	description	Text	A description of the robot		
Joint	joint_id	Int	Unique identifier for joint	Primary Key	Not Null, Unique
	robot_id	Int	References the robot		
	i	Double	The sequence number of the connection		
	a	Double	DH parameter 'a'		
	alpha	Double	DH parameter 'alpha'		
	d	Double	DH parameter 'd'		
	theta	Double	DH parameter 'theta'		
Task	task_id	Int	Unique identifier for a task	Primary Key	Not Null, Unique
	robot_id	Int	References the robot		
	code	Text	Set of commands to perform		
	start_time	Datetime	The start time of the task		
	end_time	Datetime	The end time of the task		
Check_point	point_id	Int	Unique identifier for checkpoint	Primary Key	Not Null, Unique
	task_id	Int	References the task		
	timestamp	Datetime	The timestamp when the checkpoint was recorded		
	expected_x	Double	Expected X coordinate		
	expected_y	Double	Expected Y coordinate		
	expected_z	Double	Expected Z coordinate		
	actual_x	Double	Actual X coordinate		
	actual_y	Double	Actual Y coordinate		
	actual_z	Double	Actual Z coordinate		
Parameter	parameter_id	Int	Unique identifier for the parameter	Primary Key	Not Null, Unique
	name	Varchar	The name of the parameter		
Parameters_list	Parameters_list_id	Int	Unique identifier for parameters list	Primary Key	Not Null, Unique
	point_id	Int	References the checkpoint		
	joint_id	Int	References the joint		
	parameter_id	Int	References the parameter		
	expected_value	Double	Expected value of the parameter		
	actual_value	Double	Actual value of the parameter		

Conclusion. This research presents a comprehensive solution for managing the position data of industrial robots through a universal database structure based on the Denavit-Hartenberg method. The proposed database effectively handles the complexities associated with different types of robot kinematics, making it a versatile tool for creating Digital Twins. The structure's adaptability ensures that it can accommodate additional data types and sensors as needed, providing a scalable platform for future developments in robotics and automation. This work contributes to the broader field of Industry 4.0 by addressing critical challenges in data management and integration, thereby enhancing the efficiency and reliability of digital manufacturing systems.

REFERENCES:

1. Dihan, Md. S., Akash, A. I., Tasneem, Z., Das, P., Das, S. K., Islam, Md. R., Islam, Md. M., Badal, F. R., Ali, Md. F., Ahamed, Md. H., Abhi, S. H., Sarker, S. K., & Hasan, Md. M. (2024). Digital twin: Data exploration, architecture, implementation and future. In Heliyon (Vol. 10, Issue 5, p. e26503). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26503

2. Huynh, B. H., Akhtar, H., & Sett, M. K. (2019). A Universal Methodology to Create Digital Twins for Serial and Parallel Manipulators. In 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). IEEE. https://doi.org/10.1109/smc.2019.8914195

3. Yildiz, E., & Møller, C. (2021). Building a virtual factory: an integrated design approach to building smart factories. In Journal of Global Operations and Strategic Sourcing (Vol. 14, Issue 4, pp. 608–635). Emerald. https://doi.org/10.1108/jgoss-11-2019-0061

4. Wilson, M. (2015). Industrial Robots. In Implementation of Robot Systems (pp. 19–38). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404733-4.00002-3

5. Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D., & Lin, L. (2018). Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. In Journal of Food Engineering (Vol. 220, pp. 1–11). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.028

6. Lum, M. J. H., Friedman, D. C. W., Sankaranarayanan, G., King, H., Fodero, K., Leuschke, R., Hannaford, B., Rosen, J., & Sinanan, M. N. (2009). The RAVEN: Design and Validation of a Telesurgery System. In The International Journal of Robotics Research (Vol. 28, Issue 9, pp. 1183–1197). SAGE Publications. https://doi.org/10.1177/0278364909101795

7. Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., & Bartolo, P. (2019). Robot assisted additive manufacturing: A review. In Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (Vol. 59, pp. 335–345). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.005

8. Zhang, X., Li, M., Lim, J. H., Weng, Y., Tay, Y. W. D., Pham, H., & Pham, Q.-C. (2018). Large-scale 3D printing by a team of mobile robots. In Automation in Construction (Vol. 95, pp. 98–106). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.004

9. He, Y., Mai, X., Cui, C., Gao, J., Yang, Z., Zhang, K., Chen, X., Chen, Y., & Tang, H. (2019). Dynamic Modeling, Simulation, and Experimental Verification of a Wafer Handling SCARA Robot With Decoupling Servo Control. In IEEE Access (Vol. 7, pp. 47143–47153). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). https://doi.org/10.1109/access.2019.2909657

10. Izquierdo, R. C., Cukla, A. R., Lorini, F. J., & Perondi, E. A. (2023). Optimal Two-Step Collision-Free Trajectory Planning for Cylindrical Robot using Particle Swarm Optimization. In Journal of Intelligent & Robotic Systems (Vol. 108, Issue 3). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s10846-023-01903-5

11. Kaur, M., Yanumula, V. K., & Sondhi, S. (2024). Trajectory planning and inverse kinematics solution of Kuka robot using COA along with pick and place application.

In Intelligent Service Robotics (Vol. 17, Issue 2, pp. 289–302). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s11370-023-00501-6

12. Filiposka, M., Djuric, A. M., & ElMaraghy, W. (2015). Kinematic Analysis of a 6DOF Gantry Machine. In SAE Technical Paper Series. SAE 2015 World Congress & Exhibition. SAE International. https://doi.org/10.4271/2015-01-0497

13. Zhenhua, W., Hui, X., Guodong, C., Rongchuan, S., & Sun, L. (2014). A distance error based industrial robot kinematic calibration method. In Industrial Robot: An International Journal (Vol. 41, Issue 5, pp. 439–446). Emerald. https://doi.org/10.1108/ir-04-2014-0319

14. Wu, L., Crawford, R., & Roberts, J. (2017). An Analytic Approach to Converting POE Parameters Into D–H Parameters for Serial-Link Robots. In IEEE Robotics and Automation Letters (Vol. 2, Issue 4, pp. 2174–2179). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). https://doi.org/10.1109/lra.2017.2723470

15. Chen, Q., Zhu, S., & Zhang, X. (2015). Improved Inverse Kinematics Algorithm Using Screw Theory for a Six-DOF Robot Manipulator. In International Journal of Advanced Robotic Systems (Vol. 12, Issue 10, p. 140). SAGE Publications. https://doi.org/10.5772/60834

16. Cohen, A., & Shoham, M. (2020). Hyper Dual Quaternions representation of rigid bodies kinematics. In Mechanism and Machine Theory (Vol. 150, p. 103861). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103861

17. Correia, J. B., Abel, M., & Becker, K. (2023). Data management in digital twins: a systematic literature review. In Knowledge and Information Systems (Vol. 65, Issue 8, pp. 3165–3196). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s10115-023-01870-1

18. de Oliveira, V. F., Pessoa, M. A. de O., Junqueira, F., & Miyagi, P. E. (2021). SQL and NoSQL Databases in the Context of Industry 4.0. In Machines (Vol. 10, Issue 1, p. 20). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/machines10010020

19. Dapkute, A., Siozinys, V., Jonaitis, M., Kaminickas, M., & Siozinys, M. (2024). Digital Twin Data Management: Framework and Performance Metrics of Cloud-Based ETL System. In Machines (Vol. 12, Issue 2, p. 130). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/machines12020130

УДК 621.865.8:[621.397:681.772.7:629.014.9
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.11

ПРАКТИЧНІ КЕЙСИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Педченко Н. М. *– PhD, старший викладач кафедри нафтогазової інженерії та технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*
ORCID ID: 0000-0002-0018-4482

Лактіонов О. І. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*
ORCID ID: 0000-0002-5230-524X

Янко А. С. *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*
ORCID ID: 0000-0003-2876-9316

Боряк Б. Р. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*
ORCID ID: 0000-0002-8114-7930

Метою дослідження є підвищення ефективності відеоспостереження робототехнічної платформи за рахунок створення відповідної системи. Дослідження включає аналіз існуючих рішень щодо відеоспостереження на роботизованих платформах та дронах.

Об’єктом дослідження є процес підвищення ефективності відеоспостереження на роботизованих платформах за допомогою кастомізації механізмів фіксації камер.

Предметом дослідження є покращення конструкції кріплення камер, за рахунок використання механізмів переміщення по вертикалі й горизонталі.

Запропоновано практичні кейси реалізації системи відеоспостереження на робототехнічній платформі. Для її імплементації створено тривимірну модель й конструкцію робототехнічної платформи, виготовлену засобами 3D-друку. Розглянуто кілька рішень щодо камер відеоспостереження, котрі фіксувалися на робототехнічній платформі різними способами.

Перший спосіб, де використовувалася зафіксована у корпусі камера нічного бачення. Недоліком камери є її фіксація у корпусі робототехнічної платформи, що робить камеру не рухомою. Перевагою такої камери є можливість виконувати завдання у темряві.

Другий спосіб – використання спеціального поворотного механізму камери. Він забезпечує рух камери по горизонталі й вертикалі, що утворює більший кут огляду для оператора. Перевагою вказаного механізму є можливість кріплення камер різних типів як камер для FPV, так і камер з функцією нічного бачення.

На відміну від існуючих ідей, запропоноване рішення відрізняється унікальністю конструкції робототехнічної платформи. Це потребує додаткового налаштування додаткових механізмів кріплення камер відеоспостереження й спеціалізованого обладнання керування для керування.

Запропоновані конструкції можуть бути використані на наземних роботизованих платформах як на підприємствах, так і силами спеціальних операцій.

Ключові слова: *відеоспостереження, дрон, механізм дистанційного позиціювання, поворотний механізм камери, роботизована платформа.*

Pedchenko N. M., Laktionov O. I., Yanko A. S., Boryak B. R. Practical cases of developing a video surveillance system for a robotic platform

The purpose of the study is to increase the effectiveness of video surveillance of the robotic platform by creating an appropriate system. The study includes an analysis of existing video surveillance solutions on robotic platforms and drones.

The object of the study is the process of increasing the effectiveness of video surveillance on robotic platforms using the customization of camera fixation mechanisms.

The subject of the research is the improvement of the design of mounting cameras, due to the use of vertical and horizontal movement mechanisms.

Practical cases of implementing a video surveillance system on a robotic platform are offered. For its implementation, a three-dimensional model and construction of a robotic platform, made by means of 3d printing, was created. Several solutions regarding video surveillance cameras, which were fixed on a robotic platform in various ways, were considered.

The first method used a night vision camera fixed in the body. The disadvantage of the camera is its fixation in the body of the robotic platform, which makes the camera immobile. The advantage of such a camera is the ability to perform tasks in the dark.

The second method is to use a special rotating mechanism of the camera. It provides horizontal and vertical movement of the camera, which creates a larger viewing angle for the operator. The advantage of this mechanism is the possibility of attaching different types of cameras, both cameras for FPV and cameras with night vision function.

In contrast to existing ideas, the proposed solution is distinguished by the uniqueness of the design of the robotic platform. This requires additional setup of additional CCTV camera mounting mechanisms and specialized control equipment for control.

The proposed designs can be used on ground robotic platforms both at enterprises and by special operations forces.

Key words: *video surveillance, drone, remote positioning mechanism, rotating camera mechanism, robotic platform.*

Вступ. Роботизовані платформи та дрони все частіше з'являються в нашому житті й використовуються як елементи соціально-економічної безпеки та як засоби ураження ворога [1]. Активний розвиток роботизованих платформ та дронів різних типів веде за собою розвиток комплектуючих до них та відкриває нові конструктивні рішення.

Крім створення конструкції робота чи дрона, важливим також є вибір та налаштування інструментів зв'язку за допомогою різних протоколів [2]. Оптимальний вибір налаштувань різного обладнання безпечніше здійснюється за допомогою віртуальних симуляторів [3]. З одного боку це безпечно й не потребує використання реального обладнання, з іншого – потребує цілої низки налаштувань, що без підготовки не можливо реалізувати. В цій статті мова піде про вибір потрібної камери для прототипу та її установка на наземну дистанційно керовану платформу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі результати досліджень показують не лише процес створення системи відеоспостереження на роботизованих платформах, а й вивчають сценарії дії у разі зіткнення [4]. Технології відеоспостереження є важливими для захисту суверенітету, прав та свобод українців. На сайті Верховної Ради України зафіксовано Проект Закону № 11507, де Сили безпілотних систем визначають окремим родом Збройних сил України [5].

Але при створенні системи відеоспостереження варто враховувати захист мереж від вторгнень, про що вивчається у роботі [6]. Це стосується WI-FI камер, котрі працюють з використанням відповідної мережі.

У напрацюванні [7] вивчається робот, котрий монтує підлогу. Керування роботом здійснюється за допомогою камери в реальному часі. Для цього потрібно узгоджувати параметри камери як у роботі [8] або створювати певні інструкції як у [9].

У роботі [10] описується процес створення відеонагляду засобами Raspberry pi.

Виклад основного матеріалу та отриманих наукових результатів. Оператор, який дистанційно керує дроном на відстані, повинен мати постійний візуальний контроль за переміщенням, та попутними перешкодами на його шляху. Ця технологія називається FPV. Відео, отримане з камери, транслюється на шолом чи монітор оператора. Для цього використовуються камери різних типів, розмірів та видів застосування. Разом із камерами використовуються кронштейни, для кріплення камер та додаткового обладнання на конструкції дрона, а також механізми дистанційного позиціювання камери по вертикальному та горизонтальному напрямку. Камери є як способом позиціювання робота в просторі, так і засобом наведення на ціль дрона. У деяких випадках вона також слугує прицілом для стрілецької зброї.

Існують різні види камер, які можливо використовувати на наземних платформах, та літаючих дронах. FPV камери створені спеціально для роботизованих платформ. Найчастіше вони використовуються на дронах коптерного та літакового типів. Ці камери мають великі кути огляду, та мають достатньо малу вагу. Наприклад аналогова камера CADDXFPV Ratel Pro [11] працює від мережі постійного струму напругою від 4,5 до 27 вольт. Камера характеризується кутом огляду 125 градусів. Для передачі відео на віддаль камера потребує використання відео передавача аналогового, наприклад RUSHFPV Solo Max.

Останнім часом активно спостерігається зменшення розмірів радіодеталей, та їх вартість. Тому зараз з'являються теплові FPV камери за доступними цінами. Вони дають змогу працювати роботам та дронам в нічний час та активно відстежувати об'єкти, аналізуючи тепловий спектр.

Однак для наземних роботизованих платформ розмір та вага камер не має великого значення. Вони повинні мати великий кут огляду, та мати гарну якість. Тому на наземних роботизованих платформах можна використовувати як FPV камери, так і екшн-камери, камери відеоспостереження з інфрачервоним режимом, цифрові камери та USB камери.

Проте, якщо наземний робот оснащений стрілецькою зброєю, то в конструкції повинна бути присутня камера із гарним зумуванням. Це дозволить вести вогонь по противнику на значну відстань. Тому вибір камер для конструкції буде залежати від завдань, які повинен виконувати робот, та технічної комплектації конструкції.

Для вирішення поставленого завдання, а саме створення наземної роботизованої платформи, яка буде відповідати всім поставленим технічним параметрам, було прийняте рішення створити зменшену копію робота. Ця частина проєкту допоможе вирішити питання з механікою робота, та з підбором комплектуючих, для повнорозмірної конструкції. Також надасть змогу проаналізувати і підібрати потрібну камеру, для робототехнічної платформи великого розміру.

Для створення корпусу конструкції та інших вузлів застосовувалися технології 3D-друку, зокрема принтер Anet A8 та PLA філамент, рис. 1.

Після друку конструкція оснащується металевими двигунами з редукторами, ESC регуляторами, акумуляторною батареєю, контролером, радіопередавачем, відеопередавачем та камерою. На рис. 2 зображений проміжний результат першого етапу проєктування роботизованої платформи.

Робототехнічна платформа оснащена Wi-Fi камерою відеоспостереження. Конструкція камери була змінена, для зручності монтажу на роботизовану платформу. Ця камера обладнана інфрачервоною підсвіткою, тому платформа могла переміщатись і виконувати поставлені завдання в повній темряві.

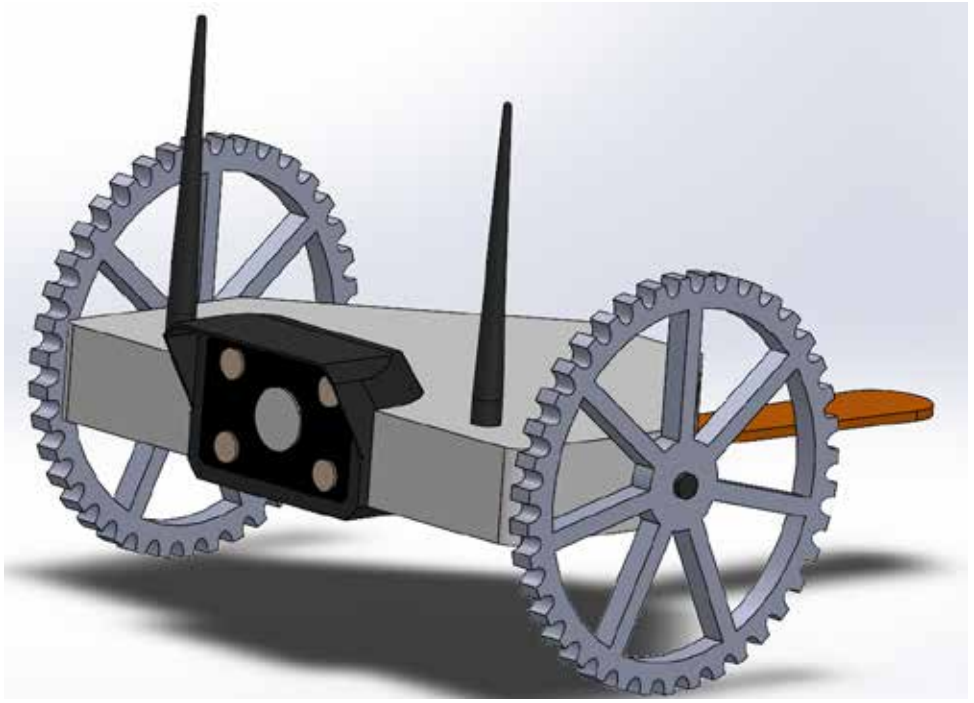


Рис. 1. Зовнішній вигляд моделі робототехнічної платформи, створеної засобами Solid Edge



Рис. 2. Виготовлений прототип конструкції робототехнічної платформи з камерою відеоспостереження

Дальність прямої видимості в темряві складала майже 25 метрів. Але камера була зафіксована статично на робототехнічній платформі, тому оператор не мав змоги дистанційно позиціонувати камеру в просторі. Однак інформація про простір та перешкоди, які знаходяться навколо робота, дають змогу планувати маршрут проходження конструкції. Це дає частково змогу вирішити основну проблему наземного робота, а саме підвищення прохідності.

Тому прийнято рішення дообладнати зменшений прототип робототехнічної платформи дистанційно керованою камерою. Механізм повороту по горизонталі та вертикалі також буде слугувати мініатюрною щоглою, що забезпечить збільшення дальності видимості камери. Проте Wi-Fi камера, що була використана в першому тестовому зразку, має велику вагу. Якщо центр мас камери знаходиться приблизно на осі колеса, то робототехнічна платформа має гарну стійкість. Однак Wi-Fi камера установлена на мініатюрну щоглу порушує стійкість робототехнічної платформи. Тому запропоновано до використання зменшений поворотний механізм (поворотну щоглу). Вказаний інструмент оснащений звичайною USB камерою, рис. 3.

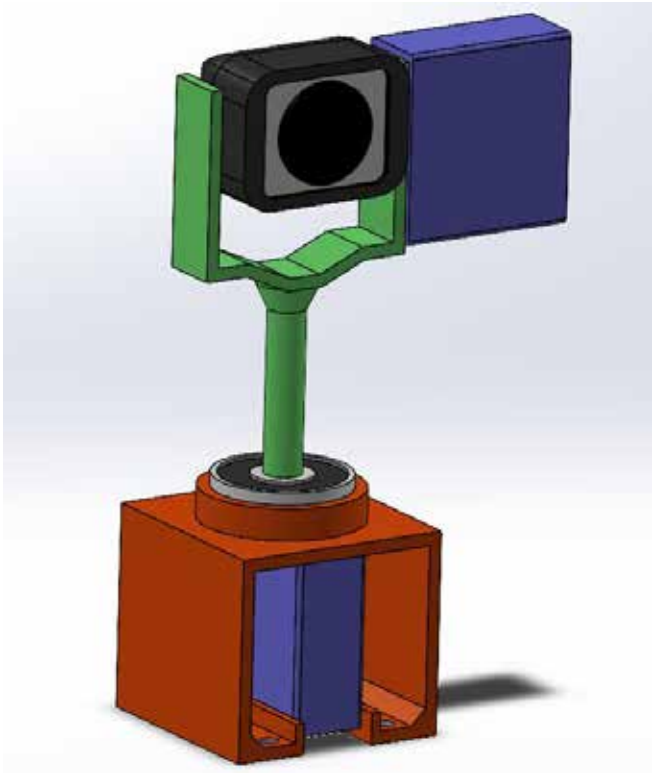


Рис. 3. Поворотний механізм камери робототехнічної платформи

На рис. 3 зображено мініатюрну поворотну щоглу, оснащену поворотним механізмом, для позиціонування камери. В нижній частині кронштейн має 4 отвори, для кріплення поворотної щогли на роботизовану платформу. Верхня частина кронштейна оснащена підшипником, який слугує опорою, та дає змогу осі обертатись

на заданий кут по горизонталі. Вісь виготовлена також із PLA пластика, нижня частина якої шліцовим з'єднанням кріпиться до серводвигуна, верхня частина оснащена шарнірним з'єднанням для фіксації USB камери.

Конструкція USB камери була підібрана спеціально для цієї конструкції, та мала готові рішення для шарнірного з'єднання. Хід камери у вертикальному напрямку забезпечувався також серводвигуном. Серводвигуни контактами "+", "-", "PWM" під'єднуються до приймача і за допомогою пульта дистанційного керування позиціонують USB камеру в просторі.

Установивши поворотну щоглу на зменшений прототип роботизованої платформи збільшено дальність огляду відеокамери, а також отримано змогу попередньо проглядати та прокладати зручний маршрут для робота, враховуючи інформацію що отримували з поворотної камери.

Для поворозмірної конструкції наземного робота для розвідки добре підійде Wi-Fi камера відеоспостереження. Вона має просту, але вологостійку надійну конструкцію, яка стійка до ударів та падінь, має гарний кут огляду, та може працювати в нічний час на достатній відстані. Також вона використовує не велику кількість енергії в працюючому режимі, а її вартість відносно не велика.

Висновок. Запропоновано дві конструкції кріплення камер відеонагляду на робототехнічній платформі. Для цього виготовлено зменшену копію робототехнічної платформи засобами 3D-друку. Перша конструкція, де камера зафіксована у корпусі робота. Друга – камера фіксується на поворотному механізмі, що збільшує кут огляду для оператора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Onyshchenko, S., Yanko, A., Hlushko, A., Maslii, O., & Skryl, V. (2023). The mechanism of information security of the national economy in cyberspace. In *Lecture notes in civil engineering* (pp. 791–803). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_67

2. Посвістак, В., & Мірошниченко, Д. (2024). Архітектура системи автономного керування для fpv-дронів. *Herald of Khmelnytskyi National University Technical Sciences*, *337*(3(2)), 223–230. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-33

3. *ROS: Home*. (n.d.). URL: https://www.ros.org/ (дата звернення: 06.10.2024).

4. Singh, S., Lee, H. W., Tran, T. X., Zhou, Y., Sichitiu, M. L., Guvenc, I., & Bhuyan, A. (2021). FPV video adaptation for UAV collision avoidance. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, *2*, 2095–2110. https://doi.org/10.1109/ojcoms.2021.3106274

5. Зеленський підписав закон про створення Сил безпілотних систем як окремого роду військ ЗСУ. *Радіо Свобода*. URL: https://www.radiosvoboda.org/a/news-zakon-syly-bezpilotnykh-system/33122138.html (дата звернення: 06.10.2024).

6. Katkov, Y., Berezovska, Y., Pshenychnyi, Y., Ryzhakov, M., & Prokopov, S. (2019). Analysis of threats and variability after implementation of 4g/lte technology. *Telecommunication and Information Technologies*, *4*, 25–38. https://doi.org/10.31673/2412-4338.2019.042538

7. Navon, R. (2000). Process and quality control with a video camera, for a floor-tilling robot. *Automation in Construction*, *10*(1), 113–125. https://doi.org/10.1016/s0926-5805(99)00044-8

8. Terletskyi, T., Kaidyk, O., & Ptashenchuk, V. (2021). Підвищення ефективності системи відеоспостереження шляхом узгодження світлотехнічних параметрів освітлювачів та відеокамер. *Technical sciences and technologies*, *3*(25), 150–159. https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-150-159

9. *Stargazer: An Interactive Camera Robot for Capturing How-To Videos Based on Subtle Instructor Cues.* URL: https://www.researchgate.net/publication/369035716_

Stargazer_An_Interactive_Camera_Robot_for_Capturing_How-To_Videos_Based_on_Subtle_Instructor_Cues (дата звернення: 06.10.2024).

10. Suárez-Armas, J., Caballero-Gil, P., & Caballero-Gil, C. (2022). Video surveillance robot powered by raspberry pi. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.14130

11. Посібник користувача аналогової камери CADDXFPV Ratel Pro. *Manuals+*. URL: https://uk.manuals.plus/caddxfpv/ratel-pro-analog-camera-manual (дата звернення: 06.10.2024).

REFERENCES:

1. Onyshchenko, S., Yanko, A., Hlushko, A., Maslii, O., & Skryl, V. (2023). The mechanism of information security of the national economy in cyberspace. In *Lecture notes in civil engineering* (pp. 791–803). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_67 [in English].

2. Posvistak, V., & Miroshnychenko, D. (2024). Arkhitektura systemy avtonomnoho keruvannia dlia fpv-droniv [Autonomous control system architecture for fpv drones]. *Herald of Khmelnytskyi National University Technical Sciences*, *337*(3(2)), 223–230. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-33 [in Ukrainian].

3. *ROS: Home*. (n.d.). URL: https://www.ros.org/ [in English] (accessed 06.10.2024).

4. Singh, S., Lee, H. W., Tran, T. X., Zhou, Y., Sichitiu, M. L., Guvenc, I., & Bhuyan, A. (2021). FPV video adaptation for UAV collision avoidance. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, *2*, 2095–2110. https://doi.org/10.1109/ojcoms.2021.3106274 [in English].

5. Zelenskyi pidpysav zakon pro stvorennia Syl bezpilotnykh system yak okremoho rodu viisk ZSU [Zelensky signed the law on the creation of the Unmanned Systems Forces as a separate branch of the Armed Forces of Ukraine]. *Radio Svoboda*. URL: https://www.radiosvoboda.org/a/news-zakon-syly-bezpilotnykh-system/33122138.html [in Ukrainian] (accessed 06.10.2024).

6. Katkov, Y., Berezovska, Y., Pshenychnyi, Y., Ryzhakov, M., & Prokopov, S. (2019). Analysis of threats and variability after implementation of 4g/lte technology. *Telecommunication and Information Technologies*, *4*, 25–38. https://doi.org/10.31673/2412-4338.2019.042538 [in English].

7. Navon, R. (2000). Process and quality control with a video camera, for a floor-tilling robot. *Automation in Construction*, *10*(1), 113–125. https://doi.org/10.1016/s0926-5805(99)00044-8 [in English].

8. Terletskyi, T., Kaidyk, O., & Ptashenchuk, V. (2021). Pidvyshchennia efektyvnosti systemy videosposterezhennia shliakhom uzghodzhennia svitlotekhnichnykh parametriv osvitliuvachiv ta videokamer [Increasing the efficiency of the video surveillance system by harmonizing the light technical parameters of illuminators and video cameras]. *Technical sciences and technologies*, *3*(25), 150–159. https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-150-159 [in Ukrainian].

9. *Stargazer: An Interactive Camera Robot for Capturing How-To Videos Based on Subtle Instructor Cues.* URL: https://www.researchgate.net/publication/369035716_Stargazer_An_Interactive_Camera_Robot_for_Capturing_How-To_Videos_Based_on_Subtle_Instructor_Cues [in English] (accessed 06.10.2024).

10. Suárez-Armas, J., Caballero-Gil, P., & Caballero-Gil, C. (2022). Video surveillance robot powered by raspberry pi. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.14130 [in English].

11. Posibnyk korystuvacha analohovoi kamery CADDXFPV Ratel Pro. Manuals+ [CADDXFPV Ratel Pro Analog Camera User Guide. Manuals+]. URL: https://uk.manuals.plus/caddxfpv/ratel-pro-analog-camera-manual [in Ukrainian] (accessed 06.10.2024).

УДК 004.75: 004.8
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.12

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ

Рибалочка М. С. *– аспірант Інституту програмних систем Національної академії наук України*
ORCID ID: 0000-0003-0908-8320

Ільїн С. А. *– аспірант Інституту програмних систем Національної академії наук України*
ORCID ID: 0009-0004-3760-1464

Новіков Ю. Л. *– кандидат технічних наук, виконуючий обов'язки заступника завідувача відділом автоматизованих систем програмно-цільового управління № 19 Інституту програмних систем Національної академії наук України*
ORCID ID: 0009-0006-9800-8765

У статті розглядаються підходи до оптимізації процесу функціонування комп'ютерних мереж за допомогою хмарних сервісів. Особлива увага приділяється економічній доцільності використання хмарних сервісів та можливим викликам, з якими можуть зіткнутися організації. В роботі проведено аналіз сучасних хмарних технологій: розглянуто основні моделі хмарних обчислень (IaaS, PaaS, SaaS) та їх застосування у мережевих інфраструктурах. В дослідженні було приділено увагу безпеці хмарних сервісів. В роботі проведено оцінку безпеки хмарних сервісів. Наведено основні виклики та рішення, пов'язані із забезпеченням безпеки даних та доступу до них в умовах хмарних середовищ. У статті було запропоновано математичну модель оптимізації процесу функціонування комп'ютерних мереж з використанням хмарних сервісів. Під час дослідження сформульована математична модель, яка враховує ключові фактори (витрати, час, затримку, безпеку) для оптимального розподілу ресурсів у хмарному середовищі. В статті проведено аналіз економічної доцільності: було проведено дослідження економічні вигоди від використання хмарних сервісів для оптимізації комп'ютерних мереж у порівнянні з традиційними підходами. В роботі запропоновано нову методику переходу у хмарне середовище, згідно якої для успішного переходу у хмару потрібно розробити стратегію переходу. Хмарна стратегія має вирішальне значення для кожної організації, незалежно від того, де вона перебуває на своєму шляху до хмари. Також, в роботі було описано метод розробки стратегії для впровадження хмарних технологій у комп'ютерних мережах. В роботі запропоновано напрямки для подальших досліджень в цій області та визначено виклики використання хмарних сервісів. У статті пропонуються перспективні шляхи подальшого розвитку хмарних технологій у сфері мережевих інфраструктур.

Ключові слова: *хмарні сервіси, оптимізація комп'ютерних мереж,, безпека даних, шифрування, контроль доступу, економічна ефективність, математична модель, мережеві інфраструктури.*

Rybalochka M. S., Ilin S. A., Novikov Yu. L. Optimization of computer network functioning process using cloud services

In recent years, cloud computing technologies have significantly influenced the development of computer networks. The article considers approaches to optimizing the process of functioning of computer networks with the help of cloud services. Special attention is paid to the economic feasibility of using cloud services and the possible challenges that organizations may face. The paper analyzes modern cloud technologies: the main models of cloud computing (IaaS, PaaS, SaaS) and their application in network infrastructures are considered. Attention was paid to the security of cloud services. The paper evaluates the security of cloud services. The main challenges and solutions related to ensuring data security and access to them in cloud environments are

given. A mathematical model of optimization is proposed. During the research, a mathematical model was formulated that takes into account key factors (costs, time, delay, security) for the optimal allocation of resources in the cloud environment. An economic feasibility analysis was conducted: a study of the economic benefits of using cloud services to optimize computer networks in comparison with traditional approaches was conducted. A new methodology for transition to the cloud environment was developed, according to which a transition strategy must be developed for a successful transition to the cloud. A cloud strategy is critical for every organization, no matter where they are on their cloud journey. The method of developing a strategy for the implementation of cloud technologies in computer networks was described. The paper proposes directions for further research in this area and identifies the challenges of using cloud services. The article offers promising ways of further development of cloud technologies in the field of network infrastructures.

Key words: *cloud services, optimization of computer networks, data security, encryption, access control, economic efficiency, mathematical model, network infrastructures.*

Постановка проблеми. У сучасному світі інформаційних технологій ефективне функціонування комп’ютерних мереж є ключовим фактором для забезпечення стабільної роботи бізнесу, державних установ та інших організацій. З розвитком цифровізації та збільшенням обсягів даних, що обробляються, виникає необхідність у нових підходах до управління і оптимізації мережевих ресурсів. Хмарні сервіси, які за останні роки отримали широке визнання, пропонують сучасні рішення для оптимізації процесів у комп’ютерних мережах, забезпечуючи масштабованість, гнучкість, економічну ефективність та високу доступність мережевих ресурсів.

Хмарні технології дозволяють організаціям адаптувати свої мережі до зростаючих вимог, надаючи доступ до потужних обчислювальних ресурсів на вимогу, оптимізуючи витрати на підтримку інфраструктури та підвищуючи надійність мереж. Основною метою цієї статті є дослідження методів і підходів, спрямованих на оптимізацію процесу функціонування комп’ютерних мереж за допомогою хмарних сервісів, а також аналіз основних переваг і викликів, з якими стикаються сучасні компанії в цьому контексті.

Детальний розгляд питань віртуалізації, програмно-конфігурованих мереж (SDN) та безпекових рішень у хмарних середовищах дозволить визначити ключові напрями для підвищення ефективності мережевих інфраструктур, що використовують хмарні сервіси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки технології хмарних обчислень значно вплинули на розвиток комп’ютерних мереж. Хмарні сервіси, такі як IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) та SaaS (Software as a Service), стали ключовими інструментами для оптимізації функціонування мережевих інфраструктур. Огляд наукових джерел зосереджений на важливих аспектах використання хмарних сервісів для оптимізації комп'ютерних мереж, таких як зменшення затрат, підвищення ефективності та безпеки, масштабованість і гнучкість мереж.

Одним із ключових аспектів у розумінні хмарних сервісів є принципи їхньої роботи та структура. У публікації [1] надано фундаментальні визначення хмарних технологій та їх моделей розгортання. Вони описують хмарні моделі, такі як приватна, публічна, гібридна та спільна хмара, що дозволяє налаштовувати мережі відповідно до потреб бізнесу та користувачів. Також у статтях [2] та [3] досліджується роль хмарних обчислень у розподілених системах. Вони підкреслюють, що хмари дозволяють значно збільшити обчислювальні ресурси та зменшити витрати на підтримку мережевої інфраструктури.

Однією із головних переваг хмарних сервісів є їхня здатність оптимізувати використання мережевих ресурсів. У роботах [4] та [5] розглядається використання віртуалізації для оптимізації обробки даних у мережах. Віртуалізація дозволяє динамічно виділяти ресурси в залежності від навантаження на мережу, що суттєво покращує ефективність її роботи. В роботі [6] досліджують використання програмно-конфігурованих мереж (SDN) в поєднанні з хмарними сервісами для оптимізації управління мережевим трафіком. SDN дозволяє центрально керувати маршрутизацією даних, спрощуючи процеси управління та оптимізуючи пропускну здатність мережі.

Безпека є важливою проблемою для будь-якої комп'ютерної мережі, а використання хмарних сервісів додає додаткові виклики. У роботах [7], а також [8] описуються основні загрози безпеці в хмарних середовищах, включаючи несанкціонований доступ до даних, атаки типу DDoS та витоки даних. У цих дослідженнях пропонується використовувати методи шифрування даних, двофакторну аутентифікацію та моніторинг мережевих ресурсів для захисту інформації. Окремо варто відзначити дослідження [9], яке стосується ролі хмарних сервісів у забезпеченні безпеки розподілених мереж. Авторами підкреслено важливість правильного налаштування міжмережевих екранів та використання систем виявлення вторгнень у хмарних середовищах.

Крім технічних переваг, хмарні сервіси надають значні економічні вигоди. За даними підрахунків у дослідженнях [10], використання хмарних рішень дозволяє компаніям значно скоротити витрати на підтримку мережевої інфраструктури, оскільки хмарні провайдери беруть на себе обов'язки з обслуговування фізичних серверів, зберігання даних та обробки інформації.

Попри очевидні переваги, використання хмарних сервісів у мережевих інфраструктурах має й свої виклики. У роботах [11] зазначається, що одним із головних викликів є залежність від провайдерів хмарних рішень та можливість збоїв у їхніх системах, що може вплинути на функціонування мереж. Також важливо враховувати проблеми з конфіденційністю даних, які обробляються в хмарах. Однак, за даними досліджень [12], ці виклики можна подолати за допомогою впровадження гібридних хмарних моделей, що дозволяють зберігати критично важливі дані в приватних хмарах, а інші сервіси віддавати на публічні.

Як показує проведений аналіз, дана тема викликає інтерес багатьох науковців, проте має низку не вирішених питань. Хмарні сервіси значно впливають на оптимізацію функціонування комп'ютерних мереж, забезпечуючи гнучкість, масштабованість та економічну доцільність. Віртуалізація, SDN, сучасні підходи до безпеки та зменшення затрат роблять хмарні рішення привабливими для оптимізації мережевих процесів. Однак, важливо враховувати виклики, пов'язані з безпекою та залежністю від постачальників послуг.

Мета і задачі дослідження. Метою статті є дослідження та розробка підходів до оптимізації процесу функціонування комп'ютерних мереж із використанням хмарних сервісів. Це включає аналіз сучасних технологій хмарних обчислень та їх вплив на ефективність, надійність та безпеку мережевих інфраструктур. У результаті дослідження планується визначити ключові переваги, виклики та найкращі практики для оптимізації комп'ютерних мереж за допомогою хмарних технологій.

Для досягнення мети сформульовані наступні завдання:

– провести аналіз сучасних хмарних технологій: розглянути основні моделі хмарних обчислень (IaaS, PaaS, SaaS) та їх застосування у мережевих інфраструктурах;

– визначити оцінку безпеки хмарних сервісів: вивчити основні виклики та рішення, пов'язані із забезпеченням безпеки даних та доступу до них в умовах хмарних середовищ;

– розробити математичну модель оптимізації: сформувати математичну модель, яка враховує ключові фактори (витрати, час, затримку, безпеку) для оптимального розподілу ресурсів у хмарному середовищі;

– провести аналіз економічної доцільності: дослідити економічні вигоди від використання хмарних сервісів для оптимізації комп'ютерних мереж у порівнянні з традиційними підходами;

– запропонувати напрямки для подальших досліджень в цій області та визначити виклики: визначити можливі шляхи подальшого розвитку хмарних технологій у сфері мережевих інфраструктур та основні виклики, з якими можуть зіткнутися організації.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Визначення оцінки безпеки хмарних сервісів шляхом аналізу сучасних хмарних технологій. Одним із головних аспектів при оптимізації комп'ютерних мереж з використанням хмарних сервісів є забезпечення належного рівня безпеки даних та доступу до них. Хоча хмарні сервіси пропонують безліч переваг у масштабованості та ефективності, вони також створюють нові виклики для безпеки. Розглянемо основні загрози безпеці в хмарних середовищах та сучасні рішення для їх подолання.

Основні виклики безпеки в хмарних сервісах

1. Незахищеність даних під час передачі та зберігання. Дані, які передаються через мережу або зберігаються у хмарі, можуть бути вразливими до несанкціонованого доступу, перехоплення чи модифікації. Ця проблема стає особливо актуальною для компаній, які працюють з чутливою інформацією (фінансові, медичні або персональні дані).

2. Атаки типу DDoS (Distributed Denial of Service). У хмарних середовищах атаки типу DDoS можуть бути спрямовані на перевантаження серверів, що надають доступ до хмарних сервісів, тим самим обмежуючи або унеможливлюючи доступ до них для легітимних користувачів. Такі атаки можуть зупинити роботу цілої мережі.

3. Проблеми багатокористувацького середовища (multi-tenancy). У хмарних системах ресурси часто поділяються між кількома клієнтами. Це створює ризик витоку даних через недосконалі механізми розмежування доступу, що може призвести до несанкціонованого доступу одного клієнта до даних іншого.

4. Неправильна конфігурація хмарних ресурсів. Одна з найпоширеніших проблем безпеки у хмарних середовищах – неправильна конфігурація, що може відкрити доступ до даних або сервісів для сторонніх осіб. Це може бути пов’язане з помилками у налаштуваннях хмарного зберігання, міжмережевих екранів або правил доступу.

5. Залежність від постачальників хмарних послуг. Клієнти хмарних сервісів часто повністю залежать від постачальників послуг у питаннях безпеки, що може бути ризиком у разі недотримання ними належних стандартів або при порушенні роботи хмарного провайдера. Крім того, відсутність прозорості у захисті даних або в системах моніторингу також може викликати занепокоєння.

Виділимо найбільш популярні сучасні рішення для забезпечення безпеки хмарних сервісів:

1. Шифрування даних. Шифрування є основним механізмом захисту даних як під час їх передачі, так і під час зберігання. Використання протоколів шифрування, таких як TLS (Transport Layer Security), для захисту даних під час передачі через мережу значно знижує ризики перехоплення інформації.

2. Механізми контролю доступу. Одним із найефективніших підходів для забезпечення безпеки є впровадження багаторівневих механізмів контролю доступу. Сучасні хмарні провайдери пропонують такі методи автентифікації, як двофакторна аутентифікація (2FA) та автентифікація на основі ролей (Role-Based Access Control, RBAC). Це забезпечує, що доступ до хмарних ресурсів отримують лише авторизовані користувачі з відповідними правами.

3. Використання програмно-конфігурованих мереж (SDN). Програмно-конфігуровані мережі дозволяють централізовано управляти політиками безпеки на рівні мережі, що допомагає швидко реагувати на загрози, а також налаштовувати захист залежно від рівня критичності даних або додатків. SDN може забезпечити гнучкіші рішення для захисту від DDoS-атак через динамічне перенаправлення трафіку або застосування політик безпеки в реальному часі.

4. Моніторинг і аудит безпеки. Постійний моніторинг активності в хмарних середовищах дозволяє виявляти аномалії у трафіку або поведінці користувачів, що може бути ознакою порушення безпеки. Хмарні провайдери надають інструменти для аудиту та аналізу подій у реальному часі, що дозволяє вчасно виявляти та реагувати на загрози. Впровадження систем виявлення вторгнень (IDS) та систем запобігання вторгнень (IPS) підвищує рівень захисту мережі.

5. Контейнеризація та ізоляція даних. Для забезпечення захисту в багатокористувацьких середовищах (multi-tenancy) використовується технологія контейнеризації, що дозволяє ізолювати ресурси кожного клієнта один від одного. Контейнери створюють окремі середовища для обчислень, що знижує ризики несанкціонованого доступу.

6. Резервне копіювання та відновлення даних. Хмарні провайдери пропонують автоматизовані рішення для регулярного створення резервних копій та швидкого відновлення даних у разі втрати.

Таким чином, забезпечення безпеки хмарних сервісів є критично важливим аспектом при їх використанні для оптимізації комп'ютерних мереж. Основні виклики включають загрози несанкціонованого доступу до даних, атаки DDoS та проблеми з багатокористувацькими середовищами. Однак сучасні рішення, такі як шифрування, контроль доступу, SDN, контейнеризація та моніторинг, дозволяють значно підвищити рівень безпеки в хмарних середовищах.

2. Математичне моделювання процесу оптимізації функціонування комп'ютерних мереж з використанням хмарних сервісів. Для математичного моделювання процесу оптимізації функціонування комп'ютерних мереж з використанням хмарних сервісів необхідно враховувати різні параметри, такі як затрати на ресурси, час обробки запитів, пропускну здатність мережі, затримку передачі даних, безпеку та інші фактори. В цьому контексті можна використати багатофакторну модель, яка базується на методах теорії оптимізації.

Основні змінні моделі:

– C_i – вартість використання хмарного ресурсу i (наприклад, обчислювальна потужність, зберігання даних).

– R_i – ресурс, який виділяється для виконання певного завдання в хмарі (наприклад, обсяг процесорного часу або пам'яті).

– T_i – час виконання завдання на ресурсі i.

– L_i – затримка передачі даних в мережі для ресурсу *i*.
– B – пропускна здатність мережі.
– U – рівень використання мережевих ресурсів (завантаження мережі).
– S_i – рівень безпеки ресурсу *i*.

Цільова функція

Задача оптимізації полягає у мінімізації загальних витрат на функціонування мережі при дотриманні певних обмежень, таких як затримка передачі даних, пропускна здатність і рівень безпеки.

Математична постановка задачі може бути записана у вигляді наступної цільової функції:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{n} \left(C_i R_i + \alpha T_i + \beta L_i + \gamma S_i \right)$$

де:

$C_i R_i$ – затрати на використання ресурсу *i*,
T_i – час обробки завдань на ресурсі *i*,
L_i – затримка передачі даних для ресурсу *i*,
S_i – рівень безпеки для ресурсу *i*,
α, β, γ – вагові коефіцієнти, що відповідають за пріоритети кожної складової функції.

Обмеження:

1. Обмеження на пропускну здатність мережі:

$$\sum_{i=1}^{n} R_i \le B.$$

Це обмеження гарантує, що сума використаних мережевих ресурсів не перевищує доступну пропускну здатність мережі.

2. Обмеження на затримку:

$$L_i \le L_{max}, \ \forall i$$

Це обмеження накладає вимогу, що затримка для кожного ресурсу не повинна перевищувати максимально допустиме значення L_{max}

3. Обмеження на рівень безпеки:

$$S_i \ge S_{min}, \ \forall i$$

Рівень безпеки кожного ресурсу повинен бути не меншим за певний мінімальний поріг S_{min}, що залежить від специфічних вимог.

4. Обмеження на завантаження мережі:

$$U \le U_{max}$$

Це обмеження встановлює граничне завантаження мережі U_{max}, яке не повинно бути перевищене для забезпечення належної якості обслуговування.

Модель можна оптимізувати за допомогою методів лінійного програмування або інших методів оптимізації, таких як генетичні алгоритми, якщо модель містить нелінійні залежності або складні обмеження. Така модель дозволяє визначити найкращі параметри функціонування комп'ютерної мережі з використанням хмарних сервісів, з урахуванням затрат, часу виконання завдань, пропускної здатності, безпеки та інших важливих характеристик.

3. Аналіз економічної доцільності використання хмарних сервісів для оптимізації комп'ютерних мереж. Використання хмарних сервісів для

оптимізації комп'ютерних мереж пропонує суттєві економічні вигоди порівняно з традиційними підходами до управління та підтримки інфраструктури. Економічна доцільність хмарних технологій базується на кількох важливих аспектах: зниження прямих капітальних витрат (CapEx), зменшення операційних витрат (OpEx), гнучкість і масштабованість ресурсів, зниження потреб у технічному персоналі та швидкість впровадження нових технологій.

Зниження капітальних витрат (CapEx). У традиційних підходах до побудови мережевої інфраструктури компанії інвестують значні кошти в закупівлю серверного обладнання, мережевих пристроїв, систем зберігання даних і програмного забезпечення. Використання хмарних сервісів, таких як IaaS (Infrastructure as a Service), дозволяє компаніям уникнути великих капітальних інвестицій, оскільки ресурси орендуються у провайдерів хмарних послуг.

Зменшення операційних витрат (OpEx). Операційні витрати включають витрати на обслуговування обладнання, оплату праці технічного персоналу, електроенергію, охолодження серверів та інші поточні витрати. Традиційні підходи вимагають постійних інвестицій у підтримку інфраструктури, що призводить до значних операційних витрат.

Гнучкість та масштабованість. Однією з головних переваг хмарних сервісів є їхня гнучкість і можливість динамічного масштабування ресурсів. У традиційних мережевих середовищах збільшення навантаження на інфраструктуру потребує додаткових капіталовкладень, що може бути складним і затратним процесом.

Зниження потреб у технічному персоналі. Традиційні підходи до управління комп'ютерними мережами вимагають наявності великого технічного штату, який відповідає за налаштування, управління та обслуговування інфраструктури. Зниження затрат на оплату праці технічних спеціалістів стає значним джерелом економії для компаній.

Швидкість впровадження та інновації. Традиційні IT-інфраструктури можуть вимагати значного часу для розгортання нових серверів, обладнання та мережевих рішень. Хмарні сервіси дозволяють швидко впроваджувати нові технологічні рішення, оскільки ресурси доступні на вимогу та налаштовуються за кілька хвилин.

Таблиця 1

Порівняння витрат традиційної інфраструктури та хмарних рішень

Показник	Традиційна інфраструктура	Хмарні сервіси
Капітальні витрати (CapEx)	Високі (обладнання, мережі)	Низькі або відсутні (оренда ресурсів)
Операційні витрати (OpEx)	Високі (обслуговування, електрика)	Низькі (спрощене управління)
Масштабованість	Обмежена	Динамічна, на вимогу
Гнучкість	Низька	Висока
Затрати на технічний персонал	Високі	Знижені
Швидкість впровадження	Тривала	Швидка

Використання хмарних сервісів для оптимізації комп'ютерних мереж забезпечує значні економічні вигоди, зокрема зменшення капітальних та операційних

витрат, підвищену гнучкість і масштабованість, зниження потреб у технічному персоналі та прискорення впровадження нових технологій. Ці переваги роблять хмарні рішення економічно доцільними для багатьох компаній, що дозволяє їм оптимізувати свої мережеві інфраструктури та зосередитися на ключових бізнес-процесах.

4. Рекомендації щодо успішного впровадження хмарних технологій AWS для оптимізації комп'ютерної мережі. Як було доведено вище, використання хмарних обчислень значно зменшує, тобто оптимізує витрати на обслуговування комп'ютерних мереж, економія може досягати 70% в залежності від обсягів операцій. Використання хмарних технологій значно підвищує рівень доступності сервісів, цей висновок зроблено на основі [13-15].

Для початку потрібно розробити стратегію переходу та стратегію у перспективі наступних 3 або 5 років. Стратегія переходу має бути чіткою, аргументованою та пояснювати роль хмари у організації.

Для розробки стратегії, потрібно обрати тип хмарного середовища: публічна, гібридна або приватна. Відповідно до отриманих даних, згідно яких найбільша частка користувачів(18%) використовує гібридну хмару для своїх задач (рис. 1).

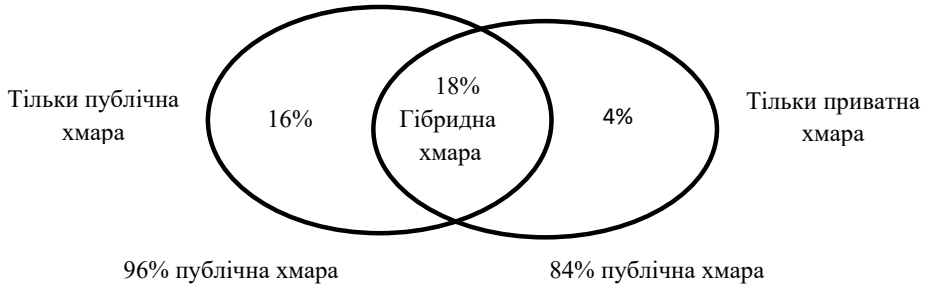


Рис. 1. Розподіл використання моделей хмарних технологій між усіма користувачами

Також необхідно чітко визначити які ресурси або програми потрібно розмістити у хмарі. Це може бути апаратне забезпечення, програмне забезпечення або мережеве обладнання. Згідно отриманих даних, тільки 35% малого бізнесу, 25% середнього бізнесу та 23% підприємств мають намір повністю перенести потужності в хмару, це означає, що найбільша вірогідність відповідає малому бізнесу, який хоче мінімізувати витрати. Це також слід враховувати: залежності від розміру підприємства.

Потрібно обрати модель обслуговування для хмарного сервісу. Для комп'ютерної мережі найкращим варіантом є інфраструктура як сервіс(IaaS). Далі потрібно підготувати політику безпеки, розробити план дій при надзвичайних ситуаціях, спробах взлому та видалення даних.

Для успішного впровадження хмарних технологій, потрібно підготувати та навчити співробітників, це один із основних факторів витрат при переході на хмару, тому що це може займати більшу кількість часу, ніж в умовах звичайного ЦОД.

Потрібно вирішити чи є потреба в використанні багатохмарної технології, яка дає змогу розділити навантаження на мережу. Для зменшення ризиків потрібно провести комплексну їх оцінку, визначити основні типи які можуть спіткати

використання вибраної архітектури. Для цього треба провести кілька умовних етапів:

– зібрати вихідну інформацію, необхідну для знаходження та розпізнавання небезпек під час операційної діяльності;

– знайти та розпізнати небезпеки на основі аналізу законодавчих вимог у галузі;

– знайти та розпізнати небезпеки на політики безпеки.

Отже, на основі проведеного дослідження можна сформувати наступний список рекомендацій при оптимізації комп'ютерних мереж на базі хмарних сервісів.

1. Якщо підприємство або бізнес невеликого розміру з невеликим оборотом коштів, перенесення обчислювальних потужностей є найбільш економічно-обґрунтованим, так як, згідно дослідження, використання хмари може зекономити до 70% коштів.

2. Використання хмарних сервісів є найбільш вигідним та обґрунтованим вибором, так як ці сервіси мали найменший відсоток відмов у обслуговувані, а саме всього 2% від усього часу за рік.

3. Потрібно чітко сформувати стратегію разом з персоналом та залучити рекомендації компетентних радників. Стратегія має включати в себе чіткий план, модель обслуговування, інфраструктуру, архітектуру, модель витрат та економічне обґрунтування.

4. Шляхом розділу сегментів мережі потрібно утворити межі безпеки. Саме таким чином, а не визначаючи межі безпеки для кожного елемента, які мають точки дотику з даними, виконується сегментація для створення контейнера, який потім містить елементи, які мають однакові атрибути безпеки.

5. Дотримуватись політик зменшення ризиків, основними принципами яких є: оцінка, управління та лікування. Персонал та керівники мають знати ці принципи задля мінімізації виникнення нових критичних ситуацій та збитків, які у найгіршому випадку можуть призвести навіть до банкрутства.

6. Вирахувати та спланувати потужності, тому що розбіжність між потужністю IT-ресурсу і його попит можуть призвести до того, що система стане або неефективною (надмірне забезпечення) або нездатною задовольнити потреби користувача (відмова в обслуговуванні). Ємність планування спрямована на мінімізацію цієї невідповідності для досягнення передбачуваного ефективності і продуктивності.

Згідно даних рекомендацій по оцінці ризиків можна отримати комплексний звіт про основні ризики на підприємстві при використанні хмарних обчислень, зменшити ймовірність виникнення критичних ситуацій або створити політику або методику їх мінімізування чи ліквідації наслідків з меншими наслідками.

5. Визначення перспектив і викликів розвитку хмарних технологій у сфері мережевих інфраструктур. Хмарні технології швидко розвиваються, стаючи основним інструментом для оптимізації мережевих інфраструктур. Їхні переваги включають гнучкість, масштабованість, зменшення витрат та швидке впровадження інновацій. Проте, з їхнім розвитком також з'являються нові виклики, які можуть вплинути на ефективне впровадження хмарних рішень.

Перспективи подальшого розвитку хмарних технологій:

– **Зростання популярності гібридних і мультихмарних рішень.** Такий підхід дозволяє компаніям використовувати переваги обох типів хмар: приватна хмара забезпечує високу безпеку для критично важливих даних, а публічна надає можливість динамічного масштабування ресурсів.

– **Інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання.** Ці технології дозволяють автоматизувати процеси моніторингу, виявлення загроз та управління ресурсами в реальному часі.

– **Розвиток технологій безпеки.** Оскільки безпека залишається головним питанням для хмарних інфраструктур, у майбутньому очікується активний розвиток нових методів захисту даних, таких як постійне шифрування, блокчейн для безпечних транзакцій та квантова криптографія.

Основні виклики впровадження хмарних технологій:

– Безпека та конфіденційність даних. Перенесення критично важливих даних у хмару підвищує ризики кібератак та витоків даних.

– Залежність від постачальників хмарних послуг (Vendor Lock-In). Якщо компанія інвестує у певного хмарного провайдера, перехід до іншої платформи може виявитися складним і дорогим процесом.

– Складність управління хмарними середовищами. Необхідно інтегрувати різні системи, слідкувати за безпекою та ефективністю, що вимагає нових підходів та інструментів для централізованого управління.

– Нестача кваліфікованих кадрів. Дефіцит кваліфікованих IT-спеціалістів може стати перешкодою для повноцінного впровадження та використання всіх можливостей хмарних технологій.

– Забезпечення надійності та безперервності бізнесу. Важливо забезпечити механізми резервування та швидкого відновлення після інцидентів, щоб мінімізувати ризики простоїв.

– Регуляторні вимоги та відповідність стандартам. Організації повинні забезпечити відповідність місцевим і міжнародним стандартам (GDPR, HIPAA тощо), що може вимагати додаткових ресурсів і зусиль.

Подальший розвиток хмарних технологій обіцяє нові можливості для оптимізації мережевих інфраструктур. Гібридні та мультихмарні рішення, інтеграція ШІ, вдосконалення безпеки та зниження витрат роблять хмарні сервіси ще привабливішими. Однак, для успішного впровадження компаніям необхідно подолати виклики, пов'язані з безпекою, управлінням та залежністю від постачальників. Успішна інтеграція хмарних технологій потребує комплексного підходу, включаючи навчання персоналу, вибір надійних рішень та впровадження механізмів безпеки.

Висновки. Хмарні технології, за проведеним дослідженням, набувають все більшої популярності, причин для цього багато, але основними можна назвати зменшення витрат та відмовостійкість. Ці висновки зроблено на підставі проведених досліджень, результати яких наступні: впровадження та обслуговування хмари на 70% дешевша, ніж використання звичайного центра обробки даних; період простою хмарних сервісів дорівнює 2%, а період простою звичайного ЦОД дорівнював 15%, з цього можна зробити висновок, що хмарне середовище знаходиться у стані простою у 7 разів менше впродовж року.

Було розроблено нову методику переходу у хмарне середовище, згідно якої для успішного переходу у хмару потрібно розробити стратегію переходу. Хмарна стратегія має вирішальне значення для кожної організації, незалежно від того, де вона перебуває на своєму шляху до хмари.

В роботі було узагальнено та детально описано результати проведених досліджень та розроблено практичні рекомендації при впровадженні та використанні хмарних технологій.

Було виявлено що використання хмарних технологій скорочує операційні витрат на 70%, причинами цього є відсутність витрат на обслуговування апаратного забезпечення, оплати електроенергії та менший штат працівників.

Було описано метод розробки стратегії для впровадження хмарних технологій у комп'ютерних мережах, основні засади яких наступні:

– стратегія має бути чіткою та конструктивною;
– має бути стислим та зрозумілим документом;
– потрібно залучити технічних та бізнес радників для допомоги;
– потрібно чітко дотримуватись узгодженої стратегії;
– потрібно обрати тип майбутнього хмарного середовища.

Також методом аналітики наявних даних було доведено, основною загрозою при використанні хмари є самі клієнти так хакери, а не хмарний провайдер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. *National Institute of Standards and Technology Special Publication*, 2011. № 53, p. 1-7.

2. Foster Y., Zhao I., Raicu, S. Lu Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared. *Grid Computing Environments Workshop, Austin, TX, USA*, 2008. pp. 1-10.

3. Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph A. A View of Cloud Computing. *Commun. ACM*, 2010. № 53. P. 50-58.

4. Tawalbeh L., Haddad Y., Omar K., Aldosari F., Benkhelifa E. Efficient Software-Based Mobile Cloud Computing Framework. *Proceedings IEEE International Conference on Cloud Engineering*, 2015.

5. Rashid A., Chaturvedi A. Virtualization and its Role in Cloud Computing Environment. *International journal of computer sciences and engineering*, 2019. Vol. 7. P. 1131-1136

6. Haleplidis E., Jain R. Network Virtualization and Software Defined Networking for Cloud Computing: A Survey. *Communications Magazine,* 2015. № 51. p. 24-31.

7. Bhadauria R., Chaki R., Sanyal S. A Survey on Security Issues in Cloud Computing, 2014.

8. Singh G., Garg D. Data Security In Cloud Computing: A Review. *International journal of computers and technology*, 2018. № 17. P. 7206-7214.

9. Zhang Q., Cheng L., Boutaba R. Cloud Computing: State-of-the-art and Research Challenges. *Journal of Internet Services and Applications,* 2010. № 1. p. 7-18.

10. Kratzke N., Walker C. Cloud Computing Costs and Benefits. *Publisher: Springer New York*, 2013.

11. Marinos A., Briscoe G. Community Cloud Computing. *Proceedings Cloud Computing, First International Conference, CloudCom*, 2009. p. 472-484.

12. Prasad R., Choi E., Lumb I. (2009). A Taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems. *Proceedings 5th International Joint Conference on INC, IMS, and IDC*, 2009. p. 44-51.

13. S. Popereshnyak, A. Vecherkovskaya, V. Zhebka Intrusion Detection based on an Intelligent Security System using Machine Learning Methods. *CPITS*. 2024. p. 163-178.

14. Поперешняк С.В., Вєчерковська А.С., Хільченко М.Ю., Антоненко А.В. Хмарні технології як сервіси для оптимізації процесів адміністрування. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023. Вип. 6 с. 54-63.

15. Поперешняк С.В., Вєчерковська А.С. Дослідження розробки вимог до хмарних програм та сервісів. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2023. № 4 (87) с. 258-264.

REFERENCES:

1. Mell P., Grance T. (2011) The NIST Definition of Cloud Computing. *National Institute of Standards and Technology Special Publication*, № 53, p. 1-7.

2. Foster Y., Zhao I., Raicu, S. (2008) Lu Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared. *Grid Computing Environments Workshop, Austin, TX, USA*, pp. 1-10.

3. Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph A. (2010) A View of Cloud Computing. *Commun. ACM*, № 53. P. 50-58.

4. Tawalbeh L., Haddad Y., Omar K., Aldosari F., Benkhelifa E. (2015) Efficient Software-Based Mobile Cloud Computing Framework. *Proceedings IEEE International Conference on Cloud Engineering*.

5. Rashid A., Chaturvedi A. (2019) Virtualization and its Role in Cloud Computing Environment. *International journal of computer sciences and engineering*, Vol. 7. P. 1131-1136.

6. Haleplidis E., Jain R. (2015) Network Virtualization and Software Defined Networking for Cloud Computing: A Survey. *Communications Magazine,* № 51. p. 24-31.

7. Bhadauria R., Chaki R., Sanyal S. (2014) A Survey on Security Issues in Cloud Computing.

8. Singh G., Garg D. (2018) Data Security In Cloud Computing: A Review. *International journal of computers and technology*, № 17. P.7206-7214.

9. Zhang Q., Cheng L., Boutaba R. (2010) Cloud Computing: State-of-the-art and Research Challenges. *Journal of Internet Services and Applications,* № 1. p. 7-18.

10. Kratzke N., Walker C. (2013) Cloud Computing Costs and Benefits. *Publisher: Springer New York*.

11. Marinos A., Briscoe G. (2009) Community Cloud Computing. *Proceedings Cloud Computing, First International Conference, CloudCom*, p. 472-484.

12. Prasad R., Choi E., Lumb I. (2009) A Taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems. *Proceedings 5th International Joint Conference on INC, IMS, and IDC*, p. 44-51.

13. S. Popereshnyak, A. Vecherkovskaya, V. (2024) Zhebka Intrusion Detection based on an Intelligent Security System using Machine Learning Methods. *CPITS*. p. 163-178

14. Popereshnyak S.V., Vyecherkovs′ka A.S., Khil′chenko M.YU., Antonenko A.V. (2023) Khmarni tekhnolohiyi yak servisy dlya optymizatsiyi protsesiv administruvannya. Tavriys′kyy naukovyy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky, №. 6. p. 54-63

15. Popereshnyak S.V., Vyecherkovs′ka A.S. (2023) Doslidzhennya rozrobky vymoh do khmarnykh prohram ta servisiv. Visnyk Khersons′koho natsional′noho tekhnichnoho universytetu, № 4 (87) p. 258-264.

УДК 004.93
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.13

РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙ УЧАСНИКІВ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Савчук Т. О. *– кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету*
ORCID ID: 0000-0002-0061-6206

Пастух І. П. *– аспірант кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету*
ORCID ID: 0000-0003-1080-1736

У роботі описано актуальність задачі аналізу емоцій у відеокомунікаціях, підкреслено важливість розуміння настроїв учасників для поліпшення якості взаємодії у сучасному світі, де відеозустрічі стають нормою у бізнесі, освіті та особистих контактах. Ефективне розуміння емоцій сприяє адаптації комунікації, вирішенню конфліктів на ранніх стадіях та покращенню загального сприйняття взаємодії. Незважаючи на наявність потужних інструментів для розпізнавання емоцій, як FaceReader та Microsoft Oxford Project, їхня ефективність обмежена через фокусування виключно на аналізі виразів облич. Точність таких систем часто поступається через недоліки в розпізнаванні емоцій, що вимагає удосконалення методів аналізу. Робота пропонує новітній підхід до розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій через мультимодальний аналіз, що поєднує обробку фізичних характеристик голосу та виразів облич. Використання згорткових нейронних мереж дозволяє з високою точністю ідентифікувати емоційні стани, враховуючи різноманітні спотворення вхідних даних. Методика передбачає аналіз голосових даних, їх нормалізацію та перетворення у спектрограми для подальшої обробки нейронною мережею. Особлива увага приділяється процесу навчання мережі, що базується на методі градієнтного спуску, для підвищення точності розпізнавання емоцій. Результати експериментів демонструють перевагу запропонованого методу над існуючими програмними засобами, з підвищенням точності розпізнавання емоцій до 79%, що є значним поліпшення. Запропонований мультимодальний аналіз, що включає в себе комплексний підхід до аналізу звукових та візуальних характеристик, відкриває нові можливості для розвитку інструментів відеокомунікації та покращення міжособистісного спілкування. Висновки роботи підкреслюють значення інтегрованого підходу до розпізнавання емоцій, наголошуючи на потенціалі застосування згорткових нейронних мереж для ефективної обробки емоційних станів у реальному часі, що є ключовим для розширення можливостей відеокомунікацій.

Ключові слова: *розпізнавання емоцій, згорткові нейронні мережі, математична модель, відеоконференції, спектрограми, аналіз голосу.*

Savchuk T. O., Pastukh I. P. Participants emotion recognition in video conferences using multimodal analysis

The paper describes the relevance of the task of analyzing emotions in video communications, emphasizing the importance of understanding the moods of participants to improve the quality of interaction in the modern world, where video meetings are becoming the norm in business, education, and personal contacts. Effective understanding of emotions helps to adapt communication, resolve conflicts at early stages, and improve the overall perception of interaction. Despite the availability of powerful emotion recognition software such as FaceReader and Microsoft Oxford Project, their effectiveness is limited due to their focus on analyzing facial expressions alone. The accuracy of such systems is often inferior due to shortcomings in emotion recognition, which requires improved analysis methods. This paper proposes a novel approach to recognizing emotions of video conference participants through multimodal analysis that combines the processing of physical voice characteristics and facial expressions. The use of convolutional neural networks allows for high accuracy in identifying emotional states, taking into account various distortions of the input data. The technique involves analyzing voice data, normalizing it, and converting it into spectrograms for further processing by a neural network. Special attention is paid to the process of training the network based on the gradient descent

method to improve the accuracy of emotion recognition. Experimental results demonstrate the advantage of the proposed method over existing software tools, with an increase in emotion recognition accuracy of up to 79%, which is a significant improvement.

Key words: *emotion recognition, convolutional neural networks, mathematical model, video conferencing, spectrograms, voice analysis.*

Вступ. Задача аналізу емоцій учасників є актуальною у сучасному світі, де відеокомунікація стала стандартом для бізнесу, освіти та особистих взаємодій. Розуміння емоцій учасників допомагає покращити якість відеокомунікації [1]. Вивчення настроїв взаємодії людини з людиною може допомогти машинам ідентифікувати та реагувати на невербальне спілкування людини. Аналіз емоцій учасників відеоконференцій дає можливість ідентифікувати настрої людей, адаптуватись під них, та впливати, що у свою чергу позитивно відображається на загальній картині сприйняття відеоконференції за рахунок вирішення конфліктів та інших негативних ситуацій на початкових етапах їх утворення [2].

На даний момент існує велика кількість інструментів для розпізнавання емоцій, найпопулярнішими з яких є FaceReader та Microsoft Oxford Project Emotion Recognition. Зазначені інструменти мають потужний функціонал і високу точність розпізнавання у багатьох випадках [3, 4]. Проте, існуючі додатки мають не високу точність розпізнавання через те, що проводять розпізнавання лише по виразу обличчя. Отож, доцільним є підвищення точності при розпізнаванні емоцій учасників відеоконференцій, що дозволить отримувати кращі результати роботи.

Математична модель та удосконалений метод розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій з використанням мультимодального аналізу. Математичну модель процесу аналізу емоцій учасників відеоконференцій можна подати у такому вигляді.

$$f(b) = (p_1 + q_1, p_2 + q_2, \ldots, p_n + q_n)), \quad (1)$$

де $f(b)$ – найбільш ймовірна емоція на аналізуємому часовому інтервалі; b – блок звукового сигналу учасника відеоконференції довжиною в 1 секунду; $p_1, p_2, \ldots, p_n$ – ймовірність належності звукового сигналу до i-го класу емоції; $q_1, q_2, \ldots, q_n$ – ймовірність належності зображення обличчя до i-го класу емоції; e – функція, що повертає i-у емоцію яка має найбільшу ймовірність; n – кількість класів емоцій.

Для вирішення задачі розпізнавання емоцій за фізичними характеристиками голосу введемо блочний аналіз, що передбачає розбиття звукового сигналу спікера на блоки визначеної довжини, наприклад, 1 секунда, що дасть можливість аналізу коротких відрізків голосу учасників відеоконференції. Також проведемо нормалізацію значень амплітуди звуку в діапазоні від -1 до 1 для підвищення точності обробки сигналу. Загальний приклад розбиття голосового сигналу на блоки зображено на рисунку 1.

Для кожного блоку застосуємо алгоритм дискретного перетворення Фур'є, яке дає можливість визначити частотну складову дискретного сигналу [5].

Дискретне перетворення Фур'є голосового відбитку можна подати у матричному вигляді, яке у свою чергу може бути використане для утворення спектрограм вхідних голосових сигналів учасників відеоконференції короткої довжини для подальшого аналізу їх на емоційну забарвленість [5]. Отже, процес перетворення звукового сигналу учасників відеоконференції у спектрограму включає кроки, що представлені на рисунку 2.

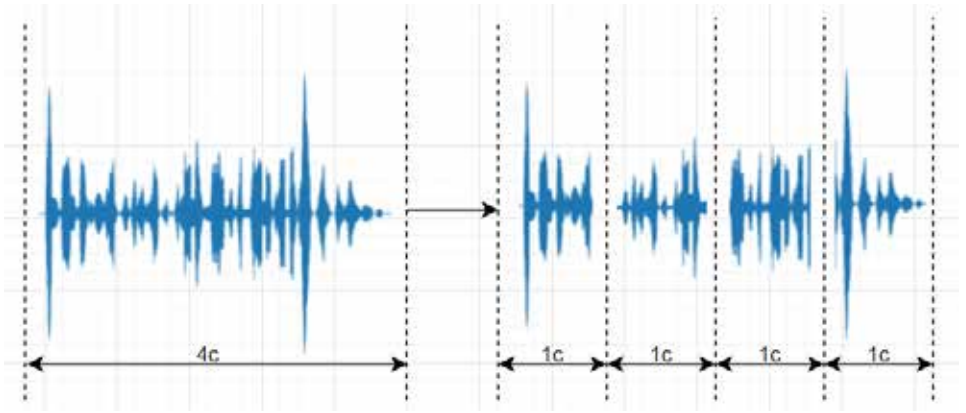


Рис. 1. Розбиття голосового сигналу на рівні блоки

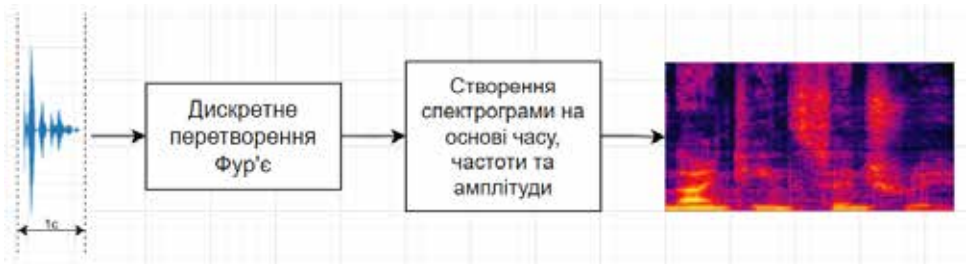


Рис. 2. Процес перетворення звукового сигналу учасників відеоконференції у спектрограму

Для вирішення задачі розпізнавання емоцій учасників відеоконференції на основі спектрограм їх голосу та зображення обличчя застосуємо метод згорткових нейронних мереж, який являє собою особливий клас багатошарового персептрона з двовимірною структурою і добре підходить для обробки зображень з високим ступенем інваріантності до зміщення, поворотів, масштабування та інших спотворень вхідних даних.

Структура згорткової нейронної мережі для задачі розпізнавання емоції людини за фізичними характеристиками голосу та виразом обличчя являє собою послідовність із двох типів шарів: згорткові, які виконують операцію згортки, та агрегувальні, які зменшують розмірність карт ознак обличчя та звукових характеристик за рахунок їх агрегування. Кожен шар складається з набору площин, які у свою чергу складаються з нелінійних нейронів [6].

Функціонування нелінійної моделі нейрону l можна описати такими рівняннями [4]:

$$u_l = \sum_{j=0}^{d} w_{lj} s_j, \tag{2}$$

де $s_1, s_2, \ldots, s_d$ – вхідні сигнали, ознаки або характеристики зображення спектрограми та обличчя; $w_1, w_2, \ldots, w_d$ – синаптичні ваги нелінійного нейрону l; u_l – лінійна комбінація ознак спектрограми та обличчя; d – кількість нейронів.

Кожен нейрон згорткового шару має зв'язок із невеликою групою нейронів попереднього шару (локальне рецептивне поле). Основною задачею згорткового шару є виявлення і витягнення важливих ознак з зображень спектрограм та облич, що сприяє покращенню точності класифікації емоцій. Фільтр згорткового шару рухається по вхідному зображенню і виконує поелементне множення з послідуючим сумуванням результатів, що визначається формулою [4]:

$$G[M,N]=\sum_{w}\sum_{z}h[w,z]g[M-w][N-z], \tag{3}$$

де $G[m,n]$ – вихідна матриця ознак спектрограм та облич; g – вхідне зображення спектрограми та обличчя; h – фільтр; M,N – розмір вхідного зображення; w,z – розмір фільтра.

Після згорткового шару розташовується агрегувальний шар, який забезпечує часткову інваріантність нейронної мережі до зміни масштабу вхідного зображення, що покращує точність розпізнавання емоцій. Основна мета агрегувального шару полягає в зменшенні розміру виходу попереднього згорткового шару та витягненні найважливіших ознак спектрограм та облич, зберігаючи при цьому інформацію про певні шаблони та характеристики зображення. Функціонування агрегувального шару визначається такою формулою:

$$a(v)_{i,j,o}=\left(v_{is_x+q,js_y+r,o}\right), \tag{4}$$

де v – вхідне зображення спектрограми чи обличчя після операції згортки; i,j – індекси виходу; o – індекс каналу; q,r – розмір фільтру ознак спектрограми та обличчя; s_x,s_y – значення кроку в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Таким чином, агрегувальний шар зменшує розмірність площин попереднього шару вдвічі, що зменшує обчислювальну складність виявлення ознак обличчя та характеристик звуку. Послідовно чергуючись один за одним, розміри площин зменшуються, але їхня кількість збільшується. Чергування шарів дозволяє формувати різні карти характеристик емоцій, що наділяє згорткові нейронні мережі здатністю до ідентифікації складніших ієрархічних ознак спектрограм та облич. Поступово під час проходження кількох шарів карта ознак емоцій вироджується у вектор. Таким чином, площини згорткових нейроних мереж є фільтрами, кожен з яких здійснює пошук індивідуальних характерних ознак вхідного зображення, які збільшують точність класифікації емоції. Це дозволяє згорткової нейронної мережі запам'ятовувати взаємозв'язок просторово-залежних областей зображення спектрограм та облич. Характерні ознаки емоцій, які отримують тій чи іншій площиною, визначаються у процесі навчання. Процес навчання згорткової нейронної мережі відбувається за допомогою методу градієнтного спуску [6].

Задачею навчання згорткової нейронної мережі є мінімізація значення середньоквадратичної похибки, що дозволяє моделі розпізнавати емоції на зображені з високою точністю.

Перевагами застосування згорткових нейронних мереж для вирішення задачі розпізнавання емоцій за фізичними характеристиками голосу та виразом облич є:

1. Здатність до роботи зі зображеннями: згорткові нейронні мережі оптимально підходять для обробки зображень завдяки своїм згортковим та пулінговим шарам. Вони можуть виявити шаблони, текстури та емоції на зображеннях.

2. Здатність до виділення важливих ознак: моделі вчаться виділяти важливі ознаки на зображеннях, такі як контури, кутові точки, текстури, форми тощо, що корисно для виділення емоцій.

3. Висока точність: згорткові нейронні мережі показують високу точність у завданні розпізнавання емоцій на зображеннях спектрограм та облич, за рахунок використання глибокого навчання та згорткових шарів.

4. Інваріантність до зсувів та масштабування: згорткові шари виявляють шаблони емоцій незалежно від їх положення на зображенні, що робить модель інваріантною до невеликих зсувів та змін масштабу.

Наведений математичний підхід може бути реалізовний удосконаленим методом розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій, що включатиме об'єднання етапів розпізнавання емоцій учасників за фізичними характеристиками голосу та розпізнавання емоцій учасників за виразом обличчя.

Загальний алгоритм розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій за фізичними характеристиками голосу зображений на рисунку 3, буде містити такі кроки:

1. Отримання медіа даних голосу учасника відеоконференції.
2. Розбиття звукового сигналу на блоки рівної довжини.
3. Нормалізація значень амплітуди звуку в діапазоні від -1 до 1.
4. Застосування алгоритму дискретного перетворення Фур'є до звукових блоків.
5. Створення спектрограм звукових блоків.
6. Обробка спектрограм згортковою нейронною мережею.
7. Вибір найбільш ймовірної емоції.

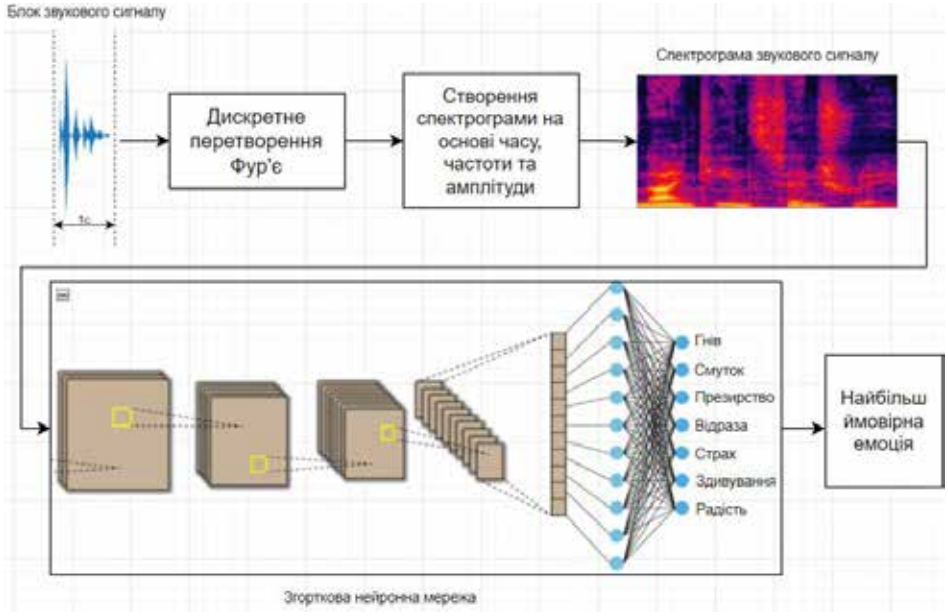


Рис. 3. Основні кроки алгоритму розпізнавання емоцій учасників відеоконференції за фізичними характеристиками голосу

Загальний алгоритм розпізнавання емоцій учасників відеоконференції за виразом обличчя зображений на рисунку 4, буде містити такі кроки:

1. Отримання зображення учасника відеоконференції.
2. Нормалізації зображення.
3. Розпізнавання обличчя
4. Виділення обличчя з зображення.
5. Обробка зображеня обличчя згортковою нейронною мережею.
6. Вибір найбільш ймовірної емоції.

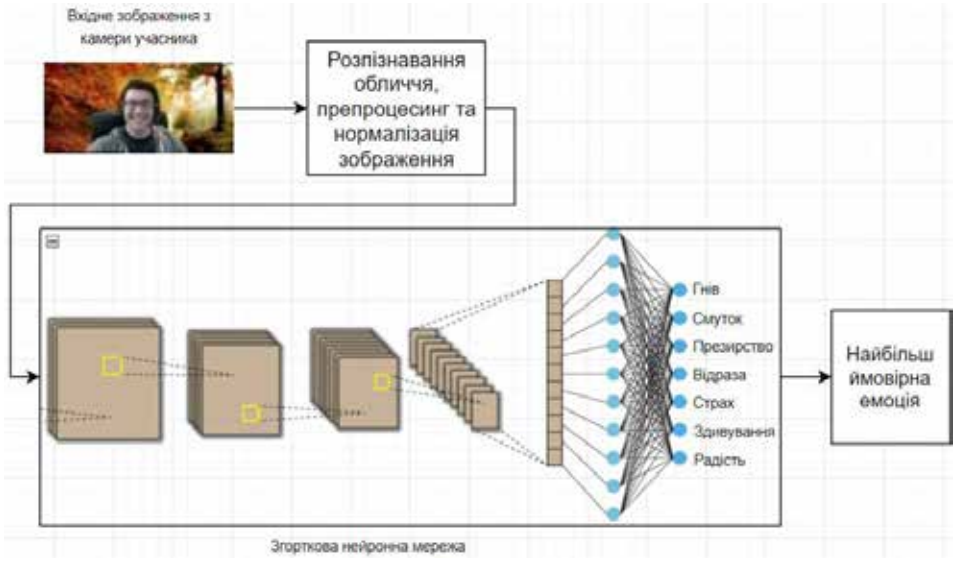


Рис. 4. Основні кроки алгоритму розпізнавання емоцій учасників відеоконференції за виразом обличчя

З метою підвищення точності розпізнавання емоцій було об'єднано алгоритм розпізнавання емоцій за фізичними характеристиками голосу та алгоритм розпізнавання емоцій на основі виразу обличчя в удосконалений метод розпізнавання емоцій учасників конференції. Такий мультимодальний аналіз з урахуванням описаних алгоритмів представлено на рисунку 5.

Результати досліджень. Було проведено аналіз результатів роботи розпізнавання емоцій з використанням сучасних програмних засобів, що базуються на відповідних методах, та з використанням мультимодального аналізу. Для доведення факту досягнення поставленої у роботи мети, а саме – підвищення точності розпізнавання – було проведено 100 експериментів, кожен з яких передбачав різну кількість учасників відеоконференції, різні комбінації ввімкнення та вимкнення камер, різні голосові та візуальні емоції. Середні значення отриманих результатів наведено у таблиці 1.

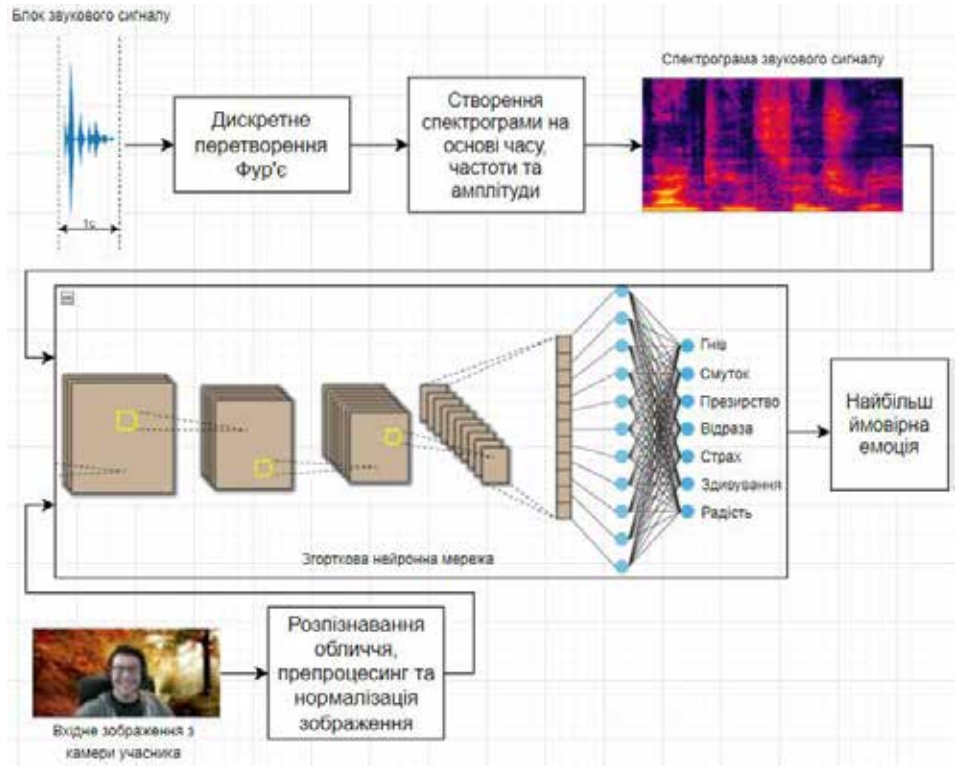


Рис. 5. Удосконалений метод розпізнавання емоцій учасників відеоконференції з використанням мультимодального аналізу

Таблиця 1

Результати аналізу розпізнавання емоцій з використанням сучасних програмних засобів та з використанням мультимодального аналізу

Програмний засіб	Відсоток розпізнаних емоцій	Точність розпізнавання емоцій
FaceReader	62%	74%
MOPER	62%	71%
Розроблена технологія	100%	79%

Із таблиці 1 видно, що відсоток розпізнаних емоцій у програм-аналогів є нижчою на 38% порівняно із відсотком розпізнаних емоцій з використанням запропонованої технології, що базується на мультимодальному аналізі фізичних характеристик голосу учасника та виразу обличчя. При цьому, точність розпізнавання емоцій складає 79%, що на 5-8% вище за результати роботи програм-аналогів. Це відкриває нові можливості для розвитку інструментів відеокомунікації та покращення міжособистісного спілкування.

Висновки. Отже, у роботі була запропонована математична модель та удосконалений метод розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій, що базується

на мультимодальному аналізі, який включає в себе розпізнавання за допомогою звукових характеристик голосу та виразу обличчя. Запропонована технологія передбачає використання згорткових нейронних мереж, що дає можливість розпізнавати емоції з високою точністю. Було розглянуто математичну модель розпізнавання емоцій за фізичними характеристиками голосу та за виразом обличчя. Розглянуто процес розбиття звукового сигналу на блоки, перетворення звукових блоків у спектрограми, функціонування згорткових нейронних мереж, згорткові та агрегувальні шари, процес навчання мережі для збільшення точності виявлення емоцій на зображеннях. Наведено математичну модель роботи нейронних мереж, шару згортки та агрегувального шару, що дозволить виявляти емоції на зображеннях спектрограм з високою точністю за рахунок використання глибокого навчання та згорткових шарів, які автоматично виявляють і витягують важливі ознаки з зображень спектрограм та агрегувальних шарів, які зменшують розмірність зображення при збереженні найважливіших ознак та шаблонів обличчя. Мету дослідження було досягнуто за рахунок використання мультимодального аналізу, який включає в себе розпізнавання за допомогою звукових характеристик голосу та виразу обличчя, і використання згорткових нейронних мереж. Удосконалений метод розпізнавання емоцій учасників конференції показав 79% правильно розпізнаних емоцій, що на 5-8% вище за результати роботи програм-аналогів. Наведений метод дозволяє точніше ідентифікувати настрої людей, що дає можливість адаптуватись під них та впливати, що у свою чергу позитивно відображається на загальній картині сприйняття відеоконференції за рахунок вирішення конфліктів та інших негативних ситуацій на початкових етапах їх утворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ekman, P. Basic emotions. Handbook of cognition and emotion, 1999. 45-60.
2. Fredrickson, B. L. The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. American psychologist, 2001. 56(3), 218-226.
3. Facereader. URL: https://www.noldus.com/facereader
4. Happy? Sad? Angry? This Microsoft tool recognizes emotions in pictures. URL: https://blogs.microsoft.com/ai/happy-sad-angry-this-microsoft-tool-recognizes-emotions-in-pictures/
5. Understanding Audio data, Fourier Transform, FFT and Spectrogram features for a Speech Recognition System. URL: https://towardsdatascience.com/understanding-audio-data-fourier-transform-fft-spectrogram-and-speech-recognition-a4072d228520
6. Савчук Т. О., Пастух І. П. Розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій в Microsoft Teams. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 6. С. 18-24. https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.3

REFERENCES:

1. Ekman, P. (1999). Basic emotions. Handbook of cognition and emotion, 45-60.
2. Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. American psychologist, 56(3), 218-226.
3. Noldus (electronic journal) Facereader. Retrieved from: https://www.noldus.com/facereader (accessed 29 August 2022).
4. Microsoft (electronic journal) Happy? Sad? Angry? This Microsoft tool recognizes emotions in pictures. Retrieved from: https://blogs.microsoft.com/ai/happy-sad-angry-this-microsoft-tool-recognizes-emotions-in-pictures/ (accessed 30 August 2022).

5. Towards Data Science (electronic journal) Understanding Audio data, Fourier Transform, FFT and Spectrogram features for a Speech Recognition System [Electronic journal] Retrieved from: https://towardsdatascience.com/understanding-audio-data-fourier-transform-fft-spectrogram-and-speech-recognition-a4072d228520

6. Savchuk T. O., Pastukh I. P. (2023). RECOGNIZING THE EMOTIONS OF PARTICIPANTS IN VIDEO CONFERENCES IN MICROSOFT TEAMS. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences, (6), 18-24. https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.3

УДК 664
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.14

РОЗРОБКА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВЕББАЗОВАНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ВЕЛИКИХ БАЗ ДАНИХ

Свічко Т. О. *– аспірант, викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця*
ORCID ID: 0009-0007-1303-6319

Гордєєв А. С. *– доктор технічних наук, професор,*
професор кафедри мультимедійних систем і технологій
Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця
ORCID ID: 0000-0002-9601-6220

Серед мультимедійних інформаційних веборієнтованих систем на сьогодні все більш значне місце займають саме навчальні мультимедійні інформаційні системи. Тому, при розробці методу проєктування такого підкласу існує потреба у створенні інструментів для інтеграції та використання мультимедійних баз даних для таких систем. З розвитком мультимедійних технологій відкриваються нові можливості підвищення якості викладання в університетах. Цьому також сприяє розвиток технологій обробки великих баз даних. Технологія великих даних дозволяє збирати і аналізувати величезні обсяги даних, що генеруються в ході навчального процесу, що дає змогу більш глибоко розуміти педагогічну діяльність. Однак витяг корисної інформації з цих величезних обсягів даних та перетворення її в стратегії покращення викладання є непростим завданням. Окрім корисності самої інформації, слід враховувати когнітивні здібності учнів, а саме їх соціотип.

Метою дослідження є розробка методу моніторингу та покращення якості викладання, заснованого на технології великих даних, який поєднує алгоритм кластеризації K-середніх та алгоритм врахування індивідуальних особливостей студентів. Щоб впоратися з цими проблемами, в цій роботі пропонується метод дослідження технології великих даних, заснований на спільному алгоритмі кластеризації K-середнього та алгоритмі інтелектуального аналізу когнітивних особливостей учнів. Такий підхід може значно підвищити ефективність формування необхідних компетентностей у студентів за рахунок формування індивідуальних траєкторій навчання.

Ключові слова: *великі бази даних, навчання, соціотип, кластеризація, мультимедійні технології, мультимедійні інформаційні системи, методи використання і налаштування баз даних, методи розробки.*

Svichko T. O., Hordieiev A. S. Development of multimedia information web-based educational systems using big data technology

Among multimedia web-based information systems, educational multimedia information systems are increasingly taking a significant place today. Therefore, in the development of a design method for this subclass, there is a need to create tools for the integration and use of multimedia databases for such systems.

With the development of multimedia technologies, new opportunities arise for improving the quality of teaching in universities. This is also facilitated by the development of big data processing technologies. Big data technology allows for the collection and analysis of vast amounts of data generated during the educational process, which provides a deeper understanding of pedagogical activities. However, extracting useful information from these massive data volumes and transforming it into strategies for improving teaching is a challenging task. In addition to the usefulness of the information itself, it is essential to consider the cognitive abilities of learners, specifically their sociotypes. The aim of the study is to develop a method for monitoring and improving the quality of teaching based on big data technology, combining the k-means clustering algorithm and an algorithm for accounting for the individual characteristics of students. To address these issues, this paper proposes a method for researching big data technology, based on the combined k-means clustering algorithm and the algorithm for cognitive feature analysis

of learners. This approach can significantly improve the effectiveness of forming the necessary competencies in students by creating individualized learning trajectories.

Key words: *big data, learning, sociotype, clustering, multimedia technologies, multimedia information systems, database usage and configuration methods, development methods.*

Постановка проблеми. Останніми роками швидкий розвиток технологій великих даних справив революційний вплив на сферу освіти. Поштовхом до цього стала епідемія COVID-19, коли навчальний процес масово перейшов на дистанційну форму навчання. Використання сучасних інформаційних технологій в університетах на сьогодні важко переоцінити. Існуючі бази знань дозволяють викладачам розробляти курси, адаптовані не тільки до предметної області, але й з урахуванням когнітивних особливостей учнів.

Студенти, зі свого боку, мають можливість самостійно отримувати додаткову інформацію через Інтернет.

Починаючи з кінця 90-х років, коли вперше з'явилася концепція електронного навчання [21], популярність цієї форми здобуття знань зросла настільки швидко, що зміни та трансформації стали називати «революцією електронного навчання».

На межі XX і XXI століть освітні установи почали дедалі ширше впроваджувати онлайн-курси. Бізнес також став усе сміливіше використовувати електронне навчання для підготовки своїх співробітників або розширення їхніх компетенцій. Завдяки підтримці розробників серед програмування лідери знань з часом змогли проводити навчання дедалі інноваційнішим способом.

На жаль, така форма навчання виявила недоліки та слабкі сторони використовуваних інструментів і методів [3,8]. Однією з областей, де через відсутність стаціонарної освіти довелося зіткнутися з чималими труднощами, стали інженерні науки, де теоретичні знання і, що важливо, практичний досвід необхідні студенту для досягнення відповідного рівня освіти [6].

Іншою слабкою стороною сучасного онлайн-навчання є наявність великої кількості різнорідного матеріалу у всесвітній павутині, що вимагало розробки технологій обробки великих даних. Використовуючи відповідні технології, численні експерти та науковці провели поглиблені дослідження технологій великих баз даних. Була запропонована нова ефективна мережева інформаційна модель [10]. Результати цього дослідження показують, що якість навчання можна значно покращити за рахунок оптимізації інформаційної моделі, яка забезпечує орієнтир для покращення моніторингу якості викладання та методів покращення моделі комплексної оцінки.

Ще однією слабкою стороною електронного навчання є людський фактор, а саме соціотип учня. Були проведені дослідження, у яких відстежувалася варіабельність серцевого ритму учнів у класі [11], оцінювався ефект навчання шляхом аналізу змін емоцій студентів [12], що надало важливу інформацію для оцінки якості викладання.

Проведений аналіз наукових робіт, пов'язаних із використанням мультимедійного контенту для побудови навчальних матеріалів, з технологіями обробки великих баз даних та оцінки когнітивних особливостей учнів, показав, що всі ці дослідження не пов'язані між собою. Технологія інтелектуального аналізу даних – це міждисциплінарна область досліджень, яка включає в себе такі галузі, як бази даних, статистичні знання, інженерія знань, системи пошуку інформації та багато іншого.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі цифрової інформації існує безліч електронних продуктів, кожен з яких прагне привернути та

утримати увагу аудиторії. Однак визначення того, що робить контент на цих сайтах ефективним, є складним завданням через широкий спектр факторів, що впливають на залученість користувачів та досягнення бізнес-цілей. При цьому головною проблемою розробки мультимедійних продуктів є необхідність комплексного підходу до оцінки ефективності контенту, що включає аналіз візуальної привабливості, залученості користувачів, технічної ефективності та оптимізації для пошукових систем.

У статті [2] розглядаються методи комплексної оцінки ефективності контенту мультимедійних сайтів, засновані на аналізі ієрархій Сааті. Запропонований підхід об'єднує критерії юзабіліті, дизайну, веб-аналітики та контент-маркетингу, забезпечуючи багатовимірну взаємодію користувачів з контентом. Застосування аналізу ієрархій Сааті дозволяє визначати відносну вагомість кожного фактора та виявляти ключові показники успішності, які можуть бути використані для оптимізації стратегій контенту з метою підвищення конверсії та покращення загального користувацького досвіду.

Особливістю мультимедійних технологій, що відрізняються від традиційних обчислювальних та інформаційних технологій [3], є те, що вони є комплексною технологією, яка охоплює багато аспектів із значною технічною інтеграцією та міждисциплінарністю. Ефективна обробка мультимедійного контенту вимагає використання великих баз даних.

Мультимедійні технології змінюють стиль взаємодії між комп'ютером та людиною. З розвитком Інтернету мультимедійні застосунки, такі як освітнє програмне забезпечення, застосунки електронної комерції та відеоігри, мали значний вплив на те, як люди мислять і використовують комп'ютери. Однією з найважливіших технологій для підтримки цих застосунків є розподілена система управління мультимедійними базами даних (MDBMS) [4].

Автори розглядають питання досліджень та сучасні технології MDBMS з точки зору мультимедійних презентацій. Мультимедійні презентації широко використовуються у різних формах, від доставки інструкцій до реклами та електронної комерції, а також у різних архітектурах програмного забезпечення, від автономного комп'ютера до локального мережевого комп'ютера та серверів World Wide Web. Ці різновиди архітектур призводять до різної організації MDBMS.

Системи баз даних мультимедіа (MMDBMS) організовують та зберігають мультимедійні дані для пошуку на основі контенту [5]. Ці системи покладаються на моделі мультимедійних даних, що представляють високо- та низькорівневу абстракцію об'єктів мультимедіа для полегшення різних операцій, наприклад, вставки, індексації, запиту та пошуку [22]. У минулому було запропоновано багато моделей, які відображають потреби користувачів та розробників баз даних. Однак ці моделі виявляють важливі недоліки: вони або обмежені використанням одного виду мультимедійних даних (наприклад, підтримуються лише зображення), або можливостями семантичного моделювання (наприклад, можна ввести лише ключове слово для опису контенту).

Традиційні алгоритми пошуку мультимедіа можна розділити на три категорії: текстові, контентні та семантичні. Текстові алгоритми легко реалізувати, і вони широко використовуються в традиційному пошуку мультимедіа. Інтерфейс простий і зручний в експлуатації. Користувачам потрібно вводити лише ключові слова, а пошукова система шукає і повертає документи, що містять ключові слова в навколишньому тексті [12]. Алгоритми на основі ключових слів підтримують гетерогенний пошук мультимедіа; однак, ключові слова не можуть точно описати

наміри запиту і, як правило, занадто короткі для опису контенту мультимедіа [23]. Таким чином, результат може містити значну кількість шуму.

Іншим традиційним підходом до пошуку мультимедіа є алгоритм на основі контенту [13]. У підході на основі контенту користувачі надсилають зразки мультимедіа, і пошукова система шукає мультимедійні документи у базі даних, використовуючи вилучення ознак і вимірювання схожості. Як правило, алгоритми на основі контенту вимагають більше обчислювальних ресурсів. Намір запитів користувачів не може бути добре описаний у цьому підході, і оскільки різні типи мультимедійних даних мають різні формати, складно підтримувати вилучення різнорідних мультимедійних даних.

Традиційний погляд на пошук великих мультимедійних даних як на текстовий або контент-центрований поступово стає семантично орієнтованим [14]. При такому підході семантична інформація генерується на основі користувачів або постачальника контенту. Потім семантична інформація представляється певними структурами даних. Останні дослідження посилаються на методи, засновані на онтологіях [15]. У підході на основі семантики семантичні анотації мультимедійних документів перетворюються в онтології, і механізм виконує пошук на основі алгоритмів зіставлення онтологій. Однак цей підхід має такі недоліки: анотування мультимедійних документів є складним, а семантична інформація може бути втрачена при копіюванні або переміщенні документів.

Широкого розповсюдження набула розробка мультимедійних навчальних продуктів (сайтів, застосунків, тестів). Мультимедійна система навчання включає в себе багато інформації, такої як текстові та графічні матеріали, діаграми, різні анімаційні, звукові та відеодані, необхідні в процесі навчання [16, 17]. Використання баз даних в освіті включає персоналізоване навчання, систему адаптивного навчання та аналіз тенденцій [18, 19, 20]. Персоналізоване навчання та адаптивна система навчання є кінцевими цілями застосування великих даних. Шляхом збору, аналізу та обробки великих даних створюються умови для персоналізованого навчання і створення адаптивного середовища навчання. Аналіз даних дозволяє прогнозувати тенденції та результати навчання.

На сучасному етапі розробки навчально-методичних матеріалів педагоги стикаються з необхідністю обробки великого обсягу інформації. При цьому виникають такі проблеми, як різнорідність інформації в мережі, відсутність персоналізованих стратегій навчання, відсутність міждисциплінарних досліджень та багато інших проблем.

Мета статті. Метою статті є розробка методу побудови мультимедійних навчальних комплексів на основі технології великих баз даних та врахування соціотипу учнів. Створити інструментарій для проектування та подальшої підтримки баз даних інформаційних систем навчального призначення.

Кластеризація неструктурованих даних. У сучасну епоху, коли дані правлять світом, інформація стає важливим нематеріальним активом і ключовим фактором. В умовах цифрового навчання вона включає як структуровані дані, представлені текстами, так і напівструктуровані дані, представлені вебсайтами. Наразі мало уваги приділяється неструктурованим або напівструктурованим даним, хоча вони часто містять важливу інформацію, що формує стиль навчання.

Ідеальний стан – зібрати всю інформацію та забезпечити повноту даних. Крім того, сучасне сховище даних стикається з двома проблемами: по-перше, учні генерують великі обсяги даних у процесі навчання, і частка напівструктурованих і неструктурованих даних зростає; по-друге, реляційні бази даних не підходять

для зберігання структурованих даних, що не відповідають вимогам. Нереляційні бази даних (NoSQL) погано зчитуються і записуються в режимі реального часу, не можуть виконувати складні операції SQL, особливо запити, пов'язані з кількома таблицями, та інші недоліки. Таким чином, ефективна інтеграція цих двох систем є необхідною вимогою для зберігання даних в умовах великих даних.

У літературних джерелах зазначається, що дані, отримані за допомогою технології аналізу великих баз даних, стосуються інформації та знань, які люди не знають, але вони мають певне значення, і ці знання вилучаються [11]. Весь процес інтелектуального аналізу включає в себе постановку завдання, збір даних, попередню обробку даних, реалізацію інтелектуального аналізу даних, а також інтерпретацію та дослідження результатів інтелектуального аналізу даних [12].

Запропонований у цій роботі метод дозволяє використовувати інформацію з великих баз даних і формувати навчальні матеріали з урахуванням соціотипу учнів. Для поділу учнів на групи застосовувався кластерний аналіз, а саме метод [k-середніх].

Шляхом кластеризації схожих даних виявляються відмінності та характеристики між різними кластерами, що дозволяє завершити оцінку різних показників моніторингу. Метод [k-середніх] використовує принцип схожості даних для диференціації об'єктів різних класів і збільшення відстані між ними.

Для визначення відстані між кластерами використовується евклідова відстань

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \left(x_i - y_i\right)^2}, \tag{1}$$

де d – евклідова відстань; x_i и y_i – вибіркові значення.

У процесі кластеризації на кожній ітерації необхідно перераховувати центроїди кластеризації за рівнянням

$$C_i = \frac{1}{|c_i|} \sum x_i, \tag{2}$$

де C_i означає центр кластеризації.

Процес ітерації завершується, коли ітерації досягають максимального значення, меншого за порогове значення. У поєднанні з рівняннями (1) і (2) виявлено, що в процесі аналізу показників моніторингу та оцінки даних алгоритм k-середніх перебирає всі об'єкти даних і класифікує кластери класів за кількістю ітерацій.

Після отримання класифікації кластерів класів виконується ітерація циклу та виводяться результати, якщо цільова функція забезпечує збіжність. Рівняння (3) виражає цільову функцію для дослідницького застосування

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x_i} \left(x_i - \overline{x_i}\right)^2, \tag{3}$$

тут $\overline{x_i}$ означає середнє значення вибірки.

Більше значення цільової функції в процесі кластеризації вказує на те, що схожість у кластерах його класів є нижчою, і навпаки, схожість у кластерах його класів є вищою.

Шляхом попереднього аналізу результатів кластеризації встановлено, що для отримання високоточних результатів моніторингу під час кластерного аналізу соціотипів учнів необхідно встановити метод оцінки змінних параметрів високої розмірності. Змінні параметрів у даному випадку включають стандарти на освітні програми, статус навчання студентів, результати іспитів тощо.

Ці параметри використовуються для побудови потоку даних конвергентних змінних показників.

$$x_n = x\left(t_0 + n\Delta t\right) + \omega_n, \tag{4}$$

де x – конкретне значення вибірки; t_0 – момент початку потоку даних; n – кількість ітерацій; Δt – величина зміни потоку даних у часі; ω_n – функція виявлення зсуву оцінки.

Після отримання потоку багатовимірних даних можна виконати кореляційне злиття для розрахунку вектора рішення індексу оцінки кластерів. Підмножина навчання отримується на основі вектора рішення, який має відповідати таким обмеженням.

$$\bigcup_{i=1}^{L} S_i = V - \varepsilon_i, \tag{5}$$

де L – крок ітерації, V – значення вектора; ε_i – значення власного вектора.

Після врахування конвергенції виявляється, що кластеризація схильна до локальних оптимальних рішень, тому в дослідженні представлено метод кількісного рекурсивного аналізу, який здатен забезпечити підтримку даних для прийняття рішень шляхом кореляційної кластеризації, яку можна використовувати для побудови цільової функції

$$F\left(a\right) = \left(SP, AB, LB, IH, DP\right), \tag{6}$$

де SP – якість навчальних матеріалів; AB – успішність учнів; LB – успішність учнів; IH – залученість; DP – частота взаємодії.

У просторі багатовимірних ознак шляхом об'єднання великих даних можна знайти взаємозв'язок показників якості навчальних матеріалів та рівня засвоєння знань. Нижченаведене рівняння виражає отримане значення кількісних рекурсивних ознак у процесі спостереження та оцінки навчальної діяльності і може бути оцінене кількісно на основі індексного зв'язку.

$$x_a = a_0 + \sum_{i=1}^{k} a_i x_{n-i} + \sum_{j=0}^{k} b_{n-j}, \tag{7}$$

де a_0 – амплітуда вибірки під час початкового процесу контрольної оцінки, x_{n-i} – значення часової послідовності скаляра під час процесу оцінки; b_{n-j} – значення затухання в процесі контролю та оцінки навчального процесу.

Використовуючи великі бази даних і поділ учнів на соціотипи, можна отримати достовірні вхідні дані для оцінки формування освітніх компетентностей та ефективної оцінки якості навчальних матеріалів.

Методологія експериментальних досліджень. Для виявлення соціотипу студентів першого, другого і третього курсів спеціальності 186 – «Поліграфія та видавнича справа» було розроблено анкету, побудовану на основі поглядів на структуру інтелекту, викладених у теорії Говарда Гарднера [1].

Групування соціотипів здійснювалося за кластерами:

А) лінгвістичний;

Б) математико-логічний;

В) візуально-просторовий;

Г) кінестетичний;

Д) аудіали.

Формальна постановка задачі кластеризації виглядає наступним чином: нехай X – множина об'єктів, Y – множина номерів кластерів. Задана функція відстані між

об'єктами $p(x, x')$. Існує кінцева навчальна вибірка об'єктів $X^m = \{x_1 \cdots x_m\} \in X$. Необхідно розбити вибірку на неперетинні підмножини, названі кластерами, так, щоб кожен кластер складався з об'єктів, близьких за метрикою p, а об'єкти різних кластерів суттєво відрізнялися. При цьому кожному об'єкту $x_i \in X^m$ приписується номер кластера y_i. Алгоритм кластеризації – це функція $a : X \to Y$, яка будь-якому об'єкту $x \in X$ ставить у відповідність номер кластера $y \in Y$. Множина Y в нашому випадку відома заздалегідь (А, Б, …, Д).

Загальний алгоритм кластеризації з використанням алгоритму k-середніх можна представити в такому вигляді:

1) випадково сформувати початкове наближення центрів усіх кластерів $y \in Y$. Як центри можна взяти найбільш віддалені один від одного об'єкти вибірки μ_y;

2) віднести кожен об'єкт вибірки до найближчого центру:

$$y_i := argmin\, p(x_i, \mu_i) \tag{8}$$

3) обчислити нове положення центрів:

$$\mu_i := \frac{\sum_{i=1}^{t} [y_i = y] f_i(x_i)}{\sum_{i=1}^{t} [y_i = y]} \tag{9}$$

4) продовжувати обчислення, доки y_i не перестануть змінюватися.

Результати експерименту. Анкетування проводилося на 1 – 3 курсах. В експерименті взяли участь 148 студентів.

Обробка отриманих даних проводилася методом k-середніх. При цьому кожен об'єкт xi розподіляється по всіх кластерах з ймовірностями pi. В алгоритмі k-середніх кожен об'єкт жорстко приписується лише до одного кластера.

Експеримент виявив таке розподілення студентів за соціотипами (рис. 1).

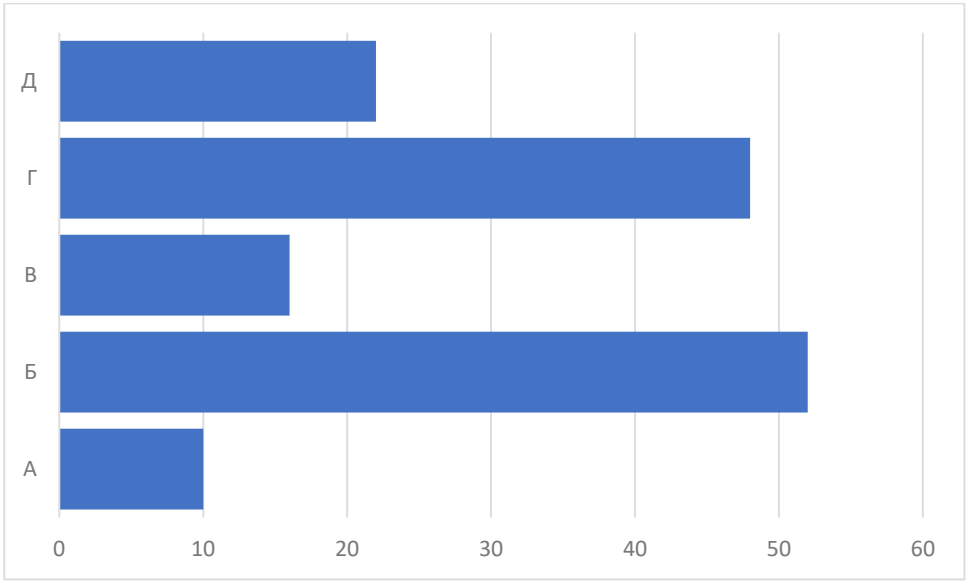


Рис. 1. Розподіл студентів за соціотипами

Аналізуючи належність елементів вибірки до кластерів, можна відзначити наступне:

кластер А (7%) представлений лінгвістичним типом. Студенти цього типу люблять писати, читати і слухати. Їм подобається розповідати історії. Вони добре запам'ятовують дати, імена та іншу інформацію. Мають хорошу вимову, багатий словниковий запас, люблять розгадувати кросворди, грати в «слова». Рекомендовані види діяльності: доповіді, хорове читання, усні відповіді, рольові ігри та інше;

кластер Б (35%) представлений математико-логічним типом. Представники цього типу швидко вирішують арифметичні задачі, обожнюють аналізувати дані, будувати прогнози. Вони віддають перевагу грі в шахи, «стратегічні» ігри. Швидко розпізнають причини і наслідки. Рекомендовані види діяльності: побудова логічних ланцюжків, графіків, різного роду експерименти та інше;

кластер В (11%) представлений візуально-просторовим типом. Люди цього типу мислять образами і «картинками». Обожнюють малювати, фарбувати, ліпити. Вони добре сприймають карти і діаграми. Люблять спостерігати за рухом, а також розглядати слайди і фотографії. Рекомендовані види діяльності: малювання схем, карт, складання таблиць, розфарбовування та інше;

кластер Г (32%) представлений кінестетичним типом. Представники цього типу найкраще навчаються, рухаючись, торкаючись і маніпулюючи предметами. Вони ерзають, встають, крутяться, коли сидять. Під час розмови з людьми люблять торкатися до них. Вони – хороші майстри. Рекомендовані види діяльності: рольові ігри, рухові вправи, спорт, ліпка, танці та інше;

кластер Д (15%) представлений аудіалами. Ці студенти чутливі до різноманітних звуків у навколишньому середовищі. Вони люблять грати на музичних інструментах, добре запам'ятовують мелодії. Їм подобається виконувати завдання під музичний супровід. Вони мають добре розвинене почуття ритму. Рекомендовані види діяльності: спів, хорове читання, рухові вправи та інше.

Результати проведеного дослідження підтверджують необхідність застосування андрагогічного підходу до навчання. У цьому випадку завдання педагога полягає в тому, щоб створити для учнів сприятливі умови для навчання, забезпечити їх необхідними методами та критеріями, які допомогли б визначити їхні потреби в навчанні. Навчальні програми повинні бути побудовані на основі можливого застосування їх у житті, а послідовність і час вивчення цих програм повинні визначатися не тільки системними принципами, але й готовністю студентів до подальшого навчання. Основою організації процесу навчання в цьому контексті стає його індивідуалізація на основі індивідуальної програми, яка переслідує індивідуальні, конкретні цілі навчання кожного учня.

Практична реалізація. Розроблена модель формування мультимедійної навчальної системи з урахуванням соціотипів учнів (рис. 2) містить наступні підсистеми.

1. Підсистема функції оцінки.

Підсистема оцінки включає в себе функціональні модулі, такі як інтерактивне обговорення, цілі навчання, попереднє тестування, тестування процесу, тести за темами, поточні оцінки та інші функціональні модулі. Цілі навчання полягають у визначенні методів навчання, прогресу навчання, критеріїв оцінки тощо у формі спільного обговорення учнями та викладачами. З одного боку, це дозволяє учням обрати індивідуальну траєкторію навчання. З іншого боку, шляхом укладання договору, система заохочує та контролює учнів. Попереднє тестування

може перевірити наявну базу знань учня та слугувати діагностичною оцінкою. Його також можна використовувати як основу для визначення групи для навчальної співпраці (обговорення взаємодії), а також порівнювати з результатами позакласного тестування для визначення приросту знань учня. Процес тестування під час навчання сприяє своєчасному виявленню проблем та недоліків учнів, що дозволяє вчасно коригувати та вдосконалювати навчальний процес. Тестування процесу навчання фокусується на оволодінні учнями вивченим матеріалом, узагальнює результати попередніх та процесуальних тестів, розкриває зв'язок між темами та надає учням персоналізовані пропозиції та ресурси. Наприкінці курсу проводиться підсумкове тестування. Завдяки інтерактивному обговоренню учні та інші учасники формують складну навчальну мережу, в якій учні можуть ділитися навчальними ресурсами, обмінюватися ідеями або обговорювати певні проблеми.

2. Підсистеми збору та зберігання даних.

Підсистема збору та зберігання даних складається з чотирьох основних частин: збору даних, очищення даних, перетворення даних та гібридної системи зберігання даних. Розроблена система використовує комбінацію реляційної бази даних та бази даних NoSQL для досягнення змішаного зберігання даних у гібридній системі зберігання, реляційної бази даних Oracle SQL Developer MySQL, тоді як NoSQL використовує MongoDB.

3. Підсистема аналізу.

Підсистема аналізу є основною частиною всієї системи і в основному включає в себе дві бази даних і три види технологій обробки даних. Серед них дві бази даних відносяться до бази даних результатів і стандартної бази даних: стандартна база даних являє собою набір різних індексів оцінки та критеріїв оцінки; база даних результатів в основному має три джерела: одне – це дані, які не потребують обробки (наприклад, оцінки, тривалість тощо). Результат технічної обробки, такий як інтелектуальний аналіз освітніх даних, аналіз соціальних мереж та семантичний аналіз. Третє джерело – результат прямого порівняння з еталоном у базі еталонів. Три види технологій обробки даних: інтелектуальний аналіз освітніх даних, аналіз соціальних мереж і технологія семантичного аналізу. Інтелектуальний аналіз освітніх даних в основному використовується для виявлення актуальності знань та рекомендації знань учням; аналіз соціальних мереж використовується для аналізу ролей учнів у навчальних групах, взаємовідносин, ядра тощо, для визначення ентузіазму учня і ступеня взаємодії; суб'єктивною темою тесту була слабкість цифрової оцінки навчання, впровадження технології семантичного аналізу з метою семантичного аналізу суб'єктивних питань для підвищення інтелекту системи.

4. Підсистема зворотного зв'язку.

Підсистема зворотного зв'язку включає в себе зворотний зв'язок і візуальний інструмент. Зворотний зв'язок складається з діагностичного зворотного зв'язку, процедурного зворотного зв'язку та підсумкового зворотного зв'язку. На основі цієї інформації викладачі за потреби своєчасно втручаються в навчальну діяльність учнів. Візуальний інструмент – це приладова панель. Інформація зворотного зв'язку системи своєчасно надається учням та викладачам через інформаційні панелі, щоб учні та викладачі могли інтуїтивно розуміти ситуацію навчання. Примітно те, що система надає два контенти не зовсім однаково.

Візуалізація – неминуча тенденція обробки та відображення даних в епоху інформації. Оцінки розвитку фокусуються на розвитку учнів, але розвиток – це абстрактне поняття, яке неможливо точно виміряти. Зростаюча оцінка доданої вартості дає нову ідею для вимірювання зростання знань.

В систему оцінки розвивального навчання має бути впроваджена теорія оцінки доданої вартості, тобто позитивного впливу шкільного навчання на зростання і розвиток учнів протягом певного періоду часу. Оцінка доданої вартості являє собою оцінку цього ефекту. Крім того, основна частина системи оцінки навчання для учнів і студентів зазвичай не має можливості аналізувати зростання знань, тому обсяг знань необхідно візуалізувати, щоб можна було відстежувати абстрактний процес навчання, і, таким чином, сформувати навчання як інтуїтивне відображення зростання знань. Для вчителів візуалізація зростання знань полегшує індивідуальне керівництво і втручання; учні можуть інтуїтивно бачити свій прогрес, що корисно для самосвідомості і впевненості в собі.

Адаптивний модуль. Відповідно до результату модуля прогнозування запускається модуль доставки контенту, і відповідно до рівня навчання та інтересу учня йому передається відповідний навчальний контент.

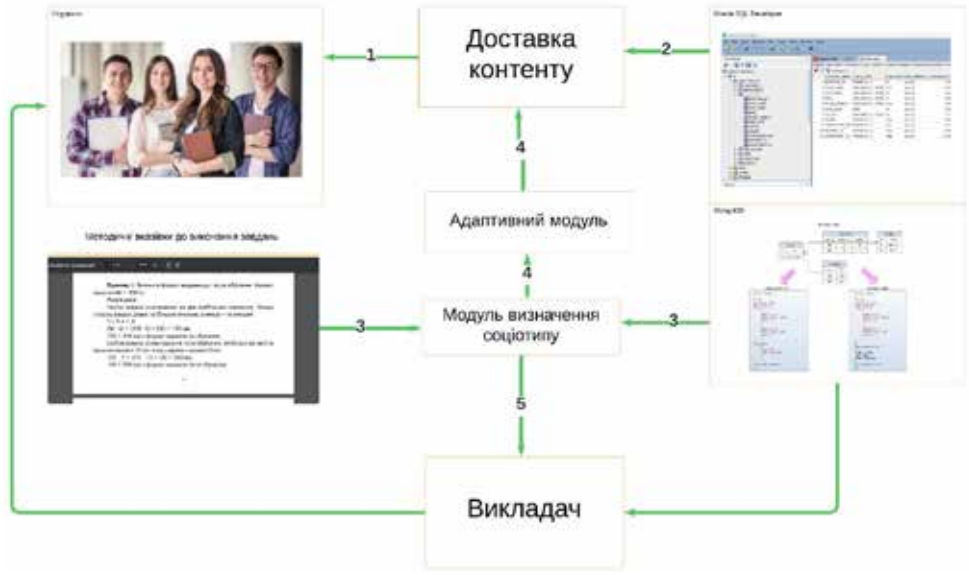


Рис. 2. Модель формування мультимедійної навчальної системи з урахуванням соціотипів учнів

Висновки. Сучасні потреби інформаційного суспільства вимагають швидкого розвитку методів та інструментів освітніх технологій, особливо в сфері дистанційного навчання. Існує багато механізмів платформ електронного навчання, але вони, перш за все, дозволяють у простій формі викладати теорію та перевіряти знання учнів. Тим часом важливу роль відіграє навчання практичному використанню теорії в певних галузях знань. Однією з таких є галузь баз даних.

У роботі було запропоновано метод і модель, які можуть використовуватися при розробці мультимедійної веборієнтованої інформаційної системи.

Робота акцентує увагу на необхідності врахування соціотипів учнів. Перевагою такого підходу є те, що він дозволяє налаштувати розклад занять індивідуально, відповідно до навичок учня. У результаті вони отримують можливість здобути цільову освіту. Це попередньо підтверджено перевіркою отриманих

компетентностей. Бали, отримані студентами при формуванні індивідуальної траєкторії навчання, значно вищі, ніж у тих, хто навчається за традиційною методикою. Таким чином, можна зробити висновок, що порівняно з іншими методами, навчання за допомогою розробленого інтерактивного користувацького інтерфейсу може покращити їхній прогрес у засвоєнні знань.

Представлена робота має свої обмеження. Безсумнівно, необхідні детальні дослідження впливу форми навчання (змішане навчання, електронне навчання тощо) на освітні досягнення студентів конкретної освітньої траєкторії. Це також вимагає вивчення того, чи можуть на результати учнів впливати їхні стилі навчання.

Це допоможе краще узгодити запропоновані навчальні програми з поточними інтересами студентів і проінформувати викладацький склад про те, які фактори визначають популярність того чи іншого предмета та/або конкретного лектора. Крім того, було б доцільно запропонувати моделі кластеризації студентів, щоб запропонувати їм кар'єрний шлях, адаптований до їхніх навичок і обраних спеціальностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Davis, Katie & Christodoulou, Joanna & Seider, Scott & Gardner, Howard. (2011). The Theory of Multiple Intelligences.

2. Svichko T. O. (2024). Оцінювання ефективності контенту для мультимедійних інформаційних систем // Global science: prospects and innovations. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 21-27. doi: https://sci-conf.com.ua/vii-mizhnarodna-naukovo-praktichnakonferentsiya-global-science-prospects-and-innovations-1-3-03-2024-liverpulvelikobritaniya-arhiv/.

3. Zhou Z., Zhao L. (2020). Cloud computing model for big data processing and performance optimization of multimedia communication. Computer Communications, 160, 2020, 326-332. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.06.015.

4. Shih T. K. (2002). Multimedia Database Systems in Education, Training, and Product Demonstration. In Cornelius T. Leondes (Ed.), Database and Data Communication Network Systems, Academic Press, pp. 327-366, ISBN 9780124438958, https://doi.org/10.1016/B978-012443895-8/50012-X.

5. Cord M., Gosselin P. H., Philipp-Foliguet S. (2007). Stochastic exploration and active learning for image retrieval. Image and Vision Computing, 25 (1), 14-23, https://doi.org/10.1016/j.imavis.2006.01.004.

6. Albagli S., Ben-Eliyahu-Zohary R., Shimony S. E. (2012). Markov network based ontology matching. Journal of Computer and System Sciences, 78 (1), 105-118, ISSN 0022-0000, https://doi.org/10.1016/j.jcss.2011.02.014.

7. Guo K., Pan W., Lu M., Zhou X., Ma J. (2015). An effective and economical architecture for semantic-based heterogeneous multimedia big data retrieval. Journal of Systems and Software, 102, 207-216. https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.09.016.

8. Jung J. J. (2012). Evolutionary approach for semantic-based query sampling in large-scale information sources. Information Sciences, 182 (1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.042.

9. Guo K., Zhang R., Kuang L. (2016). TMR: Towards an efficient semantic-based heterogeneous transportation media big data retrieval. Neurocomputing, 181, 122-131. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.06.101.

10. Jung J. J. (2012). Evolutionary approach for semantic-based query sampling in large-scale information sources. Information Sciences, 182(1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.042.

11. Babenko V., Hrabovskyi Y., Gordyeyev A., Pushkar O., Akhmedova O. (2024). Development of Database-Driven Multimedia Training Products. Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume III: Intelligent Systems Workshop (ISW-CoLInS 2024), Lviv, Ukraine, April 12-13. https://ceur-ws.org/Vol-3688/paper6.pdf

12. Wang J., Peng J., Liu O. (2015). A classification approach for less popular webpages based on latent semantic analysis and rough set model. Expert Systems with Applications, 42(1), 642-648. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.08.013.

13. Zhang S., Liu X., Wang J., Cao J., Min G. (2015). Energy-efficient active tag searching in large scale RFID systems. Information Sciences, 317, 143-156. https://doi.org/10.1016/j.ins.2015.04.048.

14. Tousch A. M., Herbin S., Audibert J. Y. (2012). Semantic hierarchies for image annotation: A survey. Pattern Recognition, 45(1), 333-345. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.05.017.

15. Guo K., Liang Z., Tang Y., Chi T. (2018). SOR: An optimized semantic ontology retrieval algorithm for heterogeneous multimedia big data. Journal of Computational Science, 28, 455-465. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.02.005.

16. Guo K., Liang Z., Tang Y., Chi T. (2018). SOR: An optimized semantic ontology retrieval algorithm for heterogeneous multimedia big data. Journal of Computational Science, 28, 455-465.

17, Nozari A.Y., Siamian H. (2015). The effect of applying podcast multimedia teaching system on motivational achievement and learning among the boy students. Acta Inf. Med., 23(1), 29.

18. Picciano A. G. (2012). The evolution of big data and learning analytics in American higher education. Journal of Asynchronous Learning Networks, 16(3), 9-20.

19. Daniel B. (2015). Big Data and analytics in higher education: Opportunities and challenges. British Journal of Educational Technology, 46(5), 904-920.

20. Eynon R. (2013). The rise of Big Data: what does it mean for education, technology, and media research? British Journal of Educational Technology, 237-240.

21. Adilkhanova A.S. (2021). The place of education of e-learning. The American Journal of Applied Sciences, 3, 22-26. https://doi.org/10.37547/tajas/Volume03Issue07-05.

22. Hrabovskyi Y. M., Kots P. G. (2023). Methods of development of mobile application graphic design for remote interaction with patients. Наукові записки Української академії друкарства, 2(67), 93-106.

23. Starkova O., Bondarenko D., Hrabovskyi Y. (2023). Providing software support for economic analysis. Technology Audit and Production Reserves, 5/2(73), 34-39.

REFERENCES:

1. Davis, Katie & Christodoulou, Joanna & Seider, Scott & Gardner, Howard. (2011). The Theory of Multiple Intelligences.

2. Svichko T. O. (2024). Оцінювання ефективності контенту для мультимедійних інформаційних систем // Global science: prospects and innovations. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. Pp. 21-27. doi: https://sci-conf.com.ua/vii-mizhnarodna-naukovo-praktichnakonferentsiya-global-science-prospects-and-innovations-1-3-03-2024-liverpulvelikobritaniya-arhiv/.

3. Zhou Z., Zhao L. (2020). Cloud computing model for big data processing and performance optimization of multimedia communication. Computer Communications, 160, 2020, 326-332. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.06.015.

4. Shih T. K. (2002). Multimedia Database Systems in Education, Training, and Product Demonstration. In Cornelius T. Leondes (Ed.), Database and Data Communication Network Systems, Academic Press, pp. 327-366, ISBN 9780124438958, https://doi.org/10.1016/B978-012443895-8/50012-X.

5. Cord M., Gosselin P. H., Philipp-Foliguet S. (2007). Stochastic exploration and active learning for image retrieval. Image and Vision Computing, 25 (1), 14-23, https://doi.org/10.1016/j.imavis.2006.01.004.

6. Albagli S., Ben-Eliyahu-Zohary R., Shimony S. E. (2012). Markov network based ontology matching. Journal of Computer and System Sciences, 78 (1), 105-118, ISSN 0022-0000, https://doi.org/10.1016/j.jcss.2011.02.014.

7. Guo K., Pan W., Lu M., Zhou X., Ma J. (2015). An effective and economical architecture for semantic-based heterogeneous multimedia big data retrieval. Journal of Systems and Software, 102, 207-216. https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.09.016.

8. Jung J. J. (2012). Evolutionary approach for semantic-based query sampling in large-scale information sources. Information Sciences, 182 (1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.042.

9. Guo K., Zhang R., Kuang L. (2016). TMR: Towards an efficient semantic-based heterogeneous transportation media big data retrieval. Neurocomputing, 181, 122-131. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.06.101.

10. Jung J. J. (2012). Evolutionary approach for semantic-based query sampling in large-scale information sources. Information Sciences, 182(1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.042.

11. Babenko V., Hrabovskyi Y., Gordyeyev A., Pushkar O., Akhmedova O. (2024). Development of Database-Driven Multimedia Training Products. Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume III: Intelligent Systems Workshop (ISW-CoLInS 2024), Lviv, Ukraine, April 12-13. https://ceur-ws.org/Vol-3688/paper6.pdf

12. Wang J., Peng J., Liu O. (2015). A classification approach for less popular webpages based on latent semantic analysis and rough set model. Expert Systems with Applications, 42(1), 642-648. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.08.013.

13. Zhang S., Liu X., Wang J., Cao J., Min G. (2015). Energy-efficient active tag searching in large scale RFID systems. Information Sciences, 317, 143-156. https://doi.org/10.1016/j.ins.2015.04.048.

14. Tousch A. M., Herbin S., Audibert J. Y. (2012). Semantic hierarchies for image annotation: A survey. Pattern Recognition, 45(1), 333-345. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.05.017.

15. Guo K., Liang Z., Tang Y., Chi T. (2018). SOR: An optimized semantic ontology retrieval algorithm for heterogeneous multimedia big data. Journal of Computational Science, 28, 455-465. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.02.005.

16. Guo K., Liang Z., Tang Y., Chi T. (2018). SOR: An optimized semantic ontology retrieval algorithm for heterogeneous multimedia big data. Journal of Computational Science, 28, 455-465.

17, Nozari A.Y., Siamian H. (2015). The effect of applying podcast multimedia teaching system on motivational achievement and learning among the boy students. Acta Inf. Med., 23(1), 29.

18. Picciano A. G. (2012). The evolution of big data and learning analytics in American higher education. Journal of Asynchronous Learning Networks, 16(3), 9-20.

19. Daniel B. (2015). Big Data and analytics in higher education: Opportunities and challenges. British Journal of Educational Technology, 46(5), 904-920.

20. Eynon R. (2013). The rise of Big Data: what does it mean for education, technology, and media research? British Journal of Educational Technology, 237-240.

21. Adilkhanova A.S. (2021). The place of education of e-learning. The American Journal of Applied Sciences, 3, 22-26. https://doi.org/10.37547/tajas/Volume03Issue07-05.

22. Hrabovskyi Y. M., Kots P. G. (2023). Methods of development of mobile application graphic design for remote interaction with patients. Наукові записки Української академії друкарства, 2(67), 93-106.

23. Starkova O., Bondarenko D., Hrabovskyi Y. (2023). Providing software support for economic analysis. Technology Audit and Production Reserves, 5/2(73), 34-39.

УДК 004.09
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.15

СТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ «ІНТЕРНЕТ-БРОНЮВАННЯ ГОТЕЛЮ» В СЕРЕДОВИЩІ STARUML

Тузова І. А. – *доцент кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта Одеського національного морського університету*
ORCID ID: 0009-0002-4198-378X

Тузов О. В. *– старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта Одеського національного морського університету*
ORCID ID: 0009-0006-5443-4957

Панченко Т. Д. *– старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта Одеського національного морського університету*
ORCID ID: 0009-0007-4629-9537

Чумак О. А. *– старший викладач кафедри технічної кібернетики й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта Одеського національного морського університету*
ORCID ID: 0009-0002-5802-9765

У статті представлена створення об'єктної моделі системи «Інтернет-бронювання готелю» за допомогою середовища StarUML. Досліджуються важливі аспекти використання зовнішніх платформ для розміщення послуг та бронювання готельних номерів, що дозволяють графічно візуалізувати, специфікувати та документувати системи для ефективного розвитку програмного забезпечення.

Розробка програмних застосунків різноманітного призначення пов'язана з використанням об'єктно-орієнтованого підходу, який полягає у декомпозиції інформаційних систем на класи – шаблони, на основі яких створюються однотипні екземпляри – і побудові з них ієрархії з використанням відношень композиції та успадкування.

З поширенням об'єктно-орієнтованих мов програмування постала необхідність у використанні єдиної уніфікованої мови моделювання (англ. Unified Modeling Language; UML). Об'єктноорієнтована мова UML стала загальновизнаним стандартом (ISO/IEC 19501:2005), який дозволяє описувати структури програмних продуктів та бізнес-процеси. Її використання забезпечує зрозумілість для кожного фахівця, запобігає формуванню двозначностей чи неточностей. Крім цього, уніфіковану мову моделювання легко адаптувати під конкретну задачу [1].

UML є графічною мовою, яку можна використовувати й на папері, і з використанням CASE-засобів (зокрема, Microsoft Visio). За допомогою UML можна детально описати систему, починаючи розробку з концептуальної моделі з її бізнес-функціями та процесами, а також описати особливості реалізації системи, такі як класи, програмне забезпечення системи, схему бази даних. Використовуючи UML, ми також можемо розробляти складні системи швидко і якісно.

Сама мова – це, по суті, нотація, яка активно використовується методом для опису розробок. Нотація являє собою збірку графічних об'єктів, що використовуються в моделях [2].

Ключові слова: *об'єктна модель, прецедент, актор, клас, об'єкт, сутність, операція, діаграма, інтернет-бронювання, менеджер, клієнт.*

***Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A.* Creation of the object model of the system "internet hotel reservation" in the StarUML environment**

The article presents the creation of the object model of the "Internet hotel reservation" system using the StarUML environment. Important aspects of using external platforms for hosting services and booking hotel rooms are explored, allowing graphical visualization, specification and documentation of systems for effective software development.

The development of software applications for various purposes is associated with the use of an object-oriented approach, which consists in the decomposition of information systems into classes – templates on the basis of which instances of the same type are created – and building a hierarchy from them using composition and inheritance relations.

With the spread of object-oriented programming languages, there was a need to use a single unified modeling language (Unified Modeling Language; UML). The object-oriented language UML has become a universally recognized standard (ISO/IEC 19501:2005) that allows describing the structures of software products and business processes. Its use ensures clarity for every specialist, prevents the formation of ambiguities or inaccuracies. In addition, the unified modeling language is easy to adapt to a specific task [1].

UML is a graphical language that can be used both on paper and with CASE tools (in particular, Microsoft Visio). UML can be used to describe a system in detail, starting from a conceptual model with its business functions and processes, and also to describe the features of the system implementation, such as classes, system software, database schema. Using UML, we can also design complex systems quickly and efficiently.

The language itself is essentially a notation that is actively used by the method to describe developments. Notation is a collection of graphic objects used in models [2].

***Key words:** object model, precedent, actor, class, object, entity, operation, diagram, internet booking, manager, client.*

Вступ. Під час проєктування об'єктноорієнтованого застосунку для розуміння всіх процесів використовують діаграми. Всього в уніфікованій мові моделювання визначають 14 видів діаграм, які поділяють на дві групи: діаграми поведінки та структурні діаграми. При побудові моделі можна поєднувати різні діаграми.

До структурних діаграм, що використовуються при проектуванні архітектури застосунків, крім діаграми класів, належать: діаграма компонентів,

діаграма складеної структури (кооперації), діаграми розгортання, діаграми об'єктів, діаграми пакетів. До діаграм поведінки відносять діаграми: діяльності, станів, прецедентів. Також, діаграми взаємодії, до яких належать такі діаграми: комунікації, огляду взаємодії, послідовності, синхронізації.

Після впровадження UML 2.1 стало можливим використання діаграм довільної форми, аби представити альтернативні види моделей чи загальне уявлення, тобто те, що неможливо зобразити використовуючи стандартну нотацію Unified Modeling Language.

Слід зазначити, що діаграми показують вимірювані аспекти інформаційної системи, такі як: зв'язки, структура, поведінка, функціональність.

Метою статті є дослідження основних аспектів реалізації об'єктної моделі системи «Інтернет-бронювання готелю» за допомогою середовища UML, що дозволяє графічно візуалізувати, специфікувати та документувати системи для ефективного розвитку програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наші дні готелям необхідно мати онлайн-систему бронювання готелів. Сьогодні в Інтернеті доступно так багато програм для бронювання готелів, таких як Oyo, trivago, goibibo і багато інших. Процес бронювання готелів має бути бездоганним і зручним, щоб залучити більше клієнтів і збільшити продажі. Мета кожного готелю – розширити свій бізнес і отримати прибуток.

Система онлайн-бронювання готелів є найкращою платформою, оскільки вона додає багато переваг, і ви можете легко забронювати готель або номер через

Інтернет. Він відкриває більше інформації про готель, який розташований у певному районі, і ви також можете вибрати готель відповідно до своїх вимог і вибору. Система бронювання готелів дозволяє гостям запланувати дати та тривалість перебування, вибрати номер, додаткові послуги та оплату в одному місці. Більшість туристів можуть забронювати готель в аеропорту через Інтернет.

Вибір готелю клієнтом визначається сукупністю різноманітних чинників. Гості сподіваються на комфортні, чисті та добре обладнані номери з усіма необхідними зручностями. Також важливим фактором є місце розташування готелю. Якщо він знаходиться в зручному місці, недалеко від цікавих місць, транспортних вузлів або бізнес-центрів, це може зробити його привабливішим для клієнтів. Наявність додаткових послуг, таких як спа-салони, ресторани, басейни, фітнес-зали і т.д., також грає не останню роль.

Можна зробити висновок, що сучасний готельний бізнес не може обійтися без використання системи онлайн-бронювання.

Виклад основного матеріалу. У процесі бронювання готелю можна виділити декілька головних пунктів, які повинні бути присутніми у системі онлайн-бронювання:

– перегляд усіх доступних на даний момент номерів;

– пошук та фільтрація для знаходження певного типу номера або задоволення конкретних вимог;

– реєстрація та заповнення інформації; клієнт вводить свої особисті дані: ім'я, контактна інформація та інші відомості, необхідні для оформлення бронювання;

– після заповнення всієї необхідної інформації клієнт повинен отримати підтвердження бронювання від адміністратора/менеджера готелю;

– якщо клієнт обрав оплату на сайті, а не на місці, то він повинен здійснити її;

– після успішного бронювання клієнт отримує усю необхідну інформацію, включаючи дати, тип номера, послуги та інші деталі перебування.

Діаграма прецедентів системи інтернет-бронювання готелю. Для системи інтернет-бронювання готелю ми визначили акторів «Менеджер» та «Клієнт».

Для менеджера передбачені наступні дії:

– додавання та видалення готельних номерів;

– редагування інформації про готельні номери (додавання/оновлення фото, опису, додаткових послуг, тощо);

– видалення готельних номерів;

– перегляд активних та минулих бронювань;

– перегляд інформації про бронювання;

– скасування бронювання.

Для клієнта передбачено:

– зробити пошук номеру за датою в'їзду та виїзду;

– переглянути інформацію про номер (фото, опис, ціна, додаткова інформація);

– забронювати обраний номер;

– обрати спосіб оплати (на сайті/при заїзді);

– відміна бронювання;

– перегляд актуальних бронювань та інформацію про них.

Клієнт використовує систему щоб знайти та порівняти варіанти готелів (прецедент «Пошук та порівняння варіантів готелів»), визначаючи свої потреби та вимоги щодо готелю, це може відноситись до планування. До критеріїв пошуку можна віднести: дати розміщення, кількість осіб які проживатимуть, ціновий діапазон, розташування готелю, комфортабельність, тощо. Визначившись з потребами,

клієнт шукає готелі за допомогою різних онлайн-сервісів для бронювання готелів, ввівши усі потрібні критерії, з'являється список готелів, серед яких клієнт може обрати та порівняти між собою варіанти, переглянути відгуки від інших відвідувачів та зробити свій остаточний вибір найбільш підходящого варіанту для своїх потреб (прецедент «Вибір готелю за потрібними параметрами»). Після вибору готелю та номеру клієнт переходить до бронювання, вводить всю необхідну інформацію, якщо в готелі доступні додаткові послуги – замовляє їх за потреби. (прецедент «Бронювання обраного варіанту»). Після заповнення всієї потрібної інформації, клієнт обирає як йому зручно здійснити оплату за готельний номер зараз чи під час приїзду, передоплата, часткова або повна, якщо це передбачено готелем або сервісом, оскільки онлайн-сервіси зазвичай мають декілька способів сплати. Якщо змінились плани клієнта, невідкладна ситуація, будь-що та готель передбачає варіант відміни бронювання – виконується дія відміни бронювання: прецедент «Відміна бронювання за потреби», повернення грошей якщо клієнт проводив оплату на сайті та якщо дотримані усі вимоги для відміни бронювання з поверненням грошей клієнту. Наступним етапом після бронювання є прибуття та реєстрація. Клієнт прибуває до готелю в зазначений день та час, проходить процедуру реєстрації, де менеджер надає необхідну інформацію та інші вказівки щодо перебування, отримує ключі від номера (прецедент «Прибуття та реєстрація»). Далі, клієнт користується готельними послугами та зручностями протягом періоду проживання. Після закінчення терміну перебування клієнт виїжджає з готелю, повертає ключі та може залишити відгук про свій досвід проживання (прецедент «Проживання та виїзд»).

Менеджер повинен додавати та видаляти готельні номери згідно з можливістю їх використання – прецедент «Додавання та видалення готельних номерів». Наступним етапом може бути редагування інформації щодо готельних номерів, наприклад, додавання/оновлення фотографій, опису, додаткових послуг, тощо – прецедент «Керування інформацією щодо готельних номерів». Менеджер повинен управляти цінами та доступністю номерів, наприклад якщо номер має якийсь дефект то ціна повинна вчасно змінюватись на нього, або у певний період діють знижки на номери з окремими ліжками, тощо. Перегляд активних та минулих бронювань дає змогу оцінити завантаженість готелю та або продовжувати викладати на сервіс онлайн-бронювання вільні кімнати або зробити помітку що всі місця вже забронювані, цьому етапу відповідає прецедент «Перегляд минулих та активних бронювань». Якщо клієнт вже зробив замовлення на бронювання у сервісі – менеджер перевіряє інформацію про бронювання та підтверджує його, змінює інформацію на сервісі, тощо. (прецедент «Перегляд та або редагування інформації про бронювання»). Якщо у клієнта несподівано змінилися плани, або обрали інший готель, клієнт може скасувати бронювання, а менеджер підтверджує це скасування і, якщо виконані всі умови готелю/сервісу щодо скасування (наприклад відміна раніше ніж за 24 години безкоштовна, а у разі сплаченого бронювання – повернення грошей) – менеджер дає запит на повернення грошей клієнту (прецедент «Відмінити бронювання за потреби»). У разі, якщо клієнт просто забронював готель з оплатою при заїзді, тоді менеджер реєструє клієнта по прибутті, вносить всі необхідні данні, розповідає порядок проживання у готелі, надає всю необхідну інформацію, віддає ключі та показує місце паркування якщо потрібно і т.д. – прецедент «Прибуття та реєстрація». Після виїзду відвідувачів з готелю, менеджер скасовує бронювання, готує номер (клінінг, перевірка на працездатність обладнання, тощо) та вносить у базу дозвіл на заселення іншими людьми (прецедент

«Проживання та виїзд»). Після кожної зміни, кожний квартал або як встановлено у правилах готелю та країни розташування, менеджер робить звіти щодо виконання всіх умов безпеки, зароблених грошей, розтрат, тощо, заносить все це у звіт, за це відповідає прецедент «Заповнення потрібних звітів».

Отже, прецеденти системи інтернет-бронювання готелю для клієнта: «Пошук та порівняння варіантів готелів», «Вибір готелю за потрібними параметрами», «Бронювання обраного варіанту», «Відміна бронювання за потреби», «Прибуття та реєстрація», «Проживання та виїзд». Для менеджера: «Додавання та видалення готельних номерів», «Керування інформацією щодо готельних номерів», «Перегляд минулих та активних бронювань», «Перегляд та або редагування інформації про бронювання», «Відміна бронювання за потреби», «Прибуття та реєстрація», «Проживання та виїзд», «Заповнення потрібних звітів». Між прецедентами також є взаємини, які описуються відносинами двох типів: включення (include) і розширення (extend).

Зв'язки і взаємини, існуючі між елементами моделі, в UML описуються за допомогою відносин, зображених на діаграмі (рис. 1).

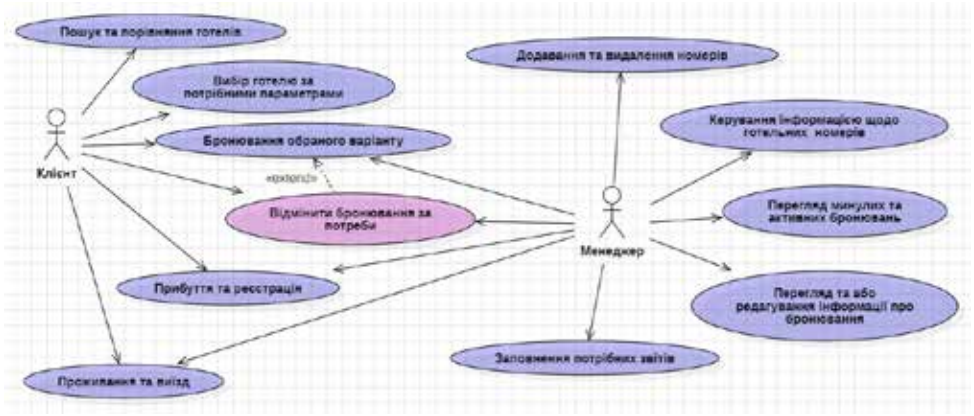


Рис. 1. Основна діаграма прецедентів

Діаграма діяльності. Будуємо діаграму діяльності (Activity diagram) для системи інтернет-бронювання готелю для додаткового прецеденту «Бронювання обраного варіанту» (рис. 2).

Клієнт у сервісі обирає опцію «Оформити бронювання». Менеджеру надсилається повідомлення, він починає реєстрацію клієнта, відправляє форму для введення особистих даних, клієнт ці дані вводить, система завантажує дані до бази даних. Після цього система видає клієнту можливість обрати коли сплачувати за проживання, у разі вибору не одразу на сайті, клієнтові система відображає повідомлення про сплату при заїзді, одразу виводиться інформація щодо заїзду та підтвердження бронювання, процес завершується.

Якщо оплата обрана одразу на сайті, менеджер проводить оплату, успішна – підтверджує оплату і одразу система виводить декілька повідомлень для клієнта з інформацією про бронювання та підтвердження бронювання, процес завершується. У разі якщо оплата не пройшла успішно – виводиться повідомлення, повторно надсилається системою форма про сплату, якщо успішно сплачено – менеджер підтверджує оплату, система виводить одразу декілька повідомлень для

клієнта з інформацією про бронювання та підтвердження бронювання, процес завершується, якщо не успішно сплачено – система повертає клієнта на сторінку з вибором сплати та відображає повідомлення про сплату при заїзді, далі система видає повідомлення про інформацію щодо заїзду та підтвердження бронювання, процес завершується.

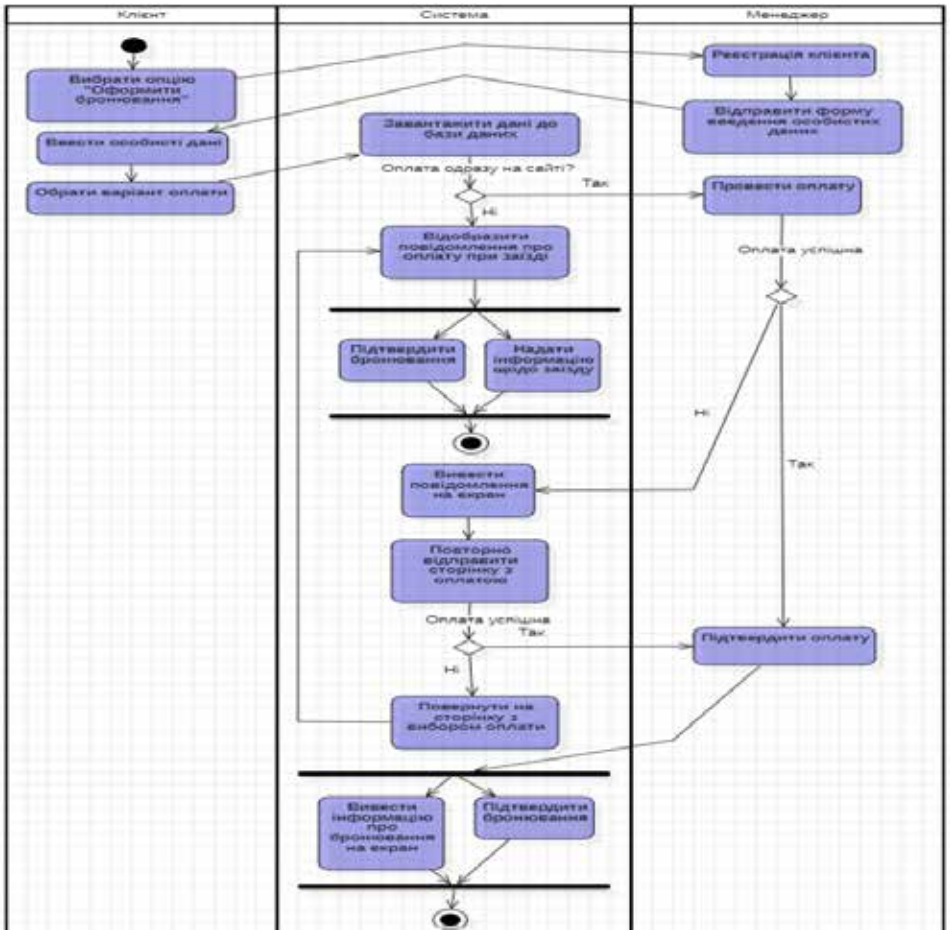


Рис. 2. Діаграма діяльності системи інтернет-бронювання готелю для додаткового прецеденту «Бронювання обраного варіанту»

Діаграма класів. Створюємо діаграму класів з операціями, атрибутами і стереотипами (рис. 3). Вибираємо межові класи. «Оформлення бронювання» буде здійснювати зв’язок між «Клієнтом» і «Бронювання обраного варіанту». Для того щоб додати клієнта до бази даних, створюємо клас «Введення особистих даних». Додаємо клієнта до бази даних класом «Реєстрація клієнта». Після того як клієнта успішно додано до бази, внесена оплата, він отримує «Підтвердження бронювання».

Керуючі класи. Створюємо керуючий клас «Менеджер бронювання», який буде розподіляти обов’язки інших класів і викликатиме їх операції при виконанні сценарію.

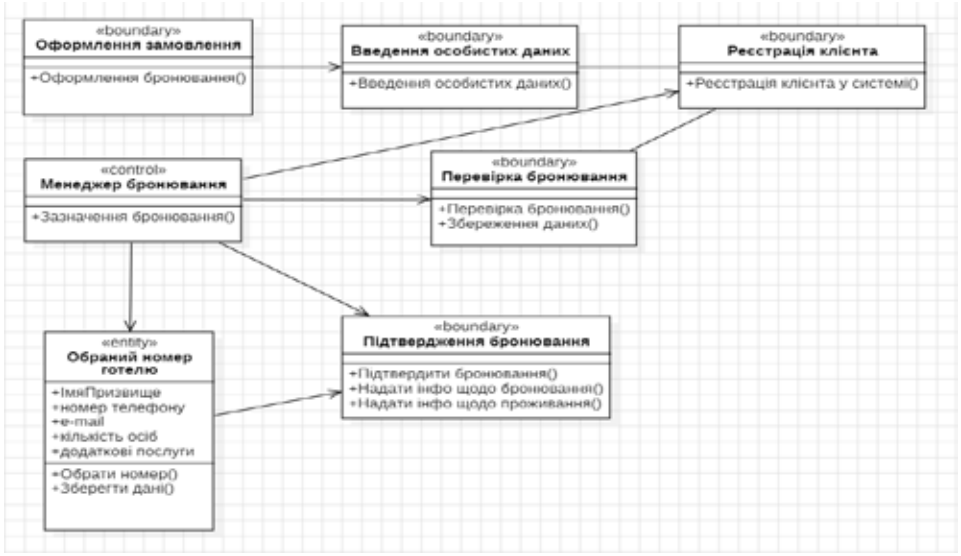


Рис. 3. Діаграма класів з атрибутами, операціями та відносинами

Класи-сутності. Оскільки у нашому сценарії «Прибуття та реєстрація» йдеться мова про клієнта та обраний номер готелю, створимо класи «Обраний номер готелю», «Клієнт». Призначаємо відповідні стереотипи.

Діаграма послідовності. Складемо діаграму послідовності для випадку, коли клієнт успішно виконує бронювання номеру у готелі (рис. 4).

Клієнт оформлює бронювання, вводить особисті дані, вносить інформацію, клієнта реєструють у базі системи, клієнт перевіряє своє бронювання, дані зберігаються, зазначається бронювання клієнта, менеджер підтверджує оплату, обирає номер у готелі згідно з параметрами які обрав клієнт, зберігаються ці дані, підтверджується бронювання, надається інформація клієнтові стосовно бронювання, надається інформація щодо проживання.

Діаграма кооперацій. Для сценарію «Бронювання обраного варіанту», для якого вже складено діаграму послідовності, створимо діаграму кооперації, помістимо усі ті ж об’єкти, перетягнувши їх з навігатора моделі (рис. 5).

Діаграма станів. Щоб виконати бронювання, клієнт повинен обрати варіант бронювання. Наступний стан передбачає перевірку на наявність вільних номерів, перевірку обраного номеру та повідомлення про результат цих дій. Оскільки наступний стан включає інформування клієнта, виконуються дії інформування щодо оплати, інформування про наявність додаткових послуг якщо такі потрібні, інформування про порядок проживання у готелі та надаються варіанти оплати. Наступним чином є підтвердження бронювання та змінюється статус номеру.

У разі підтвердження бронювання від клієнта та вибору оплати – завершується стан. Якщо клієнт відмовляється від бронювання – номер залишається не забронюваним, знову змінюється статус номеру на вільний та стан завершується (рис. 6).

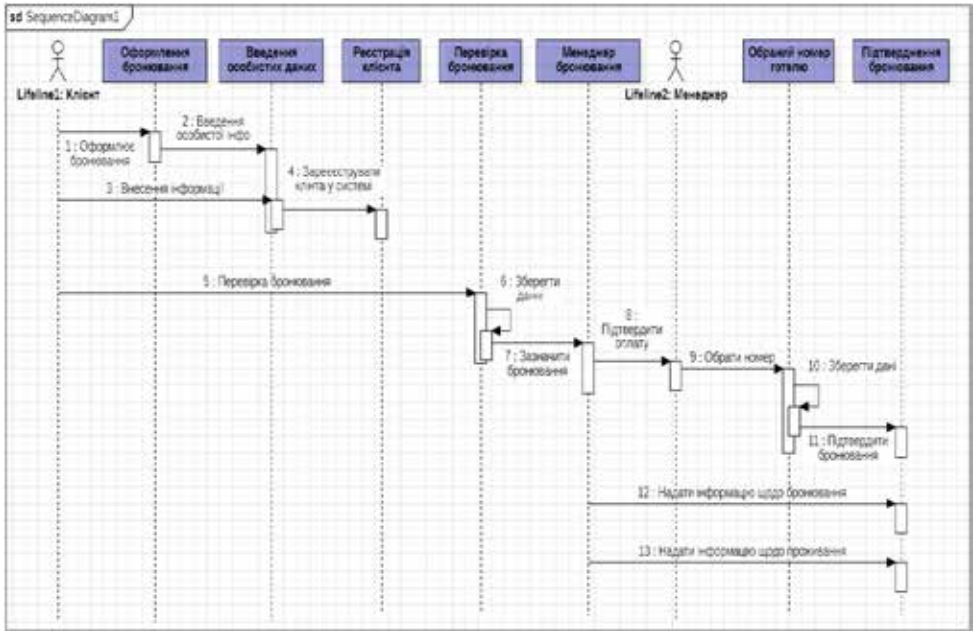


Рис. 4. Діаграма послідовності

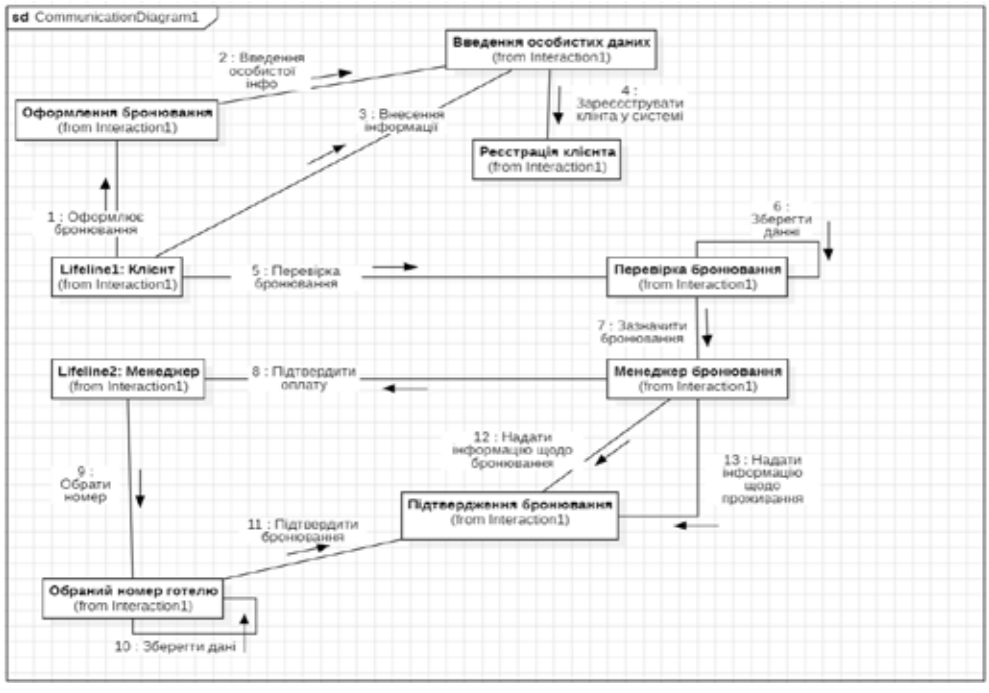


Рис. 5. Діаграма кооперацій

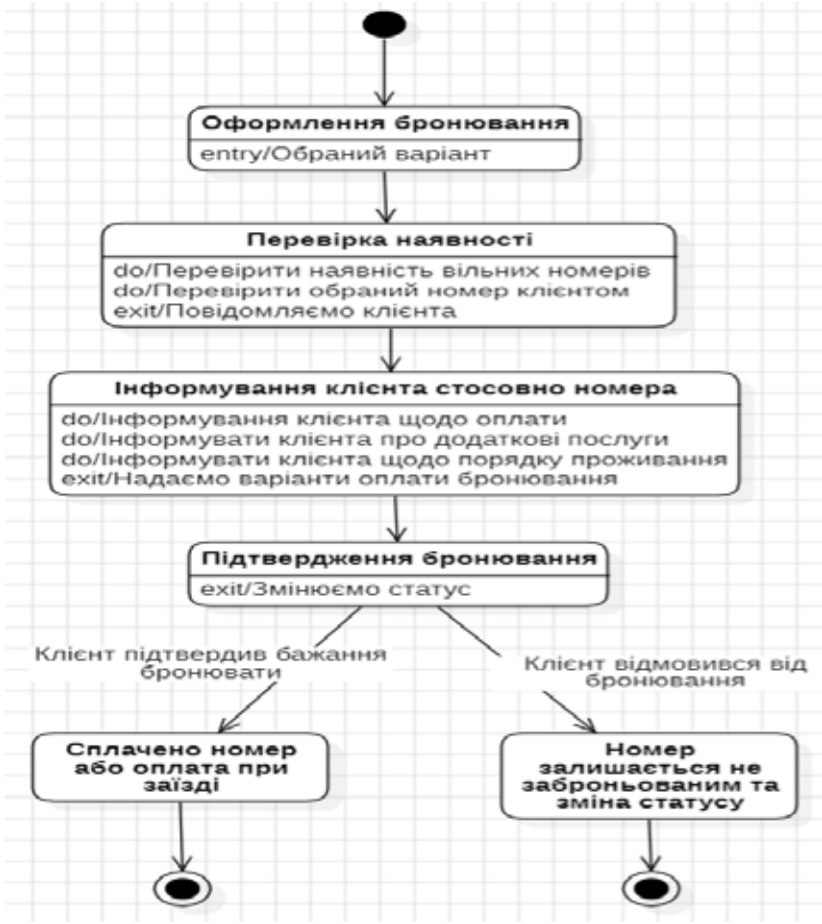


Рис. 6. Діаграма станів

Висновки. У статті розглядаються особливості реалізації об'єктної моделі системи «Інтернет-бронювання готелю» за допомогою середовища UML. Досліджуються важливі аспекти використання зовнішніх платформ для розміщення послуг та бронювання готельних номерів.

Позитивний розвиток готельного бізнесу сьогодні сприяє використанню візуального моделювання з використанням уніфікованої мови моделювання (UML) у галузі проектування інформаційних систем. UML дозволяє графічно візуалізувати, специфікувати та документувати системи, що важливо для ефективного розвитку програмного забезпечення. Моделювання за допомогою UML стає ефективним інструментом для побудови зрозумілих та компактних діаграм прецедентів, діаграми класів з атрибутами, операціями та відносинами, діаграми діяльності, діаграми послідовності, діаграми кооперації та діаграми станів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Міщук О. С., Самчук Л. М., Повстяна Ю. С., Ліщина Н.М. Використання уніфікованої мови візуального моделювання UML для розробки мехатронних систем: Collection of scientific papers «SCIENTA», 2022. 215 с.

2. StarUML. Інструкція користувача. URL: http://staruml.sourceforge.net/docs/userguide(ua)/user-guide.pdf (дата звернення: 03.09.2024).
3. Object Management Group (OMG) – організація, що розробляє і підтримує UML. URL: https://www.uml.org/ (дата звернення: 03.09.2024).
4. Український ресурс, призначений для вивчення UML. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://evergreens.com.ua/ua/articles/uml-diagrams.html (дата звернення: 03.09.2024).

REFERENCES:

1. Mishchuk O.S., Samchuk L.M., Povstyana Yu.S., Lyshchyna N.M. (2022). Use of the unified visual modeling language UML for the development of mechatronic systems. Collection of scientific papers «SCIENTA».
2. StarUML. User manual. Retrieved from http://staruml.sourceforge.net/docs/userguide(ua)/user-guide.pdf.
3. Object Management Group (OMG) – the organization that develops and supports UML. Retrieved from https://www.uml.org/.
4. Ukrainian resource intended for studying UML. Retrieved from https://evergreens.com.ua/ua/articles/uml-diagrams.html.

УДК 681.51:004.896
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.16

КОНСТРУКТИВНИЙ АНАЛІЗ БЮДЖЕТНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ ПЛАТФОРМАМИ

Янко А. С. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: 0000-0003-2876-9316

Михайліченко О. В. *– аспірант кафедри автоматики, електроніки*
та телекомунікацій Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: 0009-0009-3512-0030

Крук О. О. *– аспірант кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій*
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID ID: 0009-0000-7503-5249

Метою даного дослідження є визначення оптимальних критеріїв удосконалення функціональних можливостей та конструктивних особливостей бюджетних робототехнічних платформ. Це включає вивчення існуючих бюджетних рішень, їх аналіз з точки зору ефективності, функціональності, надійності та можливостей подальшого удосконалення. Предметом статті є конструктивні рішення та підходи до удосконалення функціональних можливостей бюджетних робототехнічних платформ. Сюди входить аналіз різних типів конструкцій, вибір матеріалів, архітектура системи, програмне забезпечення, засоби управління, сенсори та інші компоненти, які впливають на ефективність робототехнічних платформ. Дослідження зосереджене на визначенні основних критеріїв, які забезпечують оптимальне співвідношення ціни та якості, а також можливостей для подальшого удосконалення без значного збільшення витрат. Об'єктом дослідження є бюджетні робототехнічні платформи, призначені для різних сфер використання, що відповідають вимогах мінімальної вартості проєктування, виробництва та експлуатації, що робить їх доступнішими для широкого кола користувачів, але не накладає суттєвих обмежень на їх функціональні можливості та надійність. Визначені в рамках дослідження критерії надають цілісне уявлення про те, на що слід звертати увагу при проєктуванні та удосконаленні бюджетних робототехнічних платформ. Це дозволяє збалансувати вартість та якість, забезпечити необхідну функціональність і надійність, а також створити робототехнічну систему, що відповідає сучасним вимогам і стандартам. Використання цих критеріїв надає можливість створення ефективних рішень, які можуть бути впроваджені в різних галузях, забезпечуючи при цьому економічну ефективність та високоефективні технічні характеристики. Аналіз бюджетних рішень відкриває нові можливості для розробників, забезпечуючи гнучкість у виборі компонентів, які відповідають специфічним вимогам проєкту.

Ключові слова: *бюджетні рішення, конструктивні обмеження, масштабованість, модульність, оптимальний критерії, робототехнічна платформа, спеціалізований мікроконтролер.*

Yanko A. S., Mykhailichenko O. V., Kruk O. O. Constructive analysis of budget decisions for managing robots to determine the optimum criteria for improving functional capabilities and constructive features of robotic platforms

The purpose of the research is to determine the optimal criteria for improving the functional capabilities and design features of low-cost robotic platforms. This includes the study of existing budget solutions, their analysis from the point of view of efficiency, functionality, reliability and opportunities for further improvement. The subject of the article is constructive solutions and approaches to improving the functionality of low-cost robotics platforms. This includes analysis

of different types of structures, material selection, system architecture, software, controls, sensors, and other components that affect the performance of robotic platforms. The research is focused on identifying the main criteria that provide the optimal value for money, as well as opportunities for further improvement without significantly increasing costs. The object of the research is budget robotic platforms designed for various fields of use that meet the requirements of the minimum cost of design, production and operation, which makes them more accessible to a wide range of users, but does not impose significant restrictions on their functionality and reliability. The criteria determined within the framework of the study provide a holistic view of what should paid attention be designing and improving budget robotics platforms. This allows you to balance cost and quality, ensure the necessary functionality and reliability, as well as create a robotic system that meets modern requirements and standards. The use of these criteria provides an opportunity to create effective solutions that can be implemented in various industries, while providing economic efficiency and high-performance technical characteristics. Analysis of budget decisions opens up new opportunities for developers, providing flexibility in choosing components that meet specific project requirements.

Key words: *budget solutions, constructive limitations, scalability, modularity, optimal criteria, robotics platform, specialized microcontroller.*

Вступ. У сучасному світі робототехніка відіграє все більш важливу роль у різних галузях, таких як промисловість, сільське господарство, охорона здоров’я, освіта, військова справа тощо. Робототехніку можна назвати напрямком DDD – dull, dirty and dangerous, тобто там, де праця займає багато часу, брудна або небезпечна, саме там потрібні робототехнічні платформи. Однією з ключових тенденцій сьогодення є зниження витрат на розробку та виробництво робототехнічних систем, що стало можливим завдяки зростанню конкуренції серед виробників компонентів, таких як мікроконтролери, датчики та інші елементи управління. Пошук бюджетних рішень стає все більш актуальним, адже вони дозволяють малим і середнім підприємствам, а також стартапам, реалізувати свої ідеї, не вдаючись до великих фінансових інвестицій. Водночас, вибір оптимального мікроконтролера або іншого компонента є критично важливим для забезпечення надійності та продуктивності робототехнічних систем [1].

Дослідження конструктивних аспектів бюджетних рішень для керування роботами також може спростити процес вибору між різними платформами, що забезпечить більшу адаптивність і можливість швидкого реагування на зміни у вимогах ринку. Аналіз функціональних можливостей і конструктивних особливостей надасть цінні рекомендації для розробників, які прагнуть оптимізувати свої проєкти, впроваджуючи новітні технології без значних фінансових витрат. Крім того, розробка нових підходів до керування роботами, які базуються на бюджетних рішеннях, може стимулювати розвиток інновацій в цій сфері, зокрема шляхом створення нових моделей програмного забезпечення для управління та інтеграції. Це відкриває можливості для дослідження нових алгоритмів, які можуть підвищити продуктивність автоматизованих систем і знизити їх енергоспоживання.

Зважаючи на постійне зростання технологічних вимог до робототехнічних систем, актуальним є питання забезпечення їхньої надійності та довговічності [2]. Бюджетні платформи повинні відповідати вимогам щодо якості та стабільності роботи, навіть за умови використання менш дорогих матеріалів та компонентів. Це вимагає розробки нових підходів до проєктування та виробництва таких систем, що включає оптимізацію конструкції, використання інноваційних матеріалів та технологій, а також застосування передових методів контролю якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень у сфері бюджетних робототехнічних платформ виявляє широкий спектр наукових праць, що присвячені різним аспектам проєктування, розробки та впровадження таких систем.

У дослідженні [3] запропоновано удосконалення конструктивних особливостей наземних роботизованих платформ, а саме запропоновано дизайн платформи, апаратні компоненти, архітектура програмного забезпечення та схема керування. Проте в рамках даного дослідження не було досліджено оптимальні критеріїв удосконалення функціональних можливостей роботизованих платформ.

Опен-сорсний проєкт [4] виведений як результат аналізу різних конструкційних рішень та керування для отримання робототехнічної платформи зі зменшенням загальної ціни продукту та з забезпеченням певного рівня надійності та модульності, як основних критеріїв. Однак запропоноване рішення має виграш лише вартості робототехнічної платформи, основні технічні характеристики у порівнянні з аналогами не покращуються.

В дослідженні [5] представлено фреймворк із відкритим кодом для розробки оптимальних конструкцій для крокуючих роботів. Конструкційні параметри, наприклад, довжина сполучення, трансмісія (сукупність агрегатів, призначених для передавання крутного моменту від двигуна до ведучих коліс) та параметри пружини, оптимізовані для визначених користувачем показників, таких як мінімізація споживання енергії або пікового крутного моменту приводу. Автори покращують вищеописані параметри, при цьому не пропонують доступних в плані фінансових затрат рішень для реалізації крокуючих роботів.

Створення модулю контролю для функціонування колісної робототехнічної платформи на базі критеріїв енергоефективності та надійності розкрито у дослідженні [6]. Симуляція показує, що порівняно з традиційним PID-регулюванням, запропоноване FNNC-регулювання дає можливість зменшити час наростання, залишаючи платформу в стабільному стані. Критерій бюджетних рішень для реалізації запропонованих розробок не пропонується.

На основі аналізу досліджень [3-6], можна зробити висновок, що при розробці та проєктуванні сучасних робототехнічних платформ питанню аналіз бюджетних рішень та вибору оптимальних критеріїв удосконалення функціональних можливостей та конструктивних особливостей приділяється незначна увага. Невирішеність цього питання, не дозволяє в повній мірі розробникам робототехнічних платформ збалансувати вартість і якість, забезпечити необхідну функціональність і надійність, а також створити систему, що відповідає сучасним ринковим вимогам. Використання цих критеріїв надає можливість створення ефективних рішень, які можуть бути впроваджені в різних галузях, забезпечуючи при цьому економічну ефективність та високі технічні характеристики.

Виклад основного матеріалу та отриманих наукових результатів. Розглянемо різні бюджетні рішення, які можна використовувати для створення та керування робототехнічними платформами в першу чергу необхідно звернути увагу на форм-фактор контролера, що показує технічні можливості, а також накладає загальні конструктивні обмеження. Визначимо, що малорозмірними типами контролерів на ринку являються Arduino Nano, Arduino Micro та Arduino Pro Mini, які підійдуть для використовуються в малих проєктах з малим набором функціональних можливостей. Більші плати створені для розширення кількості входів/виходів для забезпечення масштабованості проєктів.

Представимо одним рисунком 1 порівняння розмірів різних конструктивних контролерів серії MCU, при цьому необхідно враховувати, що не всі виробники вказують коректну інформацію про розміри. При проєктуванні робототехнічних платформ необхідно здійснювати уточнення фізичних розмірів обраних друкованих плат (англ. printed circuit board, PCB).

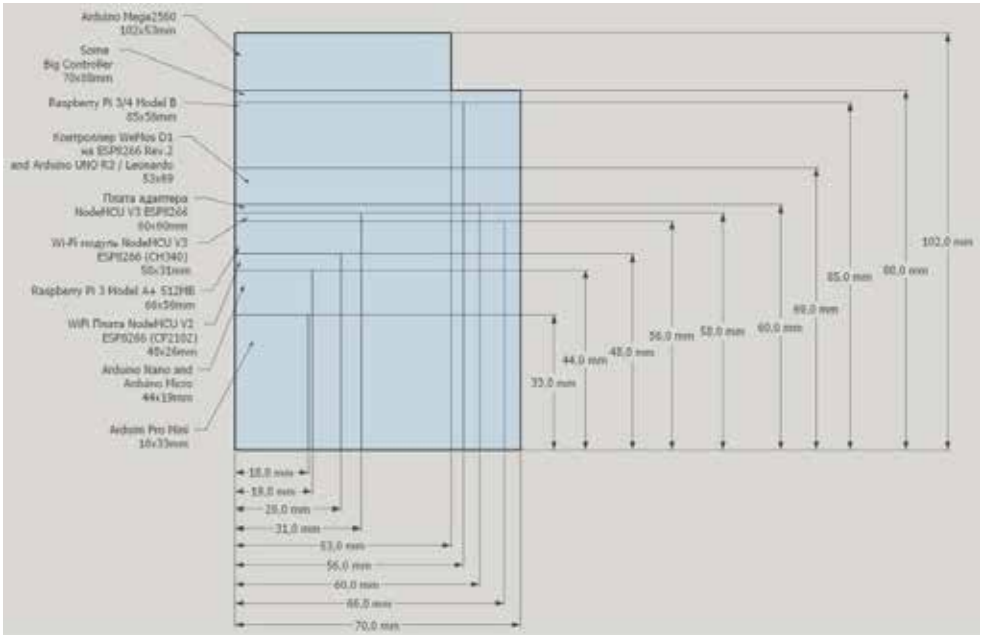


Рис. 1. Розміри плат PCB деяких популярних модулів MCU

Відповідно до критеріїв популярності та дешевизни практичними рішеннями є Arduino та Raspberry Pi. Найсуттєвіша відмінність між Arduino та Raspberry Pi полягає в тому, що перший є мікроконтролером, який може виконувати лише скомпільований код C, тоді як другий може додатково функціонувати як автономна система. Тим не менш, Raspberry Pi не завжди є кращим вибором для різноманітних систем, про що свідчать слабкі сторони, недосконаліть сценаріїв застосування тощо. Плати Arduino насамперед показують себе у двох аспектах: по-перше, вони пропонують попередньо встановлені можливості обробки, включаючи периферійні пристрої (введення/виведення та інтерфейси), привабливі навіть для тих, хто має обмежені знання електроніки. По-друге, ключовою перевагою цих італійських платформ є їхнє спеціально створене середовище розробки, яке містить інтерфейс програмування, забезпечений готовими до використання бібліотеками, що спрощує процес кодування. Крім того, оскільки інтегроване середовище розробки IDE написана мовою Java, що являється є кросплатформною та має узгоджені інтерфейси для Windows, Linux і macOS.

Однак простота плат Arduino не завжди є перевагою. Хоча IDE надійно підтримує апаратні диски, починаючим програмістам може бути складно отримати знання про традиційне написання коду цим шляхом. Покладання виключно на готові до використання бібліотеки створює ризик обійти незалежне програмування, потенційно звужуючи сферу можливих дій. Іншим обмеженням Arduino є випадкова необхідність розширити налаштування плати мікроконтролера за замовчуванням за допомогою додаткових інтерфейсів і функцій введення/виведення. Хоча стандартизоване апаратне забезпечення дозволяє легко оновлювати через Shields, витрати на проєкт можуть зрости при включенні додаткових модулів, таких як Ethernet, світлодіоди та інші модулі.

Відмінною рисою Raspberry Pi є готове до розгортання апаратне забезпечення, що позбавляє користувачів важкої роботи зі збирання технологічної основи для проєктів DIY. На відміну від плат Arduino, Raspberry Pi містить усі необхідні компоненти, що дозволяє автономно працювати з цим міні-комп'ютером. Крім того, більшість моделей оснащені стандартними мережевими функціями (Ethernet, WLAN або обидва) – лише у версіях A та A++ Pi 1 разом з урізаним Pi Zero немає таких інтерфейсів. Завдяки таким функціям Raspberry Pi може подвоювати роль платформи програмування та центру програм, починаючи від приватних хмар і веб-серверів до серверів VPN на Raspberry Pi.

Однією з головних подібностей між Arduino та Raspberry Pi є те, що вони обидва працюють за принципом «підключи та працюй», що усуває потребу в конструюванні та тестуванні електронних схем або паянні друкованих плат. Розбіжності в їхніх реальних програмах головним чином випливають із фундаментальних відмінностей між Raspberry Pi та Arduino: плати Arduino, будучи мікроконтролерами, можуть виконувати заздалегідь визначені програми майже без затримки. Середовище розробки, що укомплектоване великою кількістю готових до використання бібліотек економить значну кількість зусиль програмування. З іншого боку, Raspberry Pi, як міні-комп'ютер зі своєю ОС, може виконувати складніші завдання, як-от запуск кількох програм паралельно або послідовно. Крім того, стандартно поставляється з різними інтерфейсами та портами (HDMI, WiFi, LAN), тоді як плати Arduino потребують додаткових щитів для забезпечення цих функцій.

Визначимо, що якщо потрібен простий та надійний мікроконтролер для виконання завдань в реальному часі, то потрібно обрати Arduino. Arduino підходить для проєктів з обмеженим бюджетом та простими вимогами. З іншого боку, якщо потрібно створити більш складні проєкти, які вимагають повноцінного операційного середовища, то Raspberry Pi може бути більш підходящим варіантом.

Одним із комбінованих по функціоналу мікроконтролерів є серія STM32. Завдяки архітектурі ARM Cortex-M ці мікроконтролери пропонують високу продуктивність, енергоефективність і надійність, а також мають вбудований стек. Крім того, вони мають апаратну підтримку обробки векторів переривань, що забезпечує швидку та ефективну обробку даних. Ця архітектура є однією з найпопулярніших для вбудованих систем і мікроконтролерів, які використовуються в різних сферах, таких як автомобільна, медична. Однією з головних переваг ARM Cortex-M є його простота та ефективність. Ці аспекти дозволяють процесору виконувати велику кількість дій швидко та ефективно та з високою продуктивністю і низьким енергоспоживанням [7].

Мікроконтролерів STM32 забезпечують високий рівень безпеки,наприклад на рівні апаратного захисту, також відбувається AES шифрування даних. Даний тип мікроконтролерів має розміри схожі з розмірами плат Arduino і тому має такі самі обмеження форм-фактору.

Мікроконтролери STM32 засновані на 32-бітних RISC ядрах ARM Cortex M0/M0+, M3, M4 і M7 і поділяються на 4 основні сімейства: Для бездротових рішень: STM32WB3 і STM32WL3. Енергоефективні: STM32L0, STM32L1, STM32L5, STM32L4 і STM32L4+. Стандартні: STM32F0, STM32G0, STM32F1, STM32F3 і STM32G4. Високопродуктивні: STM32F2, STM32F4, STM32F7 і STM32H7. Ядра Cortex-M0-M7 відрізняються продуктивністю (Cortex-M0 – 0.84 DMIPS / МГц, Cortex-M3/M4 – 1.25DMIPS / МГц), системою команд і деякими особливостями ядра (чим більше номер ядра, тим більше продуктивність і більше функцій).

Спеціалізований мікроконтролер ESP32 – це Wi-Fi мікроконтролер китайського виробника Espressif з двоядерним 32-розрядним процесором Tensilica Xtensa LX6 та 520 Кб пам'яті SRAM. Контролер має тактову частоту до 240 МГц залежно від режиму споживання енергії. Даний тип мікроконтролерів став популярний за рахунок дешевизни, а також доступності та контролю на відстані за допомогою Bluetooth та Zigbee і тмоу потребують додаткові моделі для контролю на відстані. Для розробки підтримується Arduino IDE та PlatformIO. Мікроконтролери цієї серії широко використовуються в проєктах промислової автоматики, а саме робототехніці. Слід наголосити, що в більшості Інтернет-ресурсах наявна неточна інформація по ESP32, написана авторами з низькою кваліфікацією. Здебільшого називають ESP32 платою, але це є серія мікроконтролерів.

На основі проведеного аналізу виведемо оптимальні критерії мікроконтролерів для удосконалення функціональних можливостей та конструктивних особливостей робототехнічних платформ. Ключовими обмежувальними характеристиками для можливості подальшого удосконалення є продуктивність та обчислювальна потужність мікроконтролеру, що залежить від наступного:

1. Розрядність процесора: мікроконтролери бувають 8-бітними, 16-бітними та 32-бітними. Розрядність визначає обсяг даних, який мікроконтролер може обробляти за один такт. 8-бітні (наприклад, AVR): менш потужні, використовуються для простих задач, таких як керування світлодіодами або простими сенсорами; 32-бітні (наприклад, ARM Cortex-M): мають вищу продуктивність і можуть виконувати складні обчислення, обробляти сигнали з високою частотою та працювати з великими обсягами даних.

2. Швидкість обробки даних: тактова частота визначає, скільки операцій мікроконтролер може виконати за дуже короткий проміжок часу. Наприклад, мікроконтролер з тактовою частотою 72 МГц може виконувати до 72 мільйонів інструкцій за секунду. Висока тактова частота (більше 48 МГц) необхідна для задач, що потребують швидкої обробки даних, наприклад, для управління роботом в реальному часі або обробки великих масивів даних (відеосигналу). Більш низька тактова частота підходить для простих задач, де не потрібна швидка реакція системи.

3. Оперативна пам'ять (RAM): використовується для зберігання тимчасових даних під час виконання програм. Більший обсяг RAM дозволяє виконувати складніші алгоритми і працювати з більшими обсягами даних. Для базових задач може вистачати 2-8 КБ RAM. Для більш складних задач, таких як обробка даних з кількох сенсорів одночасно, потрібно 32-128 КБ RAM.

4. Постійна пам'ять (Flash/EEPROM): використовується для зберігання програмного коду та конфігурацій. Більший обсяг пам'яті дозволяє зберігати більш об'ємний програмний код, а також великі бібліотеки. Для простих програм може вистачати 16-32 КБ Flash. Для розширених функцій і бібліотек, що забезпечують роботу з сенсорами, комунікаційними модулями та іншими пристроями, потрібно 256-512 КБ Flash.

5. Підтримка багатозадачності: деякі мікроконтролери підтримують багатозадачність, що дозволяє виконувати кілька процесів одночасно. Це важливо для задач, де роботу потрібно одночасно керувати рухом, обробляти дані з сенсорів і забезпечувати комунікацію, що досить актуально для робототехнічних платформ.

6. Реакція на переривання: мікроконтролери повинні швидко реагувати на переривання, наприклад, на сигнали з сенсорів або інших пристроїв. Низька

затримка між виникненням переривання і його обробкою є критичною для робототехнічних платформ реального часу.

Характеристиками для можливості подальшого функціонального удосконалення шляхом додавання нових деталей є:

1. Масштабованість та модульність: оптимальний мікроконтролер має підтримувати широкий набір цифрових і аналогових входів/виходів, таких як UART, SPI, I2C, PWM. Це дозволяє легко підключати різні сенсори, актуатори та інші периферійні пристрої, забезпечуючи масштабованість і гнучкість системи. Мікроконтролери з можливістю підключення додаткових модулів і плат розширення (наприклад, через шини GPIO або спеціалізовані роз'єми) дозволяють легко адаптувати платформу до нових задач або змінювати її функціональність без повного перепроєктування.

2. Сумісність та легкість програмування: мікроконтролери, що підтримують програмування на C/C++ (наприклад, використання PlatformIO або Arduino IDE), забезпечують легкість у розробці та інтеграції програмного забезпечення. Це важливо для бюджетних проєктів, де швидкість і зручність розробки мають велике значення. А велика кількість готових бібліотек і прикладів коду для роботи з периферією, комунікаційними модулями і сенсорами значно спрощує розробку функціональних можливостей робототехнічних платформ.

3. Наявність апаратної підтримки для спеціальних інструкцій: апаратні прискорювачі для операцій з плаваючою комою, що особливо важливо для обробки сигналів або складних математичних розрахунків.

4. Комунікаційні можливості: мікроконтролери з вбудованою підтримкою Wi-Fi або Bluetooth забезпечують можливості дистанційного керування, збору даних та інтеграції з іншими системами. Наприклад, ESP32 є популярним бюджетним рішенням з вбудованими Wi-Fi та Bluetooth.

5. Гнучкість конструкції: забезпечення гнучкості в підключенні та керуванні різними типами сенсорів і виконавчих механізмів, що дозволяє використовувати робототехнічну платформу для різних завдань без значних модифікацій. Можливість простого оновлення прошивки та достатній запас обчислювальної потужності для адаптації до нових функцій і завдань.

Виведемо додаткові характеристиками для зменшення енергоспоживання:

1. Використання мікроконтролерів з низьким енергоспоживанням: мікроконтролери, такі як STM32 або ESP32, забезпечують енергоефективність завдяки режимам зниженого споживання енергії. Це важливо для автономних робототехнічних систем, де економія енергії дозволяє збільшити тривалість роботи від батарей.

2. Інтеграція режимів енергозбереження: впровадження енергозберігаючих режимів сну та очікування, що знижує споживання енергії під час простою або в моменти низької активності.

Висновки. Визначені критерії надають цілісне уявлення про те, на що слід звертати увагу при проєктуванні та удосконаленні бюджетних робототехнічних платформ. Вони дозволяють розробникам збалансувати вартість та якість, забезпечити необхідну функціональність і надійність, а також створити систему, що відповідає сучасним вимогам і стандартам. Використання цих критеріїв надає можливість створення ефективних рішень, які можуть бути впроваджені в різних галузях, забезпечуючи при цьому економічну ефективність та високоефективні технічні характеристики. Аналіз бюджетних рішень відкриває нові можливості для розробників, забезпечуючи гнучкість у виборі компонентів, які відповідають специфічним вимогам проєкту.

Таким чином, конструктивний аналіз бюджетних рішень є важливим кроком для забезпечення надійності, ефективності та інноваційності в розробці робототехнічних платформ. Це дозволяє створювати конкурентоспроможні рішення, які можуть адаптуватися до змінюваних умов і вимог ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Neupane, S., Mitra, S., Fernandez, I., Saha, S., Mittal, S., Chen, J., Pillai, N., & Rahimi, S. (2024). Security Considerations in AI-Robotics: A Survey of Current Methods, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access, 12*, 22072–22097. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3363657

2. Грозмані, Я., Майдан, П., Макаришкін, Д., Соколан, К., & Радельчук, Г. (2023). Моделювання автоматичної системи керування автономним мобільним роботом. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 240–244. https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-32

3. Nguyen, T.-T., Somers, L., Bosch, J., De Cubber, G., Janssens, B., & Bruyninckx, H. (2023). Affordable and Customizable Research and Educational Aerial and Surface Vehicles Robot Platforms -first implementation. *17th Mechatronics Forum International Conference*, 11-12 September 2023, Leuven, Belgium. https://mechatronics2023.eu/

4. Weerakkodi, N., Zhura, I., Babataev, I., Nazarova, E., Fedoseev, A., & Tsetserukou, D. (2022). HyperDog: An Open-Source Quadruped Robot Platform Based on ROS2 and micro-ROS. *Intelligent Space Robotics*, 1–6. https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.09171

5. Chadwick, M., Kolvenbach, H., Dubois, F., Lau, H., & Hutter, M. (2020). Vitruvio: An Open-Source Leg Design Optimization Toolbox for Walking Robots. *IEEE Robotics and Automation Letters, 5*(4), 6318–6325. https://doi.org/10.1109/LRA.2020.3013913

6. Wang, X., Tu, C., & Pius, O. (2023). Robot Wheels Controller System. In: Nagar, A.K., Singh Jat, D., Mishra, D.K., Joshi, A. (eds) *Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, 579*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7663-6_33

7. Романчук, Р. О. (2023). Особливості та загальні характеристики мікроконтролерів STM32. VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 167–167. http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41140

REFERENCES:

1. Neupane, S., Mitra, S., Fernandez, I., Saha, S., Mittal, S., Chen, J., Pillai, N., & Rahimi, S. (2024). Security Considerations in AI-Robotics: A Survey of Current Methods, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access, 12*, 22072–22097. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3363657 [in English].

2. Hrozmani, Ya., Maidan, P., Makaryshkin, D., Sokolan, K., & Radelchuk, H. (2023). Modeliuvannia avtomatychnoi systemy keruvannia avtonomnym mobilnym robotom [Modeling of the automatic control system of an autonomous mobile robot]. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4), 240–244. https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-32 [in Ukrainian].

3. Nguyen, T.-T., Somers, L., Bosch, J., De Cubber, G., Janssens, B., & Bruyninckx, H. (2023). Affordable and Customizable Research and Educational Aerial and Surface Vehicles Robot Platforms -first implementation. *17th Mechatronics Forum International Conference*, 11-12 September 2023, Leuven, Belgium. https://mechatronics2023.eu/ [in English]

4. Weerakkodi, N., Zhura, I., Babataev, I., Nazarova, E., Fedoseev, A., & Tsetserukou, D. (2022). HyperDog: An Open-Source Quadruped Robot Platform Based on ROS2 and micro-ROS. *Intelligent Space Robotics*, 1–6. https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.09171 [in English]

5. Chadwick, M., Kolvenbach, H., Dubois, F., Lau, H., & Hutter, M. (2020). Vitruvio: An Open-Source Leg Design Optimization Toolbox for Walking Robots. *IEEE Robotics and Automation Letters, 5*(4), 6318–6325. https://doi.org/10.1109/LRA.2020.3013913 [in English]

6. Wang, X., Tu, C., & Pius, O. (2023). Robot Wheels Controller System. In: Nagar, A.K., Singh Jat, D., Mishra, D.K., Joshi, A. (eds) *Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, 579*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7663-6_33 [in English]

7. Romanchuk, R. O. (2023). Osoblyvosti ta zahalni kharakterystyky mikrokontroleriv STM32 [Features and general characteristics of STM32 microcontrollers]. *VI Mizhnarodna studentska naukovo-tekhnichna konferentsiia «Pryrodnychi ta humanitarni nauky. Aktualni pytannia» – VI International Student Scientific and Technical Conference «Natural and human sciences. Current issues»*, 167–167. http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41140 [in Ukrainian].

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

SYSTEM ANALYSIS

UDC 519.86
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.17

MODELS OF ECONOMIC EQUILIBRIUM: COMPARATIVE ANALYSIS AND SEARCH FOR BALANCE

Bilousova T. P. *– Senior Lecturer at the Department of Management, Marketing and Information Technologies of the Kherson State Agrarian and Economic University*
ORCID ID: 0000-0002-6982-8960

This work presents models of economic equilibrium by L. Walras and V. Kardash. The Walras model, created in the second half of the XIX century, is the first mathematical model of general economic equilibrium. It is based on the concept of perfect competition and assumes that all market participants act rationally, striving to maximize their benefit. The model defines an abstract system in which rational individuals operate, optimizing their objective functions. At the same time, there is perfect competition, which means that no individual participant can influence the market situation. The Kardash's model, developed in the XXI century, is a more modern and realistic model. It is based on the concept of a compromise economic balance and takes into account the presence of conflicts of interests between market participants. The article highlights the main differences between the models of L. Walras and V. Kardash, such as: the concept of modeling economic equilibrium; the mechanism for achieving economic equilibrium; the process of formation of equilibrium prices; supply and demand functions; determination of the state of equilibrium; degree of aggregation. Analyzing these differences, we come to the conclusion that V. Kardash's model is a more modern and promising model for modeling equilibrium states under the conditions of a market economy. The model has such advantages as: constructability; practical orientation; socio-economic orientation. Kardash's model uses specific marginal functions of demand and supply, which allows it to be applied to practical problems. It takes into account the conflict-compromise nature of market relations, which makes it more realistic and allows modeling not only competitive, but also socio-economic equilibrium. The article establishes that V. Kardash's model is a qualitatively new stage in the development of the theory of general economic equilibrium. It allows more complete and accurate reflection of real economic processes.

Key words: *economic equilibrium, L. Walras model, V. Kardash model, competitive mechanism, compromise equilibrium.*

Білоусова Т. П. Моделі економічної рівноваги: порівняльний аналіз та пошук балансу
У цій роботі представлені моделі економічної рівноваги Л. Вальраса та В. Кардаша. Модель Вальраса, створена у другій половині XIX століття, є першою математичною моделлю загальної економічної рівноваги. Вона основана на концепції досконалої конкуренції та передбачає, що всі учасники ринку діють раціонально, прагнучи максимізації своєї вигоди. Модель визначає абстрактну систему, у якій діють раціональні індивіди, які оптимізують свої цільові функції. При цьому має місце досконала конкуренція, яка

означає, що жодний окремий учасник не може вплинути на ринкову ситуацію. Модель Кардаша, розроблена в XXI столітті, є більш сучасною та реалістичною моделлю. Вона грунтується на концепції компромісної економічної рівноваги та враховує наявність конфліктів інтересів між учасниками ринку. В статті виділяються основні відмінності між моделями Л. Вальраса та В. Кардаша такі, як: концепція моделювання економічної рівноваги; механізм досягнення економічної рівноваги; процес формування рівноважних цін; функції попиту та пропозиції; визначення стану рівноваги; ступінь агрегування. Аналізуючи ці відмінності, приходимо до висновку, що модель Кардаша є більш сучасною та перспективною моделлю для моделювання рівноважних станів за умов ринкової економіки. Модель має такі переваги, як: конструктивність; практична спрямованість; соціально-економічна спрямованість. В моделі Кардаша використовуються конкретні граничні функції попиту та пропозиції, що дозволяє застосувати її до практичних завдань. Вона враховує конфліктно-компромісний характер ринкових відносин, що робить її більш реалістичною та дозволяє моделювати не лише конкурентну, а й соціально-економічну рівновагу. В статті встановлено, що модель В. Кардаша є якісно новим етапом у розвитку теорії загальної економічної рівноваги. Вона дозволяє більш повно та точно відображати реальні економічні процеси.

Ключові слова: *економічна рівновага, модель Л. Вальраса, модель В. Кардаша, конкурентний механізм, компромісна рівновага.*

Introduction. The theory of general economic equilibrium examines issues of interaction between the main participants in the economy – producers and consumers – in terms of prices and volumes of factors and goods. In general terms, economic equilibrium involves the establishment of prices at which all participants in the economic system achieve the best results for themselves. The state of economic equilibrium is distinguished by the fact that none of the participants is interested in changing it with the help of the means at its disposal.

The first mathematical model of general economic equilibrium was created in the second half of the 19th century by the outstanding French economist L. Walras [1]. Despite the fact that this model was purely theoretical, the ideas contained in it had a significant impact on the mathematical modeling of economic processes. Assessing Walras's contribution to economic science, the historian of economic thought J. Schumpeter argued that «We owe to Walras the concept of an economic system and a theoretical apparatus that, for the first time in the history of our economy, effectively captured the pure logic of the relationships and interdependencies of quantitative economic indicators». Such prominent economists as A. Wald, G. Cassel, K. Arrow, J. Debreu, J. von Neumann, L. McKenzie, J. Hicks, P. Samuelson, V. Pareto and others worked in the field of economic equilibrium modeling [2-3].

Formulation of the problem. Currently, the concept of compromise economic equilibrium is becoming increasingly developed and widespread, in line with which lies the compromise economic analysis first proposed by V. Kardash [4]. A distinctive feature of compromise analysis is that it is based on indicators expressing the state of compromise alignment of interests of economic entities. In this regard, of particular interest is a comparative analysis of the historically first model of economic equilibrium of L. Walras with one of the modern models of economic equilibrium developed by V. Kardash.

Presenting main material. *1. Formal and substantive analysis of the models of L. Walras and V. Kardash.* Walrasian economics is an abstract system in which rational individuals act, optimizing their objective functions. All necessary information is contained in prices and is equally available to all participants in the economic system. In this case, perfect competition takes place, meaning that no individual participant can influence the market situation, and it, in turn, provides them with equal opportunities to realize their preferences. The main idea of the Walras model is that,

under a certain price system, all participants in the economic system achieve the best result for themselves, and a distribution of goods and factors occurs that resolves all conflict situations between the participants. This situation in an economic system is called competitive equilibrium.

The formal representation of the Walras model is as follows [1]. An economy with l consumers, m producers and n types of goods is considered. Each consumer is characterized by an income function $K_i(p)$ and a demand function $\Phi_i(p)$. The amount of income of each consumer consists of two values: from the sale of his initial stock of goods b_i bi and income as a result of the consumer's participation in the production of $I_i(p)$. Then we get

$$K_i(p) = \langle b_i, p \rangle + I_i(p), \quad i = 1,2,\ldots,l.$$

The consumer demand function has the form

$$\Phi_i(p) = \begin{cases} x_i : x_i \in X_i(p), u_i(x) = \max\limits_{x_i' \in X_i(p)} u_i(x_i'), i = 1,2,\ldots,l; \\ 0, \text{otherwise.} \end{cases}$$

The manufacturer is characterized by a set of production plans $Y_k \in R^n$ and a supply function $\psi_k(p)$ of type

$$\psi_k(p) = \{ y_k \in Y_k : \langle y_k, p \rangle = \max_{y_k' \in Y_k} \langle y_k', p \rangle, k = 1,2,\ldots,m. \}.$$

The set $\left(y_1^*,\ldots,y_m^*,x_1^*,\ldots,x_l^*,p^*\right)$ defines the competitive equilibrium in the Walras model, if

$$y_k^* \in \psi_k(p^*), \quad k = 1,2,\ldots m; \tag{1}$$

$$x_i^* \in \Phi_i(p^*), \quad i = 1,2,\ldots l; \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{m} y_k^* + \sum_{i=1}^{l} b_i \geq \sum_{i=1}^{l} x_i^*; \tag{3}$$

$$\left\langle p^*, \sum_{k=1}^{m} y_k^* + \sum_{i=1}^{l} b_i \right\rangle = \left\langle p^*, \sum_{i=1}^{l} x_i^* \right\rangle. \tag{4}$$

Conditions (1) and (2) mean that each of the participants, considering prices as given, acts in the best way for himself. Condition (3) means that aggregate demand should not exceed aggregate supply, and condition (4) shows that the cost of goods purchased is equal to the cost of goods sold.

In his model of general economic equilibrium, Walras sought to describe the mechanism of perfect competition, when there are a large number of producers and consumers in the market, so that none of them is able to influence market prices. There is another interpretation of the Walras model, according to which it is considered as a scheme of optimal planning based on the coordination of decentralized decisions. It is assumed that the system is running certain rules for price changes and norms of behavior that ensure the achievement of equilibrium [5-7].

In Kardash's economics, the central position is occupied by the law of economic compromises, the essence of which is that conflicts in economic relations are resolved through compromise coordination of divergent interests [2,4]. For the manufacturer, the parameters that determine its competitiveness and the maximum possible profit from selling goods on the market are important. For the consumer, the interest is focused on

the parameters that determine his ability to pay and the maximum possible satisfaction from his purchase on the market. In the process of forming a market compromise, the interests of the producer and consumer are coordinated, as a result of which a resultant interest is developed, expressed by the parameters of a mutually acceptable transaction (P,Y), where P is the price of the product, Y is the volume of purchase and sale of the product. The main idea of the Kardash model is that by compromising the conflicting interests of economic entities, an equilibrium price system is formed, in which the maximum reserve of economic power of consumers and producers is realized. This market situation is called a compromise equilibrium.

Now let us present a formal representation of the Kardash model. We consider an economy that includes n interacting commodity markets. Let D_j be the maximum possible amount of money available to the buyer in the market for the j th product. Then, at price P_j, the consumer's boundary demand function will have the form $Y_j(P_j) = \frac{D_j}{P_j}, \quad j = 1,2,\ldots,n.$

Let D'_j be the minimum required profit that a manufacturer must receive in the market for the j th product, and c_j be the costs of production and sale of a unit of product. Then the manufacturer's boundary supply function will take the form:

$$Y'_j(P_j) = \frac{D'_j}{P_j - c_j}, \quad j = 1,2,\ldots,n.$$

Let us define the set of permissible transactions M in a system of interconnected commodity markets:

$$M = \cap M_j = \left\{(P,Y):(P_j - c_j)Y_j \geq D'_j; P_j Y_j \leq D_j, j = 1,2,\ldots,n.\right\}.$$

The set $(P_1^*,\ldots,P_n^*,Y_1^*,\ldots,Y_n^*)$ specifies a compromise equilibrium in the Kardash model if

$$(P_1^*,\ldots,P_n^*,Y_1^*,\ldots,Y_n^*) \in M; \tag{5}$$

$$P_j^* = \arg\max_{P_j} \Delta Y_j = \arg\max_{P_j}\left(\frac{D_j}{P_j} - \frac{D'_j}{P_j - c_j}\right) = c_j \frac{1}{1-\sqrt{\phi_j}}, \quad j = 1,2,\ldots,n. \tag{6}$$

$$Y_j^* = \frac{D_j}{P_j^*}, \quad j = 1,2,\ldots,n. \tag{7}$$

Condition (5) means that in the economic system such compromise transactions are made when buyers are solvent and producers are competitive. Compromise mechanism for coordinating interests consumers and producers is implemented in conditions (6), from which the system of compromise-equilibrium prices $(P_1^*,\ldots,P_n^*)$ is determined. Relations (7) allow us to calculate the compromise-equilibrium purchase and sale volumes $(Y_1^*,\ldots,Y_n^*)$. It can be seen from this that the Kardash model (5)–(7) differs from the Walras model (1)–(4) by its pronounced constructiveness in the construction of boundary functions of supply and demand, as well as the implementation of a compromise mechanism for resolving conflict situations in market transactions. The latter gives reason to say that the Kardash model may have practical applications. In Walras's model, the mechanism for resolving conflict situations is not specified, but is presented only at an abstract level. In addition, the main disadvantage of the Walras

model is that the demand and supply functions are difficult to determine in practice, which reveals its theoretical nature.

2. Analysis of equilibrium states in the models of L. Walras and V. Kardash. The presented models of economic equilibrium differ not only in their ideological content and the mathematical apparatus used, but also in the graphical representation of the equilibrium position. In the Walras model, the state of equilibrium is determined in coordinates (p, y) by the point of intersection of the demand and supply curves, the type of which, as already mentioned, cannot be determined. A graphical illustration of this model is shown in Fig. 1. For his model, Walras did not even try to derive mathematically strict conditions for the existence of equilibrium, but limited himself to only demonstrating a possible mechanism of movement towards equilibrium, the so-called "groping" process [3, 5].

Walras suggested that there could be two types of this process. The first is that the movement starts from an arbitrary vector of prices, and the exchange is made at these "wrong prices". In this case, some participants find themselves are winners and others are losers. Thus, the principle of individual maximization is violated, concluded transactions are canceled and new prices are offered, at which transactions are "concluded" at the next stage, etc. This method involves a long process of trial and error, which in principle can reach an equilibrium.

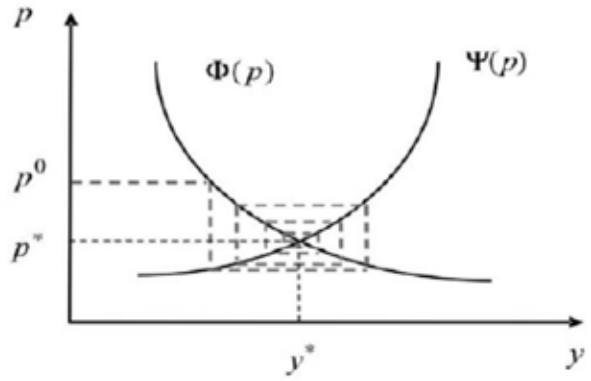


Fig. 1. The "groping" mechanism in the Walras model

Walras considered a process controlled by a certain "auctioneer" to be a more reliable way to achieve equilibrium. The latter first sets arbitrary prices, after which all market participants make conditional transactions and report their results to the "auctioneer". Based on the bids, the "auctioneer" adjusts prices, thus simulating a process of trial and error. Transactions are concluded only after the "auctioneer" announces equilibrium prices. Walras called this process of movement towards equilibrium "groping".

A distinctive feature of the Kardash model is the formation in the same coordinates (P, Y) of a key set of permissible transactions M, limited by specific marginal supply and demand curves. A graphic illustration of the model is shown in Fig. 2.

The equilibrium state corresponds to the point at which the boundary supply and demand curves are as far apart as possible from each other along the Y coordinate. It is at this point that the maximum reserve of economic forces of the consumer and producer is realized, expressed by the ratio $\Delta Y^* = \max \Delta Y(P)$. At the same time, there is clearly no exogenous process of formation of equilibrium prices. What is fundamentally

important here is that the Kardash model contains the idea of market self-regulation of the economy, which distinguishes it from the Walras model, where the regulatory function is carried out by an outside "auctioneer".

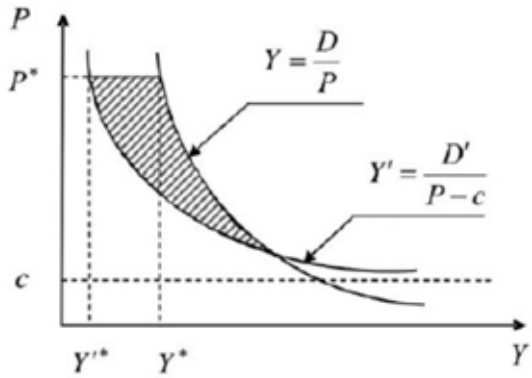


Fig. 2. Set of valid transactions in the Kardash model

Conclusions. Thus, Walras's model, in its purely theoretical formulation, contributed only to the formation of an understanding of general equilibrium and turned out to be poorly suited for modeling and analysis of real economic systems. Walras tried to study the functioning of a perfectly competitive market on an abstract level. At the same time, V. A. Kardash, in his concept of compromise economic equilibrium, managed not only to describe the very real conflict-compromise market mechanism of a competitive economy, but also to give this concept a pronounced constructiveness and practical orientation. The Kardash model is a modern alternative to the Walras model for modeling equilibrium states in a market economy. The concept of compromise economic equilibrium and compromise economic analysis can be considered a qualitatively new stage in the development of the theory of general economic equilibrium. Walras's idea of economic equilibrium as a state in which the maximum of individual utility functions is achieved is far from complete from the point of view of reflecting socio-economic equilibrium. Walras was able to describe only the conflict side of socio-economic interactions based on the action of the competitive mechanism, which revealed the static nature of his approach to modeling economic systems. From the point of view of V. Kardash, the unity and interaction of conflicts and compromises in the system of economic relations represent the internal driving force of the universal mechanism of functioning and self-organization of economic systems.

BIBLIOGRAPHY:

1. Walras L. Elements d'Economie Politique Pure. Revue de Théologie et de Philosophie et Compte-rendu des Principales Publications Scientifiques. 1874. Vol. 7. P. 628–632. URL: https://www.jstor.org/stable/44346456?seq =1#metadata_info_tab_ contents

2. Андрейчикова А. М. Еволюція поглядів на проблему ризику в економічній науці. Економічний вісник Національного гірничого університет. 2014. № 1. (45). С. 38-49.

3. Bilousova T. General economic equilibrium models. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2024. № 20. С. 38-42. DOI: https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.4

4. The equilibrium ownership of an international oligopoly, Journal of International Economics, Volume 53, Issue 2, 2001, Pages 307-333, https://doi.org/10.1016/S0022-1996(00)00059-3. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022199600000593)

5. Білоусова, Т. (2021). Математична модель оптимального ринку багатьох товарів. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка.2021. № 10. С. 135-142. DOI: https://doi.org/10.32851/2708-0366/2021.10.18

6. Bilousova T. Assessment of market equilibrium of basic dynamic models. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2023. № 17. С. 181-187.

7. Bilousova T. Nonlinear mathematical model of demand – supply. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2023. № 18. С. 256-261. DOI: https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.18.29

8. Дебела І. М. Класифікація станів системи за вектором параметрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. 2022. № 11. С. 114–119. DOI: https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.16

REFERENCES:

1. Walras L. Elements d'Economie Politique Pure. Revue de Théologie et de Philosophie et Compte-rendu des Principales Publications Scientifiques. 1874. Vol. 7. P. 628–632. URL: https://www.jstor.org/stable/44346456?seq =1#metadata_info_tab_contents

2. Andreichykova A. M. (2014) Evoliutsiia pohliadiv na problemu ryzyku v ekonomichnii nautsi [Evolution of views on the problem of risk in economic science]. Ekonomichnyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytet – Economic Bulletin of the National Mining University, 1(45), 38-49 [in Ukrainian].

3. Bilousova T. (2024) General economic equilibrium models. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 20, 38-42 [in Ukrainian].

4. The equilibrium ownership of an international oligopoly, Journal of International Economics, Volume 53, Issue 2, 2001, Pages 307-333, https://doi.org/10.1016/S0022-1996(00)00059-3. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022199600000593)

5. Bilousova T.P. (2021) Matematychna model optymalnoho rynku bahatokh tovariv [Mathematical model of the optimal market of many goods]. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 10, 135-142 [in Ukrainian].

6. Bilousova T. (2023) Assessment of market equilibrium of basic dynamic models. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 17, 181-187 [in Ukrainian].

7. Bilousova T. (2023) Nonlinear mathematical model of demand – supply. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 18, 256-261 [in Ukrainian].

8. Debela I. M. (2022) Klasy`fikaciya staniv sy`stemy` za vektorom parametriv [Classification of system states by parameter vector]. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 10, 114-119 [in Ukrainian].

УДК 004.6, 004.8, 004.942, 004.021: 519.6
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.18

МЕТОДИ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРОЄКТІВ: ТРАДИЦІЙНІ ПІДХОДИ ТА МАШИННЕ НАВЧАННЯ

Михайлов Н. О. *– аспірант Київського національного університету імені Тараса Шевченка*
ORCID ID: 0009-0002-9374-3403

У сучасному світі ефективність та швидкість виступають основними факторами успіху, тому високоефективне планування проєктів стає необхідністю для організацій у різних сферах діяльності. Основна задача планування полягає у розробці та впровадженні стратегій і тактик, націлених на оптимізацію використання ресурсів, скорочення часу виконання та підвищення якості фінального результату. Цей процес вимагає систематичного підходу, детального аналізу, врахування ризиків та гнучкого управління змінами, що робить його одним із найважливіших аспектів успішного проєктного менеджменту.

До традиційних методів управління проєктами належать метод критичного шляху (CPM), який дозволяє визначити найтриваліші послідовності завдань, які мають великий вплив на загальну тривалість проєкту, та метод програмування в мережі (PERT), що враховує невизначеність у часі виконання задач. Метод дерева рішень допомагає зобразити можливі шляхи розвитку подій і обрати оптимальний варіант рішень, беручи до уваги потенційні ризики та наслідки. Ітеративний та інкрементальний підхід дозволяє покращувати продукт покроково, адаптуючи його до нових вимог і змін у проєкті.

Сучасні технології, зокрема алгоритми машинного навчання (ML), відкривають нові можливості для оптимізації процесів планування проєктів. Використання ML дозволяє робити точні прогнози щодо термінів виконання, оцінки ризиків та оптимального розподілу ресурсів. Машинне навчання допомагає автоматизувати процес прийняття рішень, знижуючи ризики та підвищуючи адаптивність проєктів до змін. Наприклад, регресійні моделі дозволяють передбачати часові рамки, а класифікаційні алгоритми допомагають оцінювати можливі ризики на ранніх стадіях.

Поєднання традиційних методів управління з новітніми технологіями, дозволяє створювати більш ефективні та адаптивні системи управління проєктами, що сприяє досягненню високих результатів за умови дотримання встановлених термінів і ресурсних обмежень.

Ключові слова: *високоефективне планування проєктів, управління проєктами, машинне навчання, штучний інтелект, метод критичного шляху, метод програмування в мережі, дерево рішень, ітеративний підхід, інкрементальний підхід, оптимізація ресурсів.*

Mykhailov N. O. Methods of high-efficiency project planning: traditional approaches and machine learning

In today's world, efficiency and speed are the main success factors, so highly effective project planning is necessary for organizations in various fields of activity. The main task of planning is to develop and implement strategies and tactics aimed at optimizing the use of resources, reducing execution time, and improving the quality of the final result. This process requires a systematic approach, detailed analysis, consideration of risks, and flexible change management, making it one of the most important aspects of successful project management.

Traditional project management methods include the critical path method (CPM), which allows you to identify the longest sequence of tasks that have a large impact on the overall project duration, and the programming network method (PERT), which takes into account uncertainty in the execution time of tasks. The decision tree method helps to depict possible ways of developing events and to choose the optimal option for decisions, taking into account potential risks and consequences. An iterative and incremental approach allows you to improve the product step by step, adapting it to new requirements and changes in the project.

Modern technologies, in particular machine learning (ML) algorithms, open up new opportunities for optimizing project planning processes. The use of ML makes it possible to make accurate predictions regarding the timing of execution, risk assessment, and optimal allocation of resources. Machine learning helps automate the decision-making process, reducing risk and

increasing project adaptability to change. For example, regression models allow for predicting time frames, and classification algorithms help assess possible risks in the early stages.

The combination of traditional management methods with the latest technologies allows to creation more effective and adaptive project management systems, which contribute to achieving high results, subject to compliance with established deadlines and resource limitations.

Key words: *highly effective project planning, project management, machine learning, artificial intelligence, critical path method, network programming method, decision tree, iterative approach, incremental approach, resource optimization.*

Вступ. В умовах високої конкуренції швидке та ефективне планування проєктів є важливим приреквізитом успіху для організацій. Сучасні підходи до управління проєктами включають як традиційні методи, такі як метод критичного шляху та метод програмування в мережі, так і новітні технології, такі як алгоритми машинного навчання. Інтеграція цих підходів дозволяє більш чітко прогнозувати терміни, оцінювати ризики та оптимізувати використання ресурсів, що сприяє підвищенню ефективності та гнучкості управління проєктами.

Метод критичного шляху. Метод критичного шляху (CPM) – це метод управління проєктами, що використовується для визначення основних завдань, яка задають мінімальний час завершення проєкту. CPM базується на створенні графіку проєкта з точними часовими оцінками для кожної задачі. Ключовою концепцією методу є визначення послідовності завдань, яка обумовлює загальну тривалості проєкту, оскільки затримка на будь-якому з критичних завдань призведе до затримки всього проєкту. Процес методу критичного шляху складається з кілької основних кроків. Спочатку складається перелік завдань проєкту, де всі завдання чітко визначаються і додається до списку. Далі відбувається ідентифікація залежностей між завданнями, тобто визначається, які завдання мають бути зроблені перед початком наступних. Після цього кожне завдання отримує часову оцінку, яка характеризує його тривалість. Наступним етапом є побудова сіткової діаграми, де всі завдання та їх залежності зображуються у вигляді графа: вузли представляють завдання, а стрілки – залежності між ними. Фінальним етапом є знаходження критичного шляху – це найтриваліша послідовність завдань, яка має вирішальний вплив на терміни завершення проєкту.

Метод використовує кілька ключових параметрів:

– Ранній початок (ES) – найближчий час, коли завдання може розпочатись.

– Раннє завершення (EF) – найближчий час завершення завдання, що розраховується як

$$EF = ES + t\ ,$$

де t – це тривалість виконання завдання.

– Пізній початок (LS) – найпізніший можливий час початку завдання.

– Пізнє завершення (LF) – найпізніший час завершення завдання, розраховується як:

$$LS = LF - t\ .$$

Резерв часу (Float) показує, на скільки можна відтермінувати виконання завдання без наслідків для тривалості всього проєкту. Розраховується за формулою:

$$Float = LS - ES\ .$$

Якщо резерв часу дорівнює нулю, завдання знаходиться на критичному шляху. Метод критичного шляху має кілька важливих переваг. Він забезпечує чітке розуміння того, які завдання є критичними для успішного завершення проєкту, що дозволяє керівникам сфокусуватися на них. Також метод допомагає оптимізувати

час та ресурси, розподіляючи їх таким чином, щоб отримати максимальну ефективність виконання проєкту. Окрім того, CPM може виявляти можливі затримки до їхнього настання. Це дає змогу своєчасно реагувати на проблеми. Проте даний метод є менш гнучким для проєктів з динамічно змінюваними умовами, оскільки потребує детального планування всіх етапів на початку. Також його використання може бути складним у випадках, коли проєкт містить багато невизначеностей. Це робить необхідним часті коригування плану. CPM широко застосовується в інженерних, будівельних та IT проєктах, де особливо важливо дотримуватися термінів виконання. CPM дозволяє на ранніх етапах виявити критичні елементи та оптимально розподілити ресурси для вчасного завершення [1, с. 160–173].

Метод програмування в мережі. Метод програмування в мережі (PERT) використовується для аналізу та оцінки часу, необхідного для виконання завдань у проєкті. Розроблений у 1950-х роках для американського Військово-морського флоту, метод PERT призначений для проєктів з високим рівнем невизначеностей. Основна ціль методу – визначити ймовірні часові рамки для виконання кожного завдання. Це дозволяє менеджерам краще прогнозувати загальну тривалість проєкту. У PERT використовуються три оцінки для кожного завдання:

– Оптимістична оцінка (O) – мінімальний час для завершення завдання.
– Песимістична оцінка (P) – максимальний час виконання завдання.
– Ймовірна оцінка (M) – найбільш вірогідний час виконання завдання.

На основі цих трьох оцінок можна обчислити очікувану тривалість завдання за допомогою формули:

$$T_e = \frac{(O + 4M + P)}{6}.$$

Число 6 в знаменнику формули виникає через вагові коефіцієнти, які застосовуються до трьох оцінок для обчислення середнього часу. Ці ваги визначають вплив кожної оцінки на загальний очікуваний час виконання завдання. Оптимістична оцінка враховується один раз, найімовірніша оцінка враховується чотири рази, оскільки вважається, що цей варіант є найбільш вірогідним, а песимістична оцінка також враховується один раз. Такий підхід дозволяє врахувати всі три варіанти з більшим акцентом на найімовірніший результат. Ця формула допомагає отримати середнє значення часу для кожного завдання, що дозволяє враховувати ризики та невизначеності. Однією з переваг методу програмування в мережі є те, що він враховує невизначеність у плануванні часу для виконання задач. Це робить його дуже ефективним у великих і складних проєктах, де чіткі терміни виконання неможливо визначити завчасно. Також цей метод дозволяє проводити кількісну оцінку ризиків. Це сприяє кращому нівелюванню непередбачуваних обставинам. Однак PERT потребує ретельного збору даних для оцінки тривалості завдань, що може бути досить трудомістким. Крім того, його застосування може бути занадто складним для невеликих або простих проєктів, де дана деталізація не завжди виправдана. Метод PERT може використовується у поєднанні з методом критичного шляху, що дозволяє комбінувати точність CPM з гнучкістю PERT у складних та невизначених умовах [2, 646-669].

Метод дерева вирішення задач. Метод дерева вирішення задач (Decision Tree Method) використовується у ситуаціях з декількома можливими варіантами розвитку подій. Дерева рішень дозволяють візуально представити та проаналізувати рішення та їх наслідки.

Дерево рішень представляє собою графічну модель, в якій кожен вузол відповідає за рішення або івент, а гілки – за можливі варіанти розвитку подій. Це допомагає менеджерам проєктів систематизувати інформацію та вибирати оптимальні варіанти на кожному етапі.

З математичної точки зору, цей метод можна формалізувати як задачу максимізації очікуваної корисності:

$$EU(a)=\sum_{i=1}^{n} P_i \times U_i \text{, де:}$$

EU(a) – очікувана корисність рішення *a*,
Pi – ймовірність настання результату *i*,
Ui – корисність даного результату.

Процес побудови дерева рішень починається з вибору початкової задачі, яка стає кореневим вузлом дерева. Далі відбувається формулювання варіантів, кожне рішення призводить до створення нових вузлів, які представляють різні можливі дії або результати. Кожна з гілок дерева містить оцінку ймовірності та результату, що виникає внаслідок прийняття певного рішення. Після аналізу всіх можливих варіантів проводиться остаточний вибір оптимального шляху на основі оцінки очікуваних корисностей.

Метод дерева рішень дозволяє візуалізувати складні рішення та оцінювати наслідки кожного можливого варіанту, що полегшує процес прийняття рішень. Крім того, метод допомагає оцінити ризики та ймовірності для кожного потенційного результату. Простота та інтуїтивність використання роблять цей метод доступним для широкого спектру користувачів. Однак, при великій кількості варіантів або змінних дерево рішень може стати занадто складним для практичного використання. Крім того, ймовірності та оцінки, на яких базуються рішення, можуть бути суб'єктивними, що понижує точність отриманих результатів. У контексті управління проєктами, дерева рішень корисні для прийняття рішень щодо розподілу ресурсів, управління ризиками та вибору найкращих стратегій для досягнення цілей проєкту. Наприклад, у випадках, коли необхідно вибрати технологію для реалізації проєкту або стратегію розвитку, дерева рішень допоможуть оцінити наслідки кожного варіанту [3, с. 497–508].

Ітеративний та інкрементальний підхід. Ітеративний та інкрементальний підхід поєднують дві концепції: ітеративне виконання та поступове збільшення функціональності проєкту. Даний підхід є особливо корисним для проєктів з динамічними вимогами, де неможливо з самого початку чітко визначити кінцевий результат. Він застосовується в програмній інженерії, а також в управлінні інноваційними проєктами. Ітеративність означає розбиття проєкту на короткі цикли, під час яких команда займається розробкою, тестуванням і вдосконаленням продукту або ж його компонентів. Після кожної ітерації продукт оцінюється і коригується з урахуванням рекомендацій від стейкхолдерів. Інкрементальність передбачає, що на кожному етапі продукт поступово доповнюється новими функціями або компонентами, завдяки чому збільшується його загальна цінність та функціональність. Продуктивність ітеративного підходу часто вимірюється швидкістю (*Velocity*), яка визначає кількість завдань, виконаних за одну ітерацію:

$$Velocity=\frac{Завдання\ виконані\ за\ ітерацію}{Час\ на\ ітерацію}$$

Це допомагає прогнозувати, скільки роботи команда зможе виконати у майбутніх ітераціях.

Регулярне тестування та внесення коригувань на кожному етапі також допомагають знижувати ризики, зменшуючи ймовірність серйозних помилок у кінцевому продукті.

Ітеративний та інкрементальний підхід активно застосовується в методологіях Agile, Scrum, а також у розробці програмного забезпечення. Це дозволяє отримувати працюючі версії продукту на ранніх етапах і поступово вдосконалювати його в залежності від змін в умовах проєкту [4, 215-220].

Алгоритми машинного навчання. Використання алгоритмів машинного навчання в управлінні проєктами стає дедалі популярнішим з кожним днем завдяки здатності алгоритмів працювати з великими обсягами даних, виявляти патерни та робити прогнози. Машинне навчання (ML) застосовується для оптимізації планування, прогнозування термінів, управління ризиками та розподілу ресурсів у складних проєктах.

Машинне навчання може прогнозувати тривалість окремих завдань або всього проєкту на основі історичних даних. Для цього використовуються такі моделі, як лінійна регресія, градієнтний бустинг та нейронні мережі. Алгоритми можуть аналізувати попередні проєкти та їхні результати, щоб передбачити, скільки часу займе виконання конкретного завдання. Формула для простої лінійної регресії, що може бути використана для прогнозування тривалості:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_n x_n \ ,$$

де $\hat{y}$ – прогнозований час виконання завдання,

β_0 – вільний член,

β_1, β_2, ...β_n – вагові коефіцієнти для відповідних характеристик завдання x_1, x_2, ...x_n [5, с. 256–258].

Класифікаційні моделі, такі як дерева рішень, підтримкові векторні машини (SVM) або логістична регресія, можуть ідентифікувати ризики на основі факторів, які призвели до проблем у попередніх проєктах. Наприклад, функція ризику для задачі може бути виражена як

$$P(Ризик) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_n x_n)}} \ ,$$

де $P(Ризик)$ – ймовірність виникнення ризику [6, с. 88–92].

Нейронні мережі та методи оптимізації, такі як алгоритми генетичного програмування, здатні аналізувати складні комбінації ресурсів і завдань, щоб запропонувати найкращі варіанти розподілу людських або матеріальних ресурсів [7, с. 189–192]. Алгоритми машинного навчання можуть також використовуватися для прогнозування витрат на проєкт на основі попередніх даних. Наприклад, регресійний аналіз або нейронні мережі, можуть допомогти передбачити загальні витрати, включаючи витрати на робочу силу, матеріали та непередбачувані витрати [8, с. 295–300].

Лінійна та поліноміальна регресія застосовуються для передбачення тривалості проєктів та оцінки ресурсів. Дерева рішень допомагають ідентифікувати ризики та підтримують процес прийняття рішень. Нейронні мережі здатні моделювати складні взаємозв'язки між змінними, що дозволяє покращувати прогнози щодо розподілу ресурсів і тривалості виконання завдань. Підтримкові векторні машини застосовуються для класифікації ризиків та оцінки результатів проєктів.

Алгоритми кластеризації сприяють аналізу подібних проєктів та допомагають знаходити ефективні стратегії управління ресурсами [9, с. 98–107].

Машинне навчання забезпечує точне прогнозування, оскільки дозволяє робити передбачення на основі аналізу великих обсягів історичних даних. Крім того, алгоритми машинного навчання можуть автоматично підлаштовуватися до змін даних і умов проєкту.

Проте, машинне навчання сильно залежить від наявності великих обсягів якісних даних для навчання. Крім того, впровадження систем машинного навчання може бути складним і вимагати значних ресурсів, як технічної підтримки, так і фінансових вкладень [10, с. 450–460].

Висновки. Високоефективне планування проєктів є вирішальним фактором успіху для будь-якої організації, особливо у складних і швидкозмінних середовищах. Традиційні методи управління, такі як метод критичного шляху, метод програмування в мережі, та метод дерева вирішення задач, забезпечують чітку структуру і дозволяють проєктним менеджерам ефективно керувати ресурсами та часовими рамками. Водночас, ітеративний та інкрементальний підхід забезпечує гнучкість і дозволяє поступово вдосконалювати продукт, адаптуючи його до нових вимог і обставин. Алгоритми машинного навчання надають додаткові можливості для автоматизації планування, прогнозування тривалості завдань, оцінки ризиків та оптимізації розподілу ресурсів. Використання машинного навчання дозволяє робити точніші прогнози на основі аналізу великих обсягів даних, мінімізуючи ризики і забезпечуючи адаптивність у процесі управління проєктами. Поєднання традиційних підходів і новітніх технологій, таких як машинне навчання, дозволяє створювати більш гнучкі, точні та ефективні системи управління проєктами. Це забезпечує проєктним менеджерам можливість приймати обґрунтовані рішення, адаптуватися до змін і досягати поставлених цілей у межах встановлених часових і ресурсних обмежень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kelley, J. E., & Walker, M. R. Critical-path planning and scheduling. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1959, 160-173.

2. Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., & Fazar, W. Application of a technique for research and development program evaluation. Operations Research, 1959, 646-669.

3. Williams, T. M. Assessing and Moving on From the Dominant Project Management Discourse in the Light of Project Overruns. IEEE Transactions on Engineering Management, 2003, 497-508.

4. Larman, C. Agile and Iterative Development: A Manager's Guide. Addison-Wesley Professional, 2004, 215-220.

5. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, 2018, 256-258.

6. Sommerville, I. Software Engineering. 10th Edition, Pearson, 2015, 88-92.

7. Bishop, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006, 189-192.

8. Alpaydin, E. Introduction to Machine Learning. MIT Press, 2014, 295-300.

9. Bock, D., & Wieneke, A. Artificial Intelligence for Project Management: The Next Step in Planning and Managing Complex Projects. Journal of Project Management, 2016, 98-107.

10. Russell, S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition, Pearson, 450-460.

REFERENCES:

1. Kelley, J. E., & Walker, M. R. Critical-path planning and scheduling. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1959, 160-173.

2. Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., & Fazar, W. Application of a technique for research and development program evaluation. Operations Research, 1959, 646-669.

3. Williams, T. M. Assessing and Moving on From the Dominant Project Management Discourse in the Light of Project Overruns. IEEE Transactions on Engineering Management, 2003, 497-508.

4. Larman, C. Agile and Iterative Development: A Manager's Guide. Addison-Wesley Professional, 2004, 215-220.

5. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, 2018, 256-258.

6. Sommerville, I. Software Engineering. 10th Edition, Pearson, 2015, 88-92.

7. Bishop, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006, 189-192.

8. Alpaydin, E. Introduction to Machine Learning. MIT Press, 2014, 295-300.

9. Bock, D., & Wieneke, A. Artificial Intelligence for Project Management: The Next Step in Planning and Managing Complex Projects. Journal of Project Management, 2016, 98-107.

10. Russell, S., & Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition, Pearson, 450–460.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 338.4:004
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.19

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ У ГОТЕЛЯХ

Борбенчук В. В. *– аспірант Київського університету культури*
ORCID ID: 0009-0007-1437-8003

Неіленко С. М. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри готельно-ресторанної справи та туризму
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-7282-2682

Криворучко М. Ю. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри дизайну, інжинірингу та землеустрою
Державного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-7378-1050

Михайлик В. С. *– кандидат технічних наук,*
аситент кафедри ресторанних і крафтових технологій
Державного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-7604-4403

Актуальність статті обумовлена сучасними тенденціями в індустрії гостинності, де впровадження новітніх технологій стає критично важливим для підвищення якості обслуговування та забезпечення безпеки. У статті розглядається застосування технології розпізнавання облич, яка має потенціал для значного покращення персоналізованого підходу до обслуговування гостей, автоматизації процесів реєстрації, а також спрощення управління доступом до приміщень. Особливу увагу приділено ролі цієї технології в умовах глобальних викликів, таких як пандемія COVID-19, де вона стає важливою для зменшення фізичних контактів, що сприяє забезпеченню безпеки гостей і персоналу.

Метою є дослідження та доцільність впровадження, підтримки технології розпізнавання облич у готелях. Для цього використано сукупність наукових методів та підходів: функціональний, системний, порівняння, системно-структурний, аналізу і синтезу, логічного узагальнення.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що впровадження технології розпізнавання облич підвищує якість надання послуг завдяки персоналізації обслуговування.

Проаналізовано наукові праці щодо застосування цієї технології в іноземних готелях та проведено оцінку точності розпізнавання облич. Створено блок-схему впровадження технології для автоматизації процесів заселення гостей у готелі.

У висновках доведено, що технологія розпізнавання облич є високоточною та постійно вдосконалюється, що робить її придатною для використання в різних сферах бізнесу. На основі прикладів точності роботи цієї технології можна із впевненістю стверджувати, що у 2020 році шанс на похибку в найгірших умовах становив лише 0.028, а сьогодні цей показник ще нижчий, що підтверджує готовність цієї технології до широкого впровадження. Технологія сприяє підвищенню безпеки, автоматизації процесів оплати та реєстрації, а також оптимізації управління робочим часом персоналу. Вона дозволяє прискорити процеси обслуговування гостей у готелях, автоматизувати оплату додаткових послуг і товарів, пришвидшити поселення гостей, краще розуміти їхні вподобання та спрощувати менеджмент працівників. У довгостроковій перспективі технологія підвищить конкурентоспроможність і прибутковість готельно-ресторанних закладів.

Ключові слова: *автоматизація, Face ID, персоналізація послуг, розпізнавання облич, сервіс, цифровізація, управління доступом.*

Borbenchuk V. V., Neilenko S. M., Kryvoruchko M. Yu., Mihailik V. S. Application of facial recognition technology in hotels

The relevance of the article is driven by current trends in the hospitality industry, where the implementation of cutting-edge technologies is becoming critically important for improving service quality and ensuring safety. The article examines the application of facial recognition technology, which has the potential to significantly enhance personalized guest service, automate the registration process, and simplify access management. Special attention is given to the role of this technology in the face of global challenges such as the COVID-19 pandemic, where it becomes crucial for reducing physical contact, thus ensuring the safety of both guests and staff. Objective and Methods. The objective of this study is to explore the feasibility and effectiveness of implementing and maintaining facial recognition technology in hotels. A combination of scientific methods and approaches was employed, including functional, systematic, comparative, system-structural, analysis and synthesis, and logical generalization techniques. Results. The study found that the implementation of facial recognition technology enhances the quality of services provided in hotels, primarily due to the personalization of guest experiences. A review of scientific literature on the application of facial recognition technology in international hotels was conducted. The accuracy of facial recognition results was analyzed, and a flowchart for the facial recognition process during guest check-in was developed. Conclusions and discussion. The conclusions prove that facial recognition technology is highly accurate and continually improving, making it suitable for use in various business sectors. Based on accuracy examples, it can be confidently stated that in 2020, the error rate in the worst-case scenarios was only 0.028, and today this rate is even lower, confirming the readiness of this technology for wide-scale adoption. The technology enhances security, automates payment and registration processes, and optimizes workforce management. It allows for faster guest check-ins, automates the payment of additional services and goods, improves the understanding of guest preferences, and simplifies staff management. In the long term, the technology will enhance the competitiveness and profitability of hotel and restaurant establishments.

Key words: *access management, automation, digitalization, Face ID, facial recognition, service personalization, service quality.*

Постановка проблеми. Процес впровадження інформаційних та цифрових технологій у більшість аспектів бізнесів почав набирати обороти останні 4 роки. Поява еволюційних лінгвістичних моделей, таких як chat GPT, Gemini уже кардинально змінила сферу написання текстів, художніх статей, та змусив людей у сфері копірайтингу змінюватися. З плином часу діджиталізація буде більш сильно впливати на інші сфери та бізнеси, тому краще бути флагманом цих змін в нашому випадку флагманом змін у готельному господарстві.

В готельному бізнесі існує величезна конкуренція та боротьба за гостей. Думка гостей та конкурентоспроможність залежить від величезної кількості факторів, таких як: цінова політика, інтегрованість інновацій, комфорт, рівень сервісу і кожен із них впливає на думку гостей та дохід підприємства. На світовому ринку використання штучного інтелекту та суміжних технологій майже не використовується,

тому у разі імплементації цих технологій у готельне господарство, це стане великою перевагою у конкурентній боротьбі з іншими готелями. Сам факт використання цих технологій можна буде використовувати, як інструмент у просуванні, рекламі, маркетингу готельного господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] було проведено дослідження методу розпізнавання облич, який називається CFMT+. Ціллю роботи було визначити чи велика різниця отриманих результатів для тестових даних у тестових умовах з реальними завданнями поліцейського департаменту при розпізнаванні облич з гіршою якістю вхідних даних. Проаналізовано та виокремлено навички, котрі слід розвити поліціантам при процесі розпізнавання.

У роботі [2] йдеться про переваги та недоліки технології розпізнавання облич у різних сферах життя. Початок впровадження цієї технології в силових відомостях Сполучених Штатів Америки. Автори зауважували, що на 2020 рік ця технологія була сирою, представляла великі ризики, через можливість витоку дуже важливих даних, з не дуже великою користю. Але що під технологію розпізнавання облич треба створювати правову базу, обговорювати етичну сторону питання та практичну користь.

У роботі [3] розглядається технологія розпізнавання облич на основі біометричних даних обличчя у аеропортах, а саме методи, застосування на практиці, принцип дії. В аеропортах Сполучених Штатів Америки ця технологія використовується часто і багато людей навіть не підозрює про це, що вказує на якість та швидкість обслуговування.

У роботі [4] відбувається аналіз поглядів та думок у Європі, щодо роботи та інтеграції технології розпізнавання облич. Деякі експерти скептично відносяться до цієї технології, кажучи що наявних засобів достатніх для пошуку та знаходження злочинців. Але з розвитком технологій – злочинці теж розвиваються, тому якщо детально розписати закони про регуляцію технології, то вдасться використовувати технологію розпізнавання облич, при цьому не порушуючи прав чесних громадян.

У роботі [5] наполягається на довготривалій дискусії, щодо визначення правового набору законів, які будуть регулювати використання штучного інтелекту та інших технологій схожого порядку для зменшення негативного впливу новітніх технологій на звичайних людей.

У своїх наукових роботах [6–7] автори математично обґрунтовували технологію розпізнавання облич та досліджували ефективність написаного ними програмного забезпечення для розпізнавання облич на мобільних телефонах. В програмному коді Guillaume Dave був ряд недоліків, наприклад велика похибка при розпізнаванні облич деяких етнічних груп.

Невирішені питання. Технологія розпізнавання облич в основному використовується для силових структур, аеропортів, в продуктах компанії Apple, але в готельному бізнесі використовується в мінімальній кількості та тестовому режимі в деяких країнах Азії. Відповідно в сфері готельної справи дуже мало наукових статей, концепцій, аналізу використання технології розпізнавання облич. Тому ця наукова стаття буде актуальною та долучиться до формування фундаменту наукової бази використання розпізнавання облич у готельному бізнесі.

Метою є дослідження та доцільність впровадження, підтримки технології розпізнавання облич у готелях.

Методи дослідження. Абстрактно-логічний (проаналізовано статті та наукові матеріали про розпізнавання облич людей), системно-структурний та системний аналіз (при проведенні SWOT-аналізу доцільності використання технології

розпізнавання облич у готелях), функціональний (при визначенні призначення розпізнавання облич гостей), метод моделювання (створення схеми реєстрації гостя при заселенні у готель), узагальнення (формування висновків).

Об'єктом дослідження визначено технологія розпізнавання облич.

Предметом дослідження є тенденції розвитку, точність результатів технології, сфери застосування у готельному господарстві, сильні та слабкі сторони.

Наукова новизна основана на дослідженні технології розпізнаванні облич, що дозволить прискорити та підвищити якість процесу обслуговування гостей.

Інформаційна база дослідження представлена науковими публікаціями зарубіжних вчених, зарубіжними інтернет ресурсами.

Виклад основного матеріалу. Може виникнути питання, а що саме автори мають на увазі, коли говорять про технологію розпізнавання облич? Тому введемо визначення цього поняття для уникнення непорозумінь у подальшому.

Технологія розпізнавання облич – це спосіб ідентифікації людського обличчя за допомогою технології, відомої як біометрія, яка часто полягає у зіставленні рис обличчя з фотографією або відео, а потім у порівнянні інформації з базою даних відомих облич для пошуку збігу. [8]

Технологія розпізнавання облич виділяє особливості обличчя людини, перетворюючи цю інформацію у відбиток. На основі алгоритму навчання відбувається порівняння зображення або певного відео з базою даних відбитків для підтвердження особи людини. Технологія розпізнавання облич є комфортним та швидким біометричним ключем для верифікації особи та безпеки за рахунок безконтактного процесу.

В подальшому ми будемо використовувати абревіатуру ТРО замість «технологія розпізнавання облич» для зменшення кількості повторів одного і того самого терміну у цій науковій роботі.

Наведемо уже існуючий приклади використання ТРО в готельному господарстві. Як було сказано раніше це один із небагатьох тестових запусків ТРО в готельному бізнесі Китаю.

На сьогоднішній день одним із найефективніших застосувань розпізнавання обличчя в готельному менеджменті є частина процесу реєстрації в готелі. Наприклад, у двох різних готелях Marriott у Китаї гості можуть обійти традиційну стійку реєстрації та замість цього піти до кіоску. Там технологія розпізнавання облич сканує їх обличчя, ідентифікує їх і надає їм ключ-картку, і все це приблизно за одну хвилину. [9]

Перед тим, як говорити про широку імплементацію ТРО у готельне господарство треба бути впевненим в надійності цієї технології, так як у разі системних проблем з розпізнаванням облич у першу чергу з цим зіткнуться гості готелю, що понесе за собою серйозні іміджеві та репутаційні втрати.

Введемо два поняття. Перше – частота помилкових відмов(ЧПВ), вона означає кількість випадків, коли в системі був відбиток вхідного обличчя, але ТРО не знайшло збіг. Друге – частота помилкового прийняття(ЧПП) означає кількість випадків, коли в системі був відбиток вхідного обличчя, але ТРО знайшло збіг з неправильним відбитком. Іноді система повинна працювати із зображеннями із низькою розподіленою якістю та високою. На (рис. 1) за зелений графік відповідає ЧПВ та ЧПП для якісних цифрових зображень, синій за ЧПВ та ЧПП для неякісних цифрових зображень. Можна сказати, що з плином часу велася розробка різноманітних версії технології розпізнавання облич і тому з плином часу похибка зменшувалася.

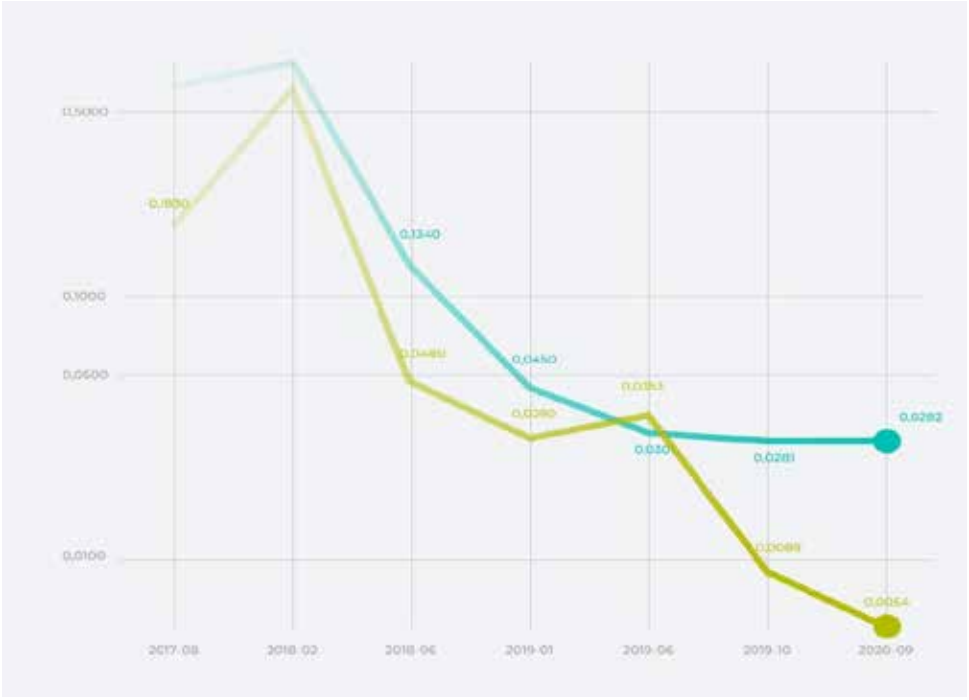


Рис. 1. Співвідношення року та похибки ТРО

Джерело: [10]

Отже, у вересні 2020 року для обробки неякісного зображення ТРО можлива похибка склала 0.0282, для якісного зображення 0.0054. Що є гарним результатом. Важливо пам'ятати, що це дослідження кінця 2020 року, за 3 роки технології зробили новий скачок якості, тому зараз ця похибка буде ще меншою. Якщо готельний бізнес не буде готовий інвестувати великі кошти у найякісніші камери для зйомки та фотографування облич, то можна буде обрати камери середньої якості, так як похибка для неякісного зображення знаходиться у рамках допустимої похибки, а це відповідно економія коштів на провадження пристроїв для роботи та підтримання технології. Отже, ТРО у готельному господарстві можна використовувати для різноманітних цілей.

Оплата. ТРО допоможе спростити процес оплати за будь-які послуги, замість того, щоб розраховуватися кредитною картою або витрачати час та відкривати застосунок на телефоні, буквально отримати товар або послугу та піти займатися своїми справами, не витративши на оплату ні хвилину свого дорогоцінного часу. Для кращого розуміння наведемо приклад, в готелі є ресторан, гість замовляє їжу, одразу після замовлення його лице розпізнається камерою і у його профілю готелю зазначається сума до сплати. Сам гість зможе оплатити усі надані послуги товари при виїзді, або з його банківського рахунку буде автоматично списуватися сума коштів з рахунку гостя прив'язаного до його профілю готелю. Звісно сам гість зможе обрати, який із методів оплати буде у нього працювати. При великому бажані можна увімкнути гібридні налаштування, до певної суми усі транзакції проходять автоматично, при перевищені вони записуються та оплачуються при виїзді із готелю.

Приклад із персонального досвіду, гості із сусіднього номеру, коли замовляли по телефону товари для себе вказували номер одного із авторів готелю і відповідно в кінці подорожі, виявлялося, що він повинен був оплати рахунки за додаткові послуги та товари. Вдалося пояснити персоналу готелю про цю ситуацію, сусіди давно з'їхали тому готель втратив кошти та лояльність автора, так як важко довіряти інституціям, котрі не можуть правильно налагодити бізнес-процеси. ТРО може запобігти таким ситуаціям.

Процес прийому гостей. ТРО може автоматизувати та пришвидшити процес прийому гостей. Не треба в пізній час чекати поки персонал зустріне гостей готелю, проходити довгий процес реєстрації гостя. Якщо гість не вперше, то він може на спеціальному стенді підтвердити в'їзд за хвилину та піти до свого номеру. Якщо гість вперше в мережі готелів система допоможе йому створити профіль, зробить знімки, це займе трохи більше ніж в першому випадку, але це усе одно швидше ніж нинішня реєстрацію у готелях і при подальших в'їздах у дану мережу готелів, реєструвати акаунт уже не треба буде. З автоматизацією реєстрації гостей ще можна зменшити штат персоналу готелю, додаткове заощадження коштів.

Доступ у номер. Одразу після реєстрації можна йти до свого номеру, без ключів, тому що двері номеру відкриються після розпізнавання обличчя гостя. Ця технологія облегшить життя гістьа так, як ключі та ключ-карти регулярно губляться, займають додаткове місце у сумці, карманах, нервові гості під час прогулянок по декілька разів перевірять наявність ключа. Якщо гість загубить ключі, це додатковий стрес, трата коштів та навантаження на готель, так як треба буде змінити замок для запобігання проникнення у номер чужих осіб. Персонал, який відповідає за чистоту у номерах теж матиме доступ до номерів у спеціальний час, що пришвидшить процес прибирання та надасть додаткову звітність щодо графіку роботи прибиральниць та їх відповідальності.

Безпека. У критичній ситуації, якщо щось піде не так на об'єкті, обличчя всіх гостей будуть легко розпізнані, і можна буде з'ясувати, хто спричинив проблему, якщо вона була викликана кимось, хто зупинився у готелі. Це також допоможе при співпраці з правоохоронним органам у цьому випадку. [11]

Управління робочим часом і відвідуваністю співробітників. Готельний бізнес часто покладається на велику кількість персоналу зі складним графіком, який задовольняє потреби гостей 24 години на добу 7 днів на тиждень. Інтеграція розпізнавання облич для управління часом і відвідуваністю співробітників може усунути методи обліку часу на основі карток. Механізм розпізнавання облич може бути інтегрований з системою відеоспостереження, що дозволяє легко реєструвати прихід/вихід співробітників на роботу. [12]

Дослідження поведінки цільової аудиторії. Цю технологію також можна використовувати як потужний інструмент дослідження для кращого розуміння цільової аудиторії. З її допомогою можна зчитувати вираз обличчя, визначати вік і стать цільової аудиторії, а також з'ясовувати, скільки людей перебуває в тій чи іншій зоні готелю в той чи інший момент часу. Таким чином, можна зробити висновки про те, де перебувають гості у закладі в різний час доби, щоб краще зрозуміти, які послуги слід просувати залежно від їх місця перебування. Це може бути чудовим інструментом для збільшення додаткових доходів. Наприклад, о 17:00 гості, як правило, знаходяться біля басейну; ви можете використати цю інформацію для створення «щасливої години» або заходів, які допоможуть збільшити прибуток готелю. [11]

Для кращого розуміння читачами процесу прийому гостей, візуалізуємо його у вигляді блок-схеми (рис. 2).

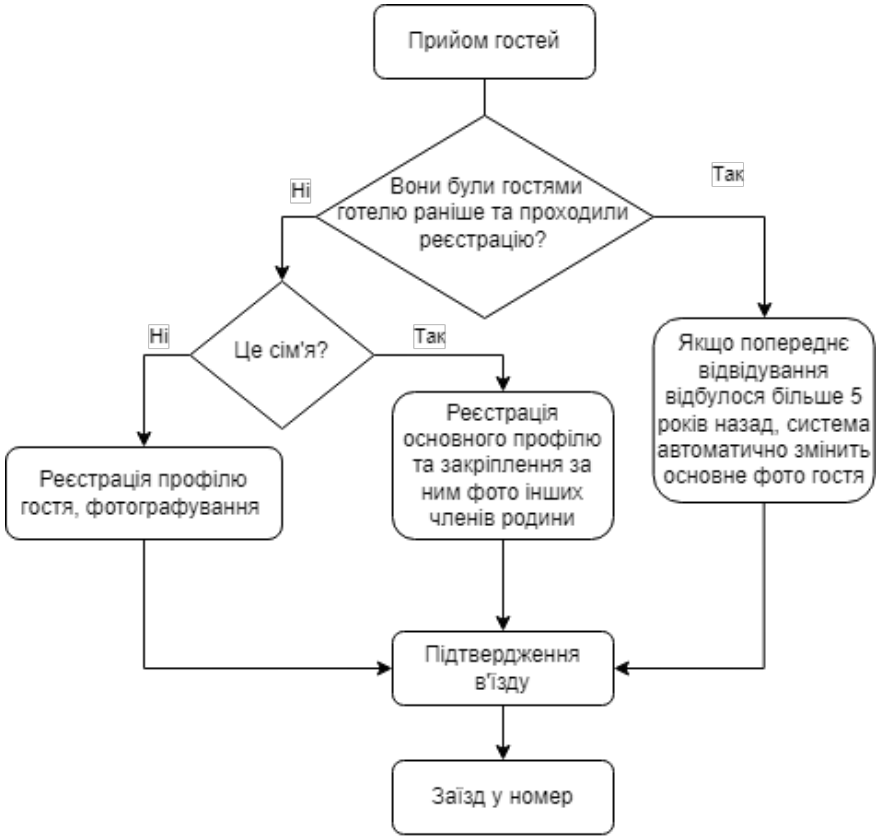


Рис. 2. Схема процесу реєстрації та в'їзду гостей у готель з ТРО

Джерело: власна розробка

Якщо гості гостюють вперше, прибувши у готель, зможуть обрати спосіб реєстрації, або біля спеціальної стійки реєстрації самостійно, або з допомогою персоналу готелю при потребі. Під час реєстрації, на мобільні пристрої завантажується додаток готелю, в ньому буде виконано вхід в акаунт, щоб відстежувати звітність по додатковим витратам, або можна відразу до свого профілю прив'язати банківський рахунок для автоматичної оплати додаткових послуг або товарів за технологією розпізнавання облич. При бажанні, сім'я може оформити один акаунт на усіх, для полегшення процесу реєстрації і в налаштуваннях вказати про бажання обмежити автоматичну оплату додаткових послуг та товарів для дітей. Якщо гості у відрядженні по роботі, для них можна буде створити робочий акаунт, з платіжними реквізитами компанії, при необхідності з деякими обмеженнями на категорії додаткових послуг та товарів, або по максимальній ціні на товар, послугу.

Для регулярних гостей, процес в'їзду в готель ще швидший та простіший, достатньо підійти до стійки реєстрації та підтвердити час перебування. З плином часу зовнішність може змінитися, тому кожні 3-5 років, система буде оновлювати базове зображення гостя для розпізнавання, наприклад під час в'їзду у готель після довгої перерви відвідування готелю. При досягненні високого розвитку технології

розпізнавання облич, процес фіксації зображення гостя буде відбуватися автоматично під час реєстрації акаунту, що ще більше збільшить комфорт гостя та швидкість реєстрації у системі.

Як було вище зазначено ТРО буде використовуватися у різноманітних активностях готелю, головна ціль покращити якість обслуговування гостей.

Є розуміння про високу точність ТРО, відомі сфери використання технології розпізнавання облич у готельному господарстві, відома можлива схема реєстрації та в'їзду гостей з даною технологією. Проведемо SWOT-аналіз даної технології (табл. 1), де ми бачимо сильні та слабкі сторони ТРО, які ми можемо мати проблеми та можливості з технологією у подальшому.

Таблиця 1

SWOT-аналіз використання ТРО у закладах готельного господарства

Сильні сторони	**Можливості**
– збільшення швидкості обслуговування у багатьох сферах – підвищення безпеки, додатковий стимул гостям поводити себе коректно	– краще просування бренду готелю за рахунок акцентування реклами на новітніх технологіях – збільшення комфорту гостей – збільшення прибутку
– автоматизація процесу оплати додаткових товарів, послуг	– краще розуміння побажань гостей
Слабкі сторони	**Загрози**
– для інтеграції системи треба великі інвестиції – після інтеграції не всі люди будуть готові надати свої персональні дані, зображення готелю, тому для них доведеться дублювати функціонал, але без зчитування обличчя, тобто додаткові витрати	– може збентежити консервативних гостей – можливість витоку дуже чутливих персональних даних.

Джерело: власна розробка

Слід звернути додаткову увагу на загрози та подумати про можливі варіанти шляхів мінімізації загроз. Для уникнення витоку дуже чутливих персональних даних слід надавати доступ до них обмеженої кількості довірених працівників, мати контракти та взаємодіяти з компаніями, котрі надають послуги з захисту інформації. Консервативні люди погано сприйматимуть новітні технології, тому з ними треба буде вести діалог, щодо корисності, про те що уся персональна інформація знаходиться в повній безпеці. З плином часу кількість людей, котра буде ставитися з недовірою до новітніх технологій буде меншою.

Ще деяких власників готельного бізнесу може лякати та відштовхувати від імплементації в їх бізнеси велика базова ціна встановлення пристроїв підтримки ТРО, є декілька варіантів зменшення ціни, так як ТРО точна, то можна зекономити на камерах, або скористатися уже готовим рішенням, та не розбудовувати інфраструктуру самостійно. У будь якому разі впровадження цієї технології збільшить дохід та престиж готельного бізнесу у довгій перспективі.

Висновки та обговорення результатів. На основі наведеного прикладу щодо точності технології розпізнавання облич, можна із упевненістю сказати, що вона є точною, а шанс на похибку в 2020 році в найгірших обставинах складав 0.028,

тобто на сьогодні шанс на похибку є ще меншим. Можна бути впевненими, що ця технологія готова для використання у різноманітних бізнесах в плані точності її роботи.

Технологію розпізнавання облич можна використовувати у готелях для підвищення швидкості обслуговування та оптимізації процесів, а саме: автоматизація оплати додаткових послуг та товарів, пришвидшення в'їзду гостей у готель, підвищення рівня безпеки, краще розуміння бажань та вподобань гостей, спрощення менеджменту працівників готелю. Сама ідея впровадження у бізнес є новітньою.

У цій технології є слабкі сторони, але їх вплив можна мінімізувати кращою підготовкою, правильними діями, компромісними рішеннями. Наприклад, можна зменшити витрати при впровадженні технології, обравши камери середньої якості, так як точність роботи алгоритмів нівелює не найкращу якість камер. Або скептичне ставлення деяких гостей до технології можна зменшити при правильній подачі інформації, наданні альтернативних шляхів обслуговування. Була розроблена блок-схема роботи технології розпізнавання облич при заселені гостей у готель.

Отже, технологія призведе до росту конкурентоспроможності, престижу закладу та збільшення прибутків у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Thielgen M. M., Schade S., Bosé C. Face processing in police service: the relationship between laboratory-based assessment of face processing abilities and performance in a real-world identity matching task. *Cognitive research: principles and implications*. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 1–18. https://doi.org/10.1186/s41235-021-00317-x(date of access: 20.08.2024).

2. Mohsienuddin S., Shuaieb Sabri M. Facial recognition technology. *SSRN electronic journal*. 2020. Vol. 7, no. 6. P. 176–184.

3. Horkay J., Tymofiiv V., Al-Rabeei S. Using biometrics for facial recognition at airports. *Acta avionica journal*. 2022. P. 34–40. https://doi.org/10.35116/aa.2022.0029 (date of access: 20.08.2024).

4. Raposo V. L. The use of facial recognition technology by law enforcement in europe: a non-orwellian draft proposal. European journal on criminal policy and research. 2022. P. 515–533. URL: https://doi.org/10.1007/s10610-022-09512-y (date of access: 20.08.2024).

5. N. Selwyn et al. Facial recognition technology key issues and emerging concerns. *The cambridge handbook of facial recognition in the modern state* / ed. by R. Matulionyte, M. Zalnieriute. 2024. P. 11–28.

6. Soliman H., Saleh A., Fathi E. Face recognition in mobile devices. *International journal of computer applications*. 2013. Vol. 73, no. 2. P. 13–20. https://doi.org/10.5120/12712-9525 (date of access: 20.08.2024).

7. Guillaume D., Xing C., Kishore S. Face recognition in mobile devices. *Department of electrical engineering*. 2010.

8. Stouffer C. What is facial recognition and how does it work? – Norton. URL: https://us.norton.com/blog/iot/how-facial-recognition-software-works (date of access: 20.08.2024).

9. Barten M. 4 use cases of facial recognition in the hospitality industry. Revfine.com. URL: https://www.revfine.com/facial-recognition-hospitality-industry/ (date of access: 20.08.2024).

10. Rusnáková B. How the accuracy of facial recognition technology has improved over time – Innovatrics. Innovatrics. URL: https://innovatrics.com/trustreport/how-the-accuracy-of-face-recognition-technology-has-improved-over-time/ (date of access: 20.08.2024).

11. Lacalle E. Ways to use facial recognition technology in hotels. The Hospitality Management System of the Future. URL: https://www.mews.com/en/blog/facial-recognition-pms#heading-6 (date of access: 20.08.2024).

12. Face me team. Learn how to leverage facial recognition for hospitality in food and beverage, tourism and hotels. CyberLink URL: https://www.cyberlink.com/faceme/insights/articles/480/facial-recognition-in-hospitality-travel-industry (date of access: 20.08.2024).

REFERENCES:

1. Thielgen, M. M., Schade, S., & Bosé, C. (2021). Face processing in police service: The relationship between laboratory-based assessment of face processing abilities and performance in a real-world identity matching task. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *6*(1), 1–18. https://doi.org/10.1186/s41235-021-00317-x

2. Mohsienuddin, S., & Shuaieb Sabri, M. (2020). Facial recognition technology. *SSRN Electronic Journal*, *7*(6), 176–184.

3. Horkay, J., Tymofiiv, V., & Al-Rabeei, S. (2022). Using biometrics for facial recognition at airports. *Acta Avionica Journal*, 34–40. https://doi.org/10.35116/aa.2022.0029

4. Raposo, V. L. (2022). The use of facial recognition technology by law enforcement in europe: A non-orwellian draft proposal. *European Journal on Criminal Policy and Research*, 515–533. https://doi.org/10.1007/s10610-022-09512-y

5. Selwyn, N., Andrejevic, M., O'Neill, C., Gu, X., & Smith, G. (2024). Facial recognition technology key issues and emerging concerns. У R. Matulionyte & M. Zalnieriute (Ред.), *The cambridge handbook of facial recognition in the modern state* (с. 11–28). Cambridge University Press.

6. Soliman, H., Saleh, A., & Fathi, E. (2013). Face recognition in mobile devices. *International Journal of Computer Applications*, *73*(2), 13–20. https://doi.org/10.5120/12712-9525

7. Guillaume, D., Xing, C., & Kishore, S. (2010). Face recognition in mobile devices. *Department of Electrical Engineering*.

8. Stouffer, C. (2023, July 21). *What is facial recognition and how does it work? –* Norton. https://us.norton.com/blog/iot/how-facial-recognition-software-works

9. Barten, M. (2024, June 4). *4 use cases of facial recognition in the hospitality industry*. Revfine.com. https://www.revfine.com/facial-recognition-hospitality-industry/

10. Rusnáková, B. (2020). How the accuracy of facial recognition technology has improved over time – Innovatrics. Innovatrics. https://innovatrics.com/trustreport/how-the-accuracy-of-face-recognition-technology-has-improved-over-time/

11. Lacalle, E. (2023, January 12). *Ways to use facial recognition technology in hotels*. The Hospitality Management System of the Future. https://www.mews.com/en/blog/facial-recognition-pms#heading-6

12. Face me team. (2024, April 4). *Learn how to leverage facial recognition for hospitality in food and beverage, tourism and hotels*. CyberLink. https://www.cyberlink.com/faceme/insights/articles/480/facial-recognition-in-hospitality-travel-industry

УДК 006.88:658.272
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.20

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЯКОСТІ НАССР У ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Валько М. І. *– доктор технічних наук, професор,*
завідувач кафедри харчових технологій
Херсонського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2390-426X

Стоянова О. В. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-6479-5936

Зубкова К. В. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8672-0855

Мамай О. І. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2591-8059

Яковенко Т. О. *– старший викладач кафедри харчових технологій*
Херсонського національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1616-8997

У статті досліджено особливості впровадження інтегрованих систем менеджменту на базі стандартів ISO серії 9000 та системи якості НАССР на підприємствах харчової промисловості. Виявлено відсутність єдиного концептуального підходу та нестачу методичних рекомендацій, які дозволяють ефективно реалізовувати такі інтегровані системи на українських харчових підприємствах. У зв'язку з цим, було сформовано концептуальну модель системи менеджменту, яка інтегрує вимоги системи НАССР та ISO, забезпечуючи високу безпеку та якість харчової продукції. Було оцінено універсальність моделі НАССР, яка передбачає застосування загальних вимог до виробництва будь-яких харчових продуктів, а також специфічних вимог до окремих елементів виробничого процесу кожного виду продукції шляхом аналізу критичних контрольних точок (ККТ). Розроблено покрокову методику впровадження системи НАССР, що базується на семи ключових принципах, таких як аналіз ризиків, визначення ККТ, встановлення критичних меж, моніторинг ККТ, коригувальні дії, верифікація та документування. Оцінено переваги впровадження системи НАССР на підприємствах харчової промисловості, зокрема, її здатність оптимізувати внутрішні процеси виробництва, зменшувати кількість браку продукції, економити ресурси та підвищувати кваліфікацію персоналу. Було розроблено практичні рекомендації по оперативному формуванню робочої групи провадження НАССР та реалізації системи моніторингу харчового виробництва. Здійснено аналіз факторів, що впливають на ефективність системи НАССР, і підкреслено необхідність постійного моніторингу та коригувальних дій для забезпечення безпеки продукції. Отримані результати сприяють формуванню єдиної моделі інтегрованого менеджменту якості, адаптованої до умов української харчової промисловості. Запропоновані рекомендації дозволяють підприємствам зменшити ризики, пов'язані з випуском небезпечної

продукції, скоротити виробничі витрати за рахунок зменшення кількості браку та покращити конкурентоспроможність на ринку через системне забезпечення відповідних промислових стандартів якості та безпеки.

Ключові слова: *система менеджменту безпеки харчової продукції, принципи HACCP, критичні контрольні точки (ККТ), програми обов'язкових попередніх заходів (oPRP), мікробіологічне забруднення.*

Valko M. I., Stoianova O. V., Zubkova K. V., Mamai O. I., Yakovenko T. O. Features of implementation of the HACCP quality system in the activities of food industry enterprises

The article examines the specifics of the integration of management systems based on ISO 9000 series standards and HACCP systems in the food industry. It has been revealed that there is a unified conceptual approach and a lack of methodological recommendations that allow for the effective implementation of such integrated systems in Ukrainian food enterprises. In connection with this, a conceptual model of a management system was formed that integrates the powerful HACCP and ISO systems, ensuring high safety and nutritiveness of food products. The versatility of the HACCP model was assessed, which conveys the stagnation of raw materials before the production of any grub products, as well as specific elements of the production process of skin products for the analysis of critical control them point (KKT). A detailed methodology for implementing the HACCP system has been developed, which is based on seven key principles, such as risk analysis, identification of control points, establishment of critical boundaries, monitoring of control points, corrective actions, verification and documentation. The advantages of implementing the HACCP system in food processing and food processing enterprises have been assessed, its ability to optimize internal production processes, reduce the number of product defects, save resources and production provide qualifications to your personnel. Practical recommendations were provided for the prompt formation of a working group for the implementation of HACCP and the implementation of a system for monitoring grub production. An analysis of the factors that influence the effectiveness of the HACCP system is carried out, and the need for continuous monitoring and corrective actions to ensure product safety is emphasized. The obtained results result in the formation of a single model of integrated food management, adapted to the minds of the Ukrainian grub industry. The proposed recommendations allow enterprises to change the risks associated with the release of unsafe products, reduce the cost of production for the market, change the number of defects and improve competitiveness in the market through a security system meeting industry standards for quality and safety.

Key words: *food safety management system, HACCP principles, critical control points (CCP), pre-treatment programs (oPRP), microbiological contamination.*

Постановка проблеми. Глобалізація виробничих процесів і програм формує свій вплив ринки харчової продукції та процеси посилення вимог до її якості й безпеки зна засадах поширення системи якості HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points). Враховуючи постійно зростаючі обсяги виробництва та експорту харчових продуктів, підприємства харчової промисловості стикаються з необхідністю забезпечення їхньої безпечності на всіх етапах забезпечення виробничого процесу. Система якості HACCP вже визнана у світі як один з найефективніших підходів до управління безпекою харчових продуктів, на засадах якого сформовано механізм оперативного виявлення і усунення можливих техніко-технологічних ризиків, і нівелювання шкідливий впливу на здоров'я споживачів. Окрім всього, при значному посиленні рівня конкуренції на ринку харчової продукції система HACCP може стати фундаментом не тільки для забезпечення безпеки виробничої і економічної, але й чинником зростання індексу конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості. Ці обставини сприяють підвищенню довіри з боку споживачів, формують умови для розширення ринків збуту продукції, зміцнюють репутацію товаровиробника та сприяють процесу набуття відповідності міжнародним стандартам якості. Такі обґрунтування щодо проведення дослідження особливостей впровадження системи HACCP на українських підприємствах харчової промисловості є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки воно сприятимуть якісному розвитку галузі,

підвищенню відповідного рівня якості і безпеки виробляємої харчової продукції. Самі ці компоненти і визначають актуальність дослідження особливостей, переваг та проблем впровадження системи якості НАССР для національних підприємств харчової промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження цього питання фокусуються на аналізі принципів НАССР, процесах адаптації системи до різних видів виробництва, а також на проблемах і викликах, які виникають при її впровадженні. Дослідники зазначають, що система НАССР базується на ідентифікації, оцінці та контролі потенційних біологічних, хімічних та фізичних ризиків у всьому виробничому процесі. Наприклад в роботах [4, 13], підкреслюється, що система НАССР орієнтована на попередження проблем із безпекою продуктів, а не на реагування на них після виявлення. Цей підхід дозволяє ефективно управляти ризиками та зменшувати можливість потрапляння небезпечних продуктів до споживача.

У наукових публікаціях багато уваги приділяється дослідженню особливостей впровадження системи НАССР на підприємствах різних галузей харчової промисловості. Дослідження [1, 8] показують, що специфіка впровадження системи НАССР значною мірою залежить від типу продукції, технологічних процесів та масштабу виробництва. Наприклад, у м'ясопереробній промисловості основна увага приділяється контролю температурного режиму та санітарії обладнання, тоді як у молочній галузі важливим елементом є контроль пастеризації та якості сировини. У роботах [6, 7] розглядаються практичні аспекти адаптації системи НАССР до виробництва різних видів продукції, включаючи кондитерські вироби, рибну та зернову продукцію. Дослідник підкреслює, що кожна галузь харчової промисловості має свої унікальні критичні контрольні точки (ККТ), і їх визначення вимагає детального аналізу виробничого процесу. У цьому контексті дослідження містить рекомендації щодо впровадження передумовних програм (GMP, SSOP), які є основою для ефективного функціонування системи НАССР.

В сучасній літературі також значна увага приділяється проблемам та викликам, які виникають під час впровадження системи НАССР [11]. У статті [15]) зазначено, що впровадження системи НАССР вимагає значних фінансових та часових ресурсів. До основних викликів відносяться висока вартість модернізації обладнання, необхідність навчання персоналу та розробки детальної документації. Зазначено, що запропоновано поетапний підхід до впровадження системи НАССР: від початкового планування та ідентифікації ККТ до розробки системи моніторингу та постійної верифікації системи.

Мета і завдання дослідження. Мета статті – дослідження особливостей імплементації і розвитку використання системи якості НАССР у виробничій політиці національних підприємств харчової промисловості.

Завдання дослідження:

– обґрунтувати технологічні і організаційні аспекти щодо підготовки підприємства до впровадження системи якості НАССР;

– дослідити специфіку впровадження системи якості НАССР на засадах використання методики ідентифікації критичних контрольних точок і інструментарію виробничого моніторингу;

– сформувати заходи технологічного і організаційного спрямування по впровадженню і поширенню використання системи НАССР на підприємствах харчової промисловості.

Виклад основного матеріалу. Система аналізу ризиків та контролю критичних точок (НАССР) виникла як відповідь на зростаючі потреби суспільства

у безпечних харчових продуктах. Її корені беруть початок у 1960-х роках, коли компанія «Pillsbury» розробила технологію забезпечення безпеки харчових продуктів для космічних програм НАСА. Компанія «Pillsbury» у тісній співпраці з Агентством з аеронавтики та космічних досліджень США (NASA) та Армійською лабораторією розробили свого чачу методику, в основу якої було покладено аналіз ризиків та виявлення критичних контрольних точок (ККТ) безпосереднього виробництва [2, с. 14].

В даний час практикується створення інтегрованих систем менеджменту, заснованих на системах менеджменту якості, екологічного менеджменту, менеджменту професійної безпеки та здоров'я, соціального та етичного менеджменту, проте спостерігається відсутність єдиного концептуального підходу, а також нестача методичних рекомендацій у даній галузі, що дозволяють впроваджувати інтегровані системи менеджменту на українських харчових підприємствах. Створення інтегрованої системи менеджменту на харчових підприємствах, що базується на міжнародних стандартах ISO серії 9000 та засадах НАССР, сприяє забезпеченню безпеки харчової продукції. Модель НАССР у певному сенсі можна назвати підлозі універсальною, оскільки вимоги до системи менеджменту (у частині виробництва) є досить загальними та застосовними до виробництва будь-яких харчових продуктів, лікарських засобів тощо, а вимоги до окремих елементів виробничого процесу (операцій) специфічні для кожного виду продукції. Ці специфічні вимоги можна визначити, використовуючи метод ХАССП шляхом аналізу критичних контрольних точок [1, с. 98]. Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) – це визнана у світі система забезпечення безпеки продуктів для споживачів шляхом контролю за факторами ризику протягом повного циклу виробництва та транспортування харчових продуктів. Ця система визначає систематичний підхід до розпізнавання можливих ризиків хімічного, фізичного та біологічного (мікробіологічного) походження, їх оцінки та контролю. Метою НАССР є забезпечення безпеки продуктів для споживачів шляхом контролю за факторами ризику протягом повного циклу виробництва та транспортування харчових продуктів [4, с. 13-14]. В основу використання системи якості НАССР було покладено сім ключових принципів, кожен з яких спрямований на забезпечення відповідного рівня безпеки вироблюваних харчових продуктів:

1. Аналіз ризиків виробництва як потенційних біологічних, хімічних та фізичних небезпек на кожному його етапі та визначення заходів для їх попередження, усунення або зменшення до прийнятного оперативного рівня.

2. Визначення критичних контрольних точок (ККТ) на засадах ідентифікації визначальних ключових моментів безпосередньо виробничого процесу, на яких відбувається постійний контроль рівня ризиків харчового виробництва.

3. Встановлення критичних меж для кожної ККТ на основі введення допустимих меж параметрів контролю виробництва для окресленого ряду ККТ (температура, час обробки, рівень вологості тощо).

4. Моніторинг ККТ через впровадження сталого контролю за технологічним і технічними параметрами харчового виробництва, визначення критичних точок, з метою оперативного виявлення відхилень від встановлених норм.

5. Розробка коригувальних дій для швидкого усунення відхилень певних параметрів від критичних меж, щоб гарантувати безпеку харчової продукції.

6. Процедури верифікації через системну перевірку рівня ефективності системи НАССР для забезпечення належної відповідності стандартам безпеки харчових продуктів.

7. Документування та ведення записів відбувається як детальна фіксація протікання всіх техніко-технологічних процесів, пов'язаних з НАССР, з метою забезпечення прозорості і подальшого аудиту самої системи.

Сучасна система НАССР має численні переваги для підприємств харчової промисловості і її впровадження і розвиток сприяє оптимізації внутрішніх процесів харчового виробництва. Постійний моніторинг та контроль на кожному етапі виробничого циклу формує практику вчасного виявлення і подальшого фахового усунення проблеми, що призводить далі до зменшення кількості браку продукції та економії ресурсів [5, с. 2210]. Визначаємо, що організаційно-забезпечувальний процес підготовки до впровадження системи НАССР має складатися з відповідного переліку ключових етапів, що мають бути ретельно сплановані та відповідним чином далі виконані на підприємстві.

Першим етапом визначаємо оцінювання поточного стану виробничого процесу та визначення ступеня готовності підприємства до впровадження стандарту НАССР. Аналіз має містити оцінку відповідних і затверджених практик гігієни, санітарних умов, обладнання, кваліфікації персоналу, а також відповідності нормативній базі галузі. За цими результатами формується подальша можливість виявлення слабких місць у технології виробництва та визначення векторів удосконалення процесів впровадження системи НАССР. Другий етап передбачає створення робочої групи НАССР, до якої входять спеціалісти провідних служб, відділів, підрозділів підприємства, такі як технологи, представники відділу якості, інженери та виробничий персонал. Сформована група в подальшому відповідає за мікророзробку, впровадження та підтримку системи НАССР на підприємстві. На третьому етапі відбувається аналіз виробничих процесів, виявлення потенційних небезпек та визначення заходів належного виробничого контролю. Робоча група детально аналізує всі етапи виробництва: від приймання сировини та її обробки до зберігання та транспортування готової продукції. Основна мета цього аналізу – виявити біологічні, хімічні та фізичні небезпеки, що можуть загрожувати безпеці продуктів, і визначити ключові моменти, де ці небезпеки можуть бути піддані контролю якості [14, с. 654]. Після проведення аналізу, наступним кроком визначено розробку плану використання (експлуатації) НАССР, який включає в себе процес ідентифікації критичних контрольних точок (ККТ), встановлення критичних меж для кожної ККТ, визначення процедур необхідного моніторингу та прогнозованих або запрограмованих коригувальних дій [3].

Завершальним етапом визначаємо пряме впровадження та постійний моніторинг системи НАССР на засадах регулярного контролю ККТ, збору та аналізу відповідних виробничих (технологічних, економічних) даних, а також коригувальні дії у випадку відхилень від встановлених контрольних точок. Для забезпечення високого рівня ефективності системи проводиться її періодична верифікація, під час якої перевіряється відповідність діяльності підприємства встановленому плану НАССР, а також вносяться зміни відповідно до нових умов виробництва чи змінюваних вимог ринку.

Також було визначено стадії виробничого процесу, контроль яких (за допомогою встановлення критичних меж, процедур моніторингу та розробки коригуючих дій) дозволив значно знизити ймовірність отримання продукції, небезпечної для здоров'я споживача). Було виділено такі критичні контрольні точки (ККТ) [7, 9]:

– на етапі вхідного контролю за сировиною: контроль супровідних документів (ККТ1); аналіз результатів випробувань у сторонній лабораторії (ККТ2);

– на етапі просіювання: візуальний контроль наявності сторонніх включень (ККТ3);

– на етапі приймального лабораторного контролю: лабораторний аналіз фізико-хімічних та органолептичних показників у лабораторії (ККТ4);

– на етапі контролю готової продукції: аналіз показників безпеки у сторонній акредитованій лабораторії (ККТ5);

– на етапі зберігання готової продукції: візуальний контроль відходів життєдіяльності гризунів та комах (ККТ6).

За підсумками аналізу небезпек було обрано програми обов'язкових попередніх заходів (oPRP – operational prerequisite program), які увійшли до переліку заходів з управління разом із планом HACCP. Класифікацію заходів щодо управління для підприємств з виробництва сухих порошкоподібних харчових добавок наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація заходів з управління впровадження HACCP на підприємстві харчової промисловості

Операція	Заходи з управління	oPRP/ HACCP
Вхідний контроль сировини	Контроль супровідної документації Контроль вмісту масової частки вологи Забраковування та повернення сировини постачальнику у разі незадовільних результатів	HACP
Вхідний контроль пакувальних матеріалів, транспортної тари	Контроль температурно-вологісного режиму в приміщенні Щоденний огляд, зачищення та вибраковування палет	HACP
Просіювання	Технічний огляд обладнання, усунення сторонніх предметів та заміна непрацездатних сит, кришки вібросит повинні бути закриті Контроль температурно-вологісного режиму	oPRP HACP
Складання рецептури	Контроль температурно-вологісного режиму	HACP
Перемішування	Щоденний технічний огляд обладнання, усунення сторонніх предметів Контроль температурно-вологісного режиму	oPRP HACP
Дозування	Контроль температурно-вологісного режиму	HACP
Упаковка, маркування	Контроль температурно-вологісного режиму	HACP
Лабораторний приймальний контроль	Призупинення відвантаження, повторні випробування, проведення коригувальних дій у разі негативних результатів Контроль відсутності сторонніх домішок	HACP oPRP
Зберігання готової продукції	Контроль температурно-вологісного режиму	HACP
Періодичний контроль	Припинення відвантаження, повторні випробування, забраковування у разі негативних результатів повторних випробувань	HACP

Джерело: сформовано автором

Впровадження даних процедур сприяє відповідності продукції нормативним та технічним документам, стабільності якості та безпеки продукції, зменшенню скарг від споживачів, зниженню виробничих витрат за рахунок скорочення браку та профілактичного характеру системи. Для визначення значущості потенційної небезпеки використовували структурований підхід, застосовуючи метод аналізу ризиків за якісною діаграмою, що є графіком залежності ймовірності реалізації небезпечного фактора від тяжкості наслідків його реалізації [16]:

– оцінювали ймовірність появи небезпечного чинників з 4-х можливих варіантів оцінки: практично дорівнює нулю; незначна; значна; висока;

– відповідно до отриманих результатів за кожним фактором визначалася ступінь його врахування для виявлення ККТ. Ступінь обліковості оцінювалася відповідно до якісної діаграми;

– виявляли тяжкість наслідків вживання продукту, що містить небезпечний фактор, виходячи з 4-х можливих варіантів оцінки: легке, середньої тяжкості, важке, критичне. За результатами аналізу ризику складено перелік факторів, що враховуються, при яких ризик перевищує допустимий рівень. Проведений аналіз небезпек дозволив систематизувати знання, що є у фахівців, необхідні для встановлення результативної комбінації керуючих впливів.

Отже, ми констатуємо невідворотність і засадничу роль критичних контрольних точок на всіх етапах виробничого процесу, коли існує можливість, усунення загроз, зниження до прийнятного рівня тієї небезпеки, що загрожує безпеці харчових продуктів. У різних секторах харчової промисловості ідентифікація та аналіз ККТ мають свої особливості, зумовлені специфікою виробництва, типом сировини та кінцевої продукції, а саме.

У м'ясній промисловості основними небезпеками є мікробіологічне забруднення продукції патогенними мікроорганізмами (Salmonella, E. coli) та паразитами. Відповідно маркери ККТ у цьому секторі можуть включати прийом сировини (де контролюється її якість та температурний режим), термічну обробку м'яса (де критичними параметрами є температура та час обробки) та охолодження готової продукції (для запобігання розвитку мікроорганізмів). Молочна промисловість також стикається з мікробіологічними ризиками та ризиками хімічного забруднення (наприклад, залишками антибіотиків у молоці). ККТ у цьому секторі інтегрують в себе саму пастеризацію (контроль температури та часу нагрівання молока для знищення патогенів), процеси охолодження та зберігання молока (щоб запобігти розмноженню бактерій), також перевірку якості сировини при прийманні (тестування на наявність антибіотиків та інших хімічних речовин) [12, с. 470].

У кондитерській промисловості особливу увагу приділяють фізичним та хімічним небезпекам, таким як сторонні домішки (шматочки скла, металу) та наявність алергенів коли у список ККТ потрапляють процеси сортування та очищення сировини, контроль обладнання на виробничих лініях (встановлення магнітних уловлювачів для вилучення металевих частинок), а також дотримання температурних режимів під час випічки та подальшого зберігання готової продукції [5].

Рибна промисловість стикається з мікробіологічними ризиками та ризиками накопичення токсинів у рибі. Складові ККТ у цьому секторі харчової промисловості включають відповідно такі виробничі процеси як: приймання та зберігання сировини (контроль температури та свіжості риби), механічна обробка (заморожування для запобігання розвитку бактерій та паразитів) та пакування (забезпечення асептичних умов). Овочева та фруктова промисловість концентрується на контролі мікробіологічних та хімічних ризиків (залишки пестицидів) і відповідно

ККТ в цьому напрямку можуть бути сформовані як миття та дезінфекція сировини, контроль якості води, що використовується для миття, перевірка на залишки пестицидів перед відправленням продукції на ринок. Зернова та хлібобулочна промисловість зосереджується на контролі мікотоксинів та фізичних забруднень (камінці, залишки рослин) коли елементи ККТ записуються у форматі приймання зерна (тестування на наявність мікотоксинів), очищення та просіювання (видалення сторонніх домішок) і постійний виробничий контроль параметрів випікання (температури та часу) [8]. З урахуванням сформульованих вимог було сформовано концептуальну модель системи менеджменту, що інтегрує вимоги НАССР (рис. 1).

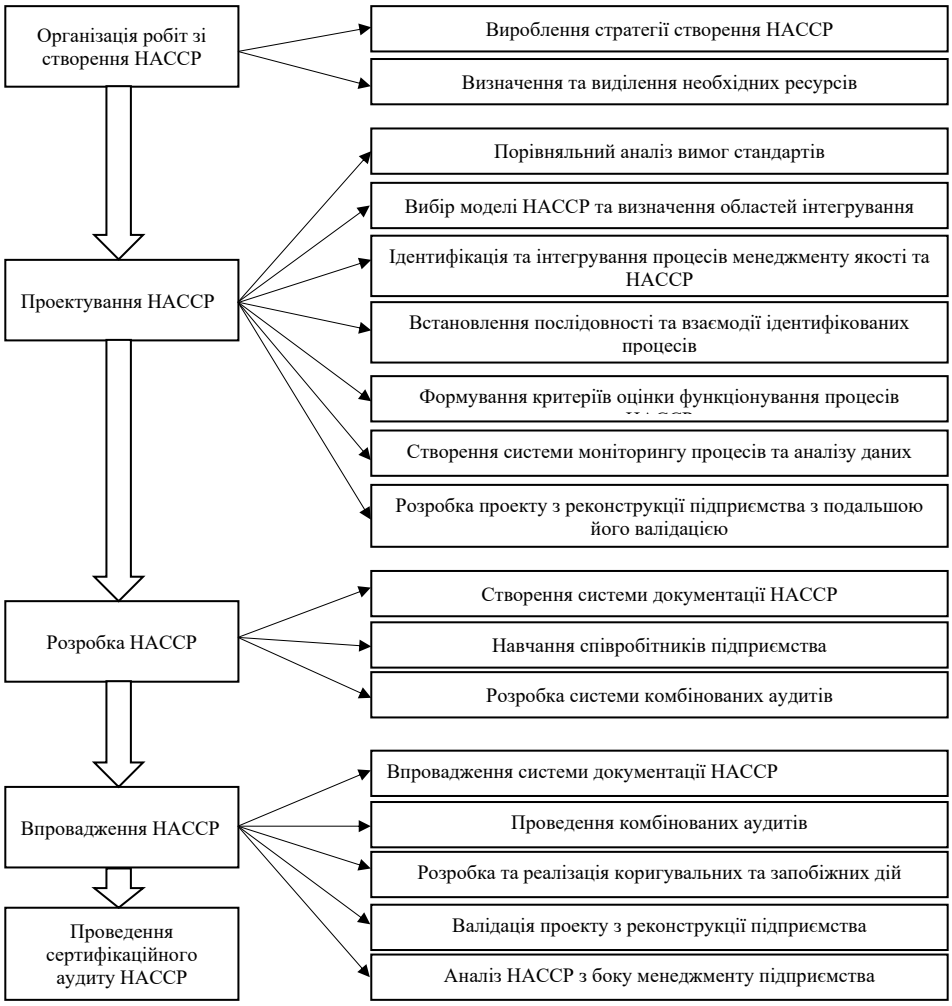


Рис. 1. Алгоритм методики створення і впровадження системи НАССР на підприємстві харчової промисловості

Джерело: розроблено автором

Вибір способу побудови системи менеджменту якості здійснюється в залежності від наявності або відсутності функціонуючої системи менеджменту на

підприємстві, особливостей систем менеджменту та їхньої спрямованості на облік вимог довкілля. З огляду на сферу діяльності розмір підприємства. Однією з основних завдань проектування системи менеджменту якості є етап ідентифікації та інтегрування процесів HACCP, з наступним встановленням послідовності та взаємодій ідентифікованих процесів. В результаті інтегрування процесів створено єдину мережу системоутворюючих процесів, що діють в HACCP (рис. 2).

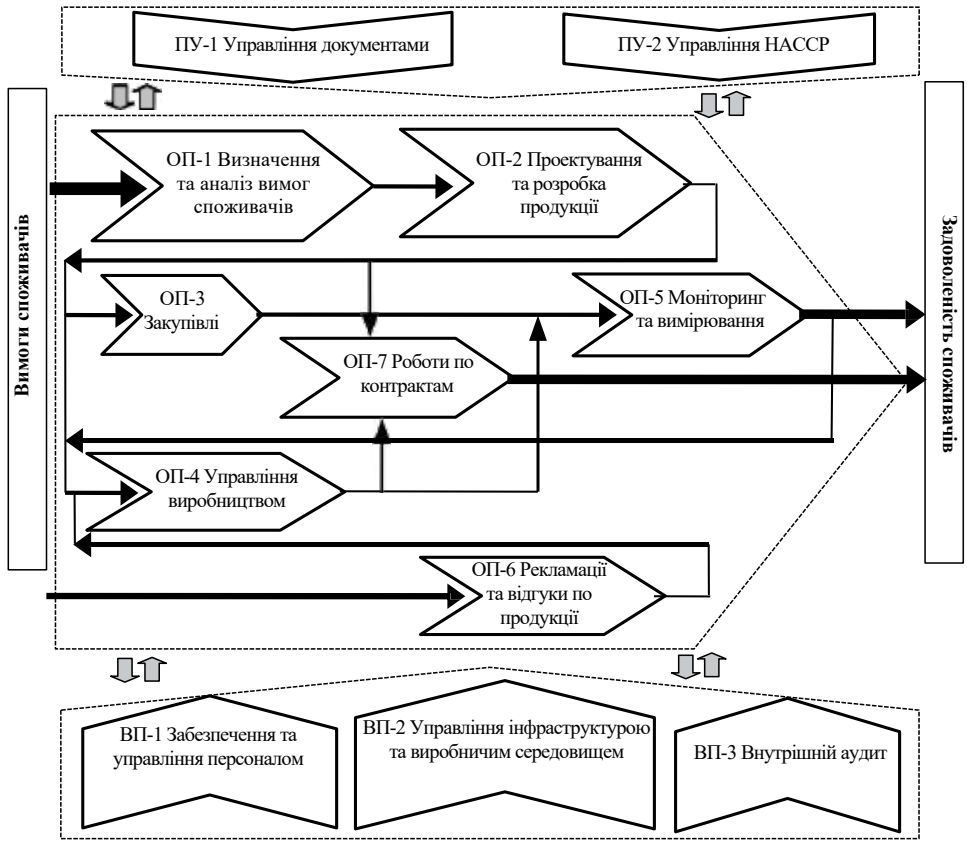


Рис. 2. Єдина мережа системотворчих процесів HACCP на підприємстві харчової промисловості

Джерело: розроблено автором

Процеси впровадження системи HACCP і харчовій промисловості залежить від багатьох факторів, які доцільно поділити відповідно на внутрішні та зовнішні. До внутрішніх факторів віднесемо аспект специфіки діяльності харчового підприємства, рівень розвитку його виробничої інфраструктури, готовність та мотивація менеджменту до впровадження HACCP, а також відповідно і наявність компетентного виробничого і обслуговуючого персоналу. Складність виробничих процесів, розмір підприємства та тип продукції впливають на засади проведення ідентифікації критичних контрольних точок та формування єдиного плану HACCP. Зовнішні фактори, на нашу думку, вже відповідно включають регуляторні вимоги, міжнародні стандарти, специфікацію ринку та очікувань споживачів. Вимоги

з боку імпортерів і партнерів також можуть тиснути на виробників щодо впровадження системи НАССР для постійного і прозорого забезпечення відповідності міжнародним стандартам безпеки харчової продукції [10, с. 53].

Запропонована методика, заснована на злитті вимог систем традиційних менеджменту якості та НАССР та побудові системної моделі, дозволяє створити інтегровану систему менеджменту якості з урахуванням специфічних галузевих особливостей харчових підприємств. В межах поточного дослідження визначимо процесність імплементації системи НАССР через гарантоване забезпечення її ефективності та надійності.

Висновки. За результатами дослідження було сформовано концепцію інтегрованої системи менеджменту для підприємств харчової промисловості, що поєднує стандарти ISO та систему НАССР та визначено, що впровадження окресленої системи сприятиме подальшому підвищенню безпеки та якості харчової продукції, а також забезпечує її відповідність міжнародним вимогам. Було запропоновано покрокову методику впровадження системи НАССР на підприємствах харчової промисловості, яка включає сім основних принципів: аналіз ризиків, визначення ККТ, встановлення критичних меж, моніторинг ККТ, розробка коригувальних дій, верифікація та документування з метою забезпечення існування систематичного підходу до контролю ризиків та підвищення безпеки харчової продукції н підприємстві.

Було сформовано рекомендації щодо формування та підготовки робочої групи НАССР на підприємстві, яка відповідає за аналіз виробничих процесів, визначення потенційних небезпек та розробку ефективного плану НАССР. Обґрунтовано формат використання системи моніторингу та контролю критичних контрольних точок на всіх етапах виробничого процесу, що забезпечує своєчасне виявлення та усунення відхилень від встановлених стандартів. Оцінено вплив впровадження системи НАССР на загальну ефективність роботи підприємства, зокрема на зменшення браку продукції, економію ресурсів та підвищення кваліфікації персоналу. Виявлено, що впровадження НАССР сприяє адаптації підприємства до змін у нормативно-правовій базі та вимогах ринку, підвищуючи його конкурентоспроможність. Було сформовано рекомендації щодо документування та ведення записів на підприємствах для забезпечення прозорості всіх процесів, пов'язаних із НАССР, та можливості проведення подальшого аудиту системи, що забезпечуватиме подальше сприяння забезпеченню стабільності якості продукції та відповідності вимогам міжнародних стандартів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Брикова Т. Система НАССР при виробництві напівфабрикатів. *Міжнародний науково-практичний журнал товари і ринки*. 2024. № 50(2). С. 93–109. https://doi.org/10.31617/2.2024(50)07

2. Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів: практичний посібник / за ред. А.С. Ткаченко. Полтава: ПУЕТ. 2020. 137 с. URL: https://dpss-te.gov.ua/uploads/files/vetupr/haccp_posibnik.pdf (дата звернення 05.10.24)

3. Македон В. В. Розвиток системи стратегічного менеджменту міжнародних компаній на засадах крос-функціонального підходу. *European Journal of Management Issues.* 2023. № 31(3) с. 177-188. https://doi.org/10.15421/192315

4. Романовська Т. І., Осейко М. І., Романовська Н. І., Романовський Н. О. Основні вимоги до системи управління безпечністю промислового харчового виробництва. *Наукові праці НУХТ*. 2022. № 28(2). с. 8–23. http://dx.doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-2-3

5. Adam D.H., Supriadi Y.N., Ende Siregar ZME. Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2020. No 9(04). pp. 2209-2211.

6. Aulia A., Handoko F.N. The application of HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) in Food Production Department. *Jurnal Sosial Humaniora Terapan*. 2020. No 2(2). pp. 101–106. URL: https://scholar.archive.org/work/z3ocsmjafna3njtr2ycm342kxa/access/waybac k/http://journal.vokasi.ui.ac.id/index.php/jsht/article/download/84/54 (дата звернення 05.10.24)

7. Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskiy V.G., Besfamilnaya E. M., Sumerin V.A. Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. *Journal of physics: conference series*. 2020. no 1705(1). pp. 012019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019.

8. Generic HACCP Model for Meat and Poultry Products with Secondary Inhibitors, not shelf stable. URL: http://www.fsis.usda. gov/ index.htm (дата звернення 05.10.24)

9. Kharissova Q.V., Kharisov B.I., González C.M.O., Méndez Y. P., López I. Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society Open Science.* 2019. No 6(11). pp. 191378. https://doi.org/10.1098/rsos.191378.

10. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2024. no 2(13(128)). pp. 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796.

11. Mortimore S, Wallace C. Food Industry Briefing Series: HACCP. 2008. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470999578.

12. Mrugalska B., Wyrwicka M.K. Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*. 2017. no 182. pp. 466-473. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135.

13. Peshuk L., Simonova I., Halukh B. Quality management and safety control of semifinished production in the context of the HACCP system. *Specialized and multidisciplinary scientific researches: Collection of scientific papers «ΛΌГОΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2020. No 2(1). pp. 35–38. https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v2.09.

14. Piotrowska-Puchała A. Quality assurance management based on the HACCP system in food service enterprises. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/ Politechnika Śląska*. 2020. No (148). pp. 647–659. http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2020.148.47

15. Rosak-Szyrocka J., Abbase A.A. Quality management and safety of food in HACCP system aspect. *Production Engineering Archives*. 2020. no 26(2). pp. 50–53. https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.11.

16. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. URL: https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf (дата звернення 05.10.24)

REFERENCES:

1. Brykova, T. (2024). Systema HACCP pry vyrobnytstvi napivfabrykativ [HACCP system in the production of semi-finished products]. *International scientific-practical journal commodities and markets*. 50, 2 (Jun. 2024), 93–109. DOI: https://doi.org/10.31617/2.2024(50)07. [in Ukrainian].

2. Tkachenko, A. (2020). Vprovadzhennya systemy NASSR dlya operatoriv rynku kharchovykh produktiv: praktychnyy posibnyk [Promotion of the HACCP system for operators of the food market: a practical guide]. Poltava, PUET. [in Ukrainian].

3. Makedon, V.V. (2024). Rozvytok systemy stratehichnoho menedzhmentu mizhnarodnykh kompaniy na zasadakh kros-funktsional′noho pidkhodu [Development of the Strategic Management System of International Companies on the Basis of Cross-functional Approach]. *European Journal of Management Issues*, 31(3), 177-187. doi:10.15421/192315. [in Ukrainian].

4. Romanovs′ka, T. I., Oseyko, M. I., Romanovs′ka, N. I., Romanovs′kyy, N. O. (2022). Osnovni vymohy do systemy upravlinnya bezpechnistyu promyslovoho kharchovoho vyrobnytstva [Basic requirements for the safety management system of industrial food production]. *Naukovi pratsi NUKHT*, 28(2), 8–23. http://dx.doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-2-3. [in Ukrainian].

5. Adam, D.H., Supriadi, Y. N., Ende Siregar Z.M.E. (2020). Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(04), 2209-2211. [in English].

6. Aulia, A., & Handoko, F.N. (2020). The application of HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) in Food Production Department. *Jurnal Sosial Humaniora Terapan*, 2(2), 101–106. URL: https://scholar.archive.org/work/z3ocsmjafna3njtr2ycm342kxa/access/waybac k/http://journal.vokasi.ui.ac.id/index.php/jsht/article/download/84/54. [in English].

7. Blagoveshchenskiy, I.G., Blagoveshchenskiy, V.G., Besfamilnaya, E. M., & Sumerin, V.A. (2020). Development of databases of intelligent expert systems for automatic control of product quality indicators. *Journal of physics: conference series*, 1705(1), 012019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012019. [in English].

8. Generic HACCP Model for Meat and Poultry Products with Secondary Inhibitors, not shelf stable (2022). URL: http://www.fsis.usda. gov/ index.htm [in English].

9. Kharissova, Q.V., Kharisov, B.I., González, C.M.O., Méndez, Y.P., López, I. (2019). Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society Open Science*, 6(11), 191378. https://doi.org/10.1098/rsos.191378. [in English].

10. Makedon, V., Myachin, V., Plakhotnik, O., Fisunenko, N., Mykhailenko, O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(13(128)), 47-57. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796. [in English].

11. Mortimore, S., & Wallace, C. (2008). Food Industry Briefing Series: HACCP. John Wiley & Sons. URL: https://doi.org/10.1002/9780470999578. [in English].

12. Mrugalska, B., Wyrwicka, M.K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466-473. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135. [in English].

13. Peshuk, L., Simonova, I., & Halukh, B. (2020). Quality management and safety control of semifinished production in the context of the HACCP system. Specialized and multidisciplinary scientific researches: *Collection of scientific papers «ΛΌГОΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 2(1), 35–38. https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v2.09. [in English].

14. Piotrowska-Puchała, A. (2020). Quality assurance management based on the HACCP system in food service enterprises. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, (148), 647–659. http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2020.148.47. [in English].

15. Rosak-Szyrocka, J., & Abbase, A.A. (2020). Quality management and safety of food in HACCP system aspect. *Production Engineering Archives*, 26(2), 50–53. https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.11. [in English].

16. The State of Food Security and Nutrition in the World (2022). URL: https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf [in English].

УДК 613.22
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.21

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА ФРУКТОВОГО ПЮРЕ ДЛЯ ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ

Горач О. О. *– доктор технічних наук, доцент,*
професор кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002
Scopus-Author ID: 57426262700

Головенко Т. М. *– доктор технічних наук,*
доцент кафедри технологій легкої промисловості
Луцького національного технічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1792-9364
Scopus-Author ID: 57208643254

Істоміна Ю. В. *– здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня другого року навчання*
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0007-4024-4447

В статті проведено дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування. Наведено основні етапи виробництва, проаналізовано обсяги виробництва основних його видів, зазначено що ринок асептичного пюре в Україні орієнтований на виробників соків та кондитерських виробів. Зазначено, що вибір якісної сировини для виробництва фруктового пюре для дитячого харчування є критично важливим етапом, оскільки якість сировини напряму впливає на безпеку, поживність та смак продукту. Слід обирати сировину високої якості. Вона повинна бути вирощена та перероблена в умовах, що відповідають вимогам гігієни та стандартам якості. Сировина повинна бути органічною та не містити шкідливих речовин, таких як пестициди чи хімічні добрива. Без додавання штучних барвників, ароматизаторів та консервантів. Смак та аромат повинен бути приємним та свіжим, без ознак псування. Наявність сертифікації та документації сировини, які підтверджують її якість та безпеку. Технологічний процес іноді може варіюватися в залежності від використовуваної технології та рецептури продукту, але завжди є основні етапи.

Термообробка є ключовим етапом виробництва фруктового пюре для дитячого харчування, оскільки вона впливає на безпеку, якість та тривалість зберігання продукту. Основні методи термообробки включають: пастеризацію та стерилізацію. При використанні консервантів важливо дотримуватися рекомендацій щодо їхнього використання, а також відповідати вимогам стандартів безпеки та якості харчових продуктів для дітей. Забезпечення герметичності упаковки, щоб уникнути проникнення повітря, вологи та бактерій, що може призвести до псування продукту. Також важливо переконатися, що упаковка має цілісність без будь-яких проколів або пошкоджень.

Фруктове пюре повинне зберігатися в умовах, де воно не піддається впливу прямих сонячних променів або підвищеної температури, що може спричинити зміну кольору, смаку та поживної цінності продукту. Важливо правильно визначити термін придатності продукту з урахуванням типу упаковки, методу термообробки та умов зберігання. Це допомагає гарантувати безпеку та якість продукту для споживачів. Таким чином, узагальнюючи вимоги до виробництва даної групи продуктів, можна зробити висновок, що вони передбачають контроль якісних та безпечних показників сировини та поточний контроль на кожній стадії технологічного процесу виробництва продукції в контексті харчового законодавства.

Ключові слова: *дитяче харчування, фруктове пюре, технологічний процес, виробництво, технологія, контроль якості.*

Horach O. O., Holovenko T. M., Istomina Yu. V. Research of the technological features of the production of fruit puree for child food

Setting objectives. *The article researches the technological features of the production of fruit puree for baby food. The main stages of production are given, the volumes of production of its main types are analyzed, it is indicated that the market of aseptic puree in Ukraine is oriented towards producers of juices and confectionery products. It is noted that the selection of high-quality raw materials for the production of fruit puree for baby food is a critically important stage, since the quality of raw materials directly affects the safety, nutrition and taste of the product. It is necessary to choose raw materials of high quality. It must be grown and processed in conditions that meet hygiene requirements and quality standards. The raw material must be organic and free from harmful substances such as pesticides or chemical fertilizers. Without the addition of artificial colors, flavors and preservatives. The taste and aroma should be pleasant and fresh, without signs of spoilage. Availability of certification and documentation of raw materials, which confirm its quality and safety.*

Research results. *The technological process can sometimes vary depending on the technology used and the formulation of the product, but there are always the main stages. Heat treatment is a key stage in the production of fruit puree for baby food, as it affects the safety, quality and shelf life of the product. The main methods of heat treatment include: pasteurization and sterilization. When using preservatives, it is important to follow the recommendations for their use, as well as meet the requirements of the safety and quality standards of food products for children. Ensuring the package is airtight to avoid the ingress of air, moisture and bacteria, which can lead to product spoilage. It is also important to ensure that the packaging is intact without any punctures or damage. Protection from exposure to light and heat: Fruit puree must be stored in conditions where it is not exposed to direct sunlight or high temperatures, which can cause a change in the color, taste and nutritional value of the product. It is important to correctly determine the shelf life of the product, taking into account the type of packaging, heat treatment method and storage conditions. This helps ensure product safety and quality for consumers.*

Conclusions. *Thus, summarizing the requirements for the production of this group of products, we can conclude that they provide for the control of quality and safety indicators of raw materials and current control at each stage of the technological process of product production in the context of food legislation.*

Key words: *baby food, fruit puree, technological process, production, technology, quality control.*

Постановка проблеми. Динаміку розвитку ринку дитячого харчування визначають соціально-демографічні зміни і платіжна спроможність населення. Зростання ринку дитячого харчування пов’язане не в останню чергу і з несприятливою екологічною ситуацією. Тому, все більшим попитом користуються продукти для дитячого харчування стерилізовані та подовженого терміну зберігання.

Нові види продуктів дитячого харчування розроблюють відповідно до існуючих медико-біологічних вимог, які базуються на сучасній концепції адекватного харчування. Зважаючи на це, асортиментний сегмент такої продукції має враховувати рівень розвитку функціональної зрілості органів травлення і ферментних систем організму дитини, передбачати як відповідний хімічний склад продукції, так і її токсикологічну безпеку. Таким чином, дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування є важливою задачею, оскільки дитячі продукти мають особливі вимоги до якості, безпеки та поживності.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до ДСТУ 8639:2016 «Пюре-напівфабрикати фруктові. Загальні технічні умови» пюре-напівфабрикати фруктові, виготовляють з протертих свіжих фруктів, консервованих асептичним способом або методом «гарячого розливання», призначені для виготовлення консервованої продукції, зокрема для дитячого харчування [1].

Асептичне пюре – це пюре, яке було оброблене таким чином, щоб забезпечити його стерильність і відсутність мікроорганізмів. Процес асептичної обробки полягає в тому, щоб знищити всі мікроорганізми, які можуть спричинити псування пюре або здоров'я споживача. Це може бути досягнуто за допомогою теплової обробки та спеціальних технологій консервації без використання консервантів. Асептичне пюре має довший термін придатності та може зберігатись при кімнатній температурі без необхідності холодильного зберігання. Його часто використовують у харчовій промисловості для виготовлення соусів, супів, напоїв та інших продуктів. На рис. 1 наведено дослідження ринку асептичного пюре в Україні за даними компанії Pro-Consulting [2].



Рис. 1. Дослідження ринку асептичного пюре в Україні

Аналізуючи дані на рис. 1 можна зробити висновок, що ринок асептичного пюре в Україні орієнтований на виробників соків та кондитерських виробів.

Дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування є важливою задачею, тому метою даної статті є аналіз кожного етапу виробництва.

Вибір якісної сировини для виробництва фруктового пюре для дитячого харчування є критично важливим етапом, оскільки якість сировини напряму впливає на безпеку, поживність та смак продукту. Слід обирати сировину високої якості. Вона повинна бути вирощена та перероблена в умовах, що відповідають вимогам гігієни та стандартам якості. Сировина повинна бути органічною та не містити шкідливих речовин, таких як пестициди чи хімічні добрива. Без додавання штучних барвників, ароматизаторів та консервантів. Смак та аромат повинен бути приємним та свіжим, без ознак псування. Наявність сертифікації та документації сировини, які підтверджують її якість та безпеку [3].

Технологічний процес іноді може варіюватися в залежності від використовуваної технології та рецептури продукту, але завжди є основні етапи. Підготовка сировини полягає в тому, що фрукти обираються згідно з вимогами до якості та безпеки. Вони миються та очищаються від шкірки, насіння та інших непридатних частин. Фрукти ріжуться на шматочки або подрібнюються для подальшої обробки.

Термічна обробка, полягає в тому, що підготовані фрукти піддаються термічній обробці, яка може бути пастеризацією або стерилізацією. Це допомагає знищити бактерії та зберегти продукт протягом тривалого часу. Тривалість та температура

обробки залежать від конкретного виду фрукту та технології виробництва. Термообробка є ключовим етапом виробництва фруктового пюре для дитячого харчування, оскільки вона впливає на безпеку, якість та тривалість зберігання продукту. Основні методи термообробки включають: пастеризацію та стерилізацію [4-6].

Пастеризація полягає у тимчасовому нагріванні фруктового пюре до високої температури, зазвичай близько 85-95°C, протягом короткого періоду часу, наприклад, 30 хвилин. Цей метод дозволяє знищити більшість патогенних мікроорганізмів, зберігаючи при цьому більшу частину поживних речовин та природний смак продукту. Пастеризація не забезпечує повного знищення всіх мікроорганізмів, але знижує їхню кількість до безпечного рівня.

Стерилізація є більш радикальним методом, де фруктове пюре піддається тривалому нагріванню при високій температурі, зазвичай близько 110-120°C, протягом 10-20 хвилин. Цей метод забезпечує повне знищення патогенних бактерій, грибків та інших мікроорганізмів, що робить продукт стерильним. Однак стерилізація може призводити до значних втрат поживних речовин та зміни смакових властивостей продукту через високу температуру та тривалий час термічної обробки.

При виборі методу термообробки для фруктового пюре для дитячого харчування важливо враховувати баланс між безпекою продукту, збереженням поживних речовин та збереженням природного смаку та аромату. Більшість виробників обирають пастеризацію для збереження якості продукту, але можуть використовувати стерилізацію для продуктів з тривалим терміном зберігання або в особливих випадках, коли безпека продукту має переважати над іншими факторами.

Наступним етапом після термічної обробки є розмелювання та змішування: фруктові шматочки подрібнюються в пюре за допомогою спеціальних механічних або термічних пристроїв. Пюре змішується для досягнення однорідності та однакової консистенції.

Потім здійснюється додавання додаткових інгредієнтів, наприклад, можуть додаватися інші інгредієнти, такі як цукор, вітаміни, антиоксиданти або інші добавки для покращення смаку, аромату та поживності продукту. Додатки та консерванти виграють важливу роль у виробництві фруктового пюре для дитячого харчування, забезпечуючи якість, безпеку та тривалість зберігання продукту. Однак, важливо зберігати баланс між використанням натуральних інгредієнтів та забезпеченням безпеки та якості продукту. Ось деякі типи додатків та консервантів, які можуть бути використані:

– цукор або натуральні підсолоджувачі. Додавання цукру або натуральних солодких інгредієнтів, таких як фруктоза або мед, може покращити смак та прийнятність продукту для дітей;

– вітаміни та мінерали. Додавання вітамінів та мінералів може підвищити поживну цінність продукту та зробити його кориснішим для дитячого харчування;

– натуральні ароматизатори. Використання натуральних ароматизаторів, таких як екстракти фруктів, дозволяє підкреслити природний смак та аромат продукту без використання штучних добавок;

– натуральні консерванти. Деякі натуральні інгредієнти, такі як аскорбінова кислота (вітамін С) або розчини лимонної кислоти, можуть бути використані як консерванти для збереження якості та тривалості зберігання продукту;

– пребіотики та пробіотики. Додавання пребіотиків та пробіотиків може покращити підтримку здоров’я шлунково-кишкового тракту дітей та підвищити їхній імунітет;

– екстракти рослин. Екстракти рослин, такі як ромашка або лаванда, можуть додаватися для покращення смаку та аромату продукту та підвищення його спокійного впливу на організм.

При використанні консервантів важливо дотримуватися рекомендацій щодо їхнього використання, а також відповідати вимогам стандартів безпеки та якості харчових продуктів для дітей. Вибір натуральних інгредієнтів та мінімізація використання штучних добавок може сприяти створенню безпечного та здорового продукту для дитячого харчування.

Після додавання інгрідієнтів відбувається фільтрація та охолодження. Після змішування пюре проходить через фільтр для видалення непотрібних частинок та отримання більш гладкої текстури. Далі пюре охолоджується до встановленої температури перед упаковкою.

Охолоджене фруктове пюре упаковується в спеціальну тару, яка забезпечує його захист від зовнішнього середовища та довготривале зберігання. Упаковане пюре може піддаватися стерилізації для збільшення терміну придатності та зниження ризику мікробного забруднення. Пакування та зберігання є важливими етапами виробництва фруктового пюре для дитячого харчування, оскільки вони впливають на безпеку, якість та тривалість зберігання продукту. Для фруктового пюре можуть використовуватися різні типи упаковки, такі як скляні банки, пластикові контейнери, алюмінієві тюби або пакети з ламінованою плівкою. Важливо обрати упаковку, яка забезпечить оптимальний захист продукту від зовнішнього середовища та збереже його якість протягом тривалого часу.

Упаковка повинна бути герметичною, щоб уникнути проникнення повітря, вологи та бактерій, що може призвести до псування продукту. Також важливо переконатися, що упаковка має цілісність без будь-яких проколів або пошкоджень. Фруктове пюре повинне зберігатися в умовах, де воно не піддається впливу прямих сонячних променів або підвищеної температури, що може спричинити зміну кольору, смаку та поживної цінності продукту. Важливо правильно визначити термін придатності продукту з урахуванням типу упаковки, методу термообробки та умов зберігання. Це допомагає гарантувати безпеку та якість продукту для споживачів.

Наступним етапом є маркування та контроль якості. Кожна упаковка маркується з вказанням інформації про продукт, включаючи склад, термін придатності та виробника. Продукція також проходить контроль якості, щоб переконатися в її відповідності стандартам безпеки та якості. Кожна упаковка повинна бути чітко маркована з вказанням інформації про продукт, включаючи склад, термін придатності, спосіб зберігання та виробника. Це допомагає споживачам зробити свідомий вибір та зберегти якість продукту. Фруктове пюре повинне зберігатися в сухому, прохолодному та добре провітрюваному місці. Температура зберігання може залежати від типу продукту та його упаковки, але, як правило, вона зазвичай становить від 0°C до 4°C.

Під час зберігання важливо регулярно перевіряти якість продукту, включаючи візуальний огляд, аналіз запаху та смаку, а також вимірювання pH та інших параметрів. Це допомагає вчасно виявляти будь-які зміни в якості та уникнути випуску неякісної продукції.

Забезпечення якості та безпеки фруктового пюре для дитячого харчування є ключовими аспектами виробництва, оскільки цей продукт призначений для споживання немовлятами та маленькими дітьми. Деякі аспекти, які необхідно врахувати для забезпечення якості та безпеки продукту. Виробництво фруктового пюре

має відповідати високим стандартам гігієни та безпеки харчових продуктів. Це включає в себе дотримання правил санітарії та гігієни на кожному етапі виробництва.

Термічна обробка та інші технічні параметри, такі як температура та тривалість обробки, повинні бути налаштовані таким чином, щоб забезпечити знищення патогенних мікроорганізмів та збереження корисних поживних речовин. Важливо проводити систематичний контроль якості сировини, проміжних продуктів та готового продукту, щоб виявити будь-які аномалії та вжити заходи для їх виправлення. Фруктове пюре має пройти обов'язковий мікробіологічний аналіз для виявлення наявності патогенних бактерій, грибків та інших мікроорганізмів. Упаковка повинна бути герметичною та надійною, щоб запобігти забрудненню та зберегти якість продукту протягом тривалого терміну придатності. Також важливо забезпечити відповідні умови зберігання для збереження якості та безпеки. Упаковка повинна містити достатню інформацію про продукт, включаючи склад, термін придатності, поради зберігання та іншу важливу інформацію для споживачів [4-6].

Регулювання виробництва та продажу фруктового пюре для дитячого харчування включає ряд пунктів, що стосуються якості, безпеки та відповідності стандартам, наприклад санітарно-епідеміологічні норми та стандарти, що включають в себе вимоги щодо гігієни, якості води та сировини, умов праці персоналу та інше [1, 7].

Фруктове пюре повинно відповідати стандартам безпеки харчових продуктів, які встановлюються національними та міжнародними організаціями, такими як FDA (Food and Drug Administration), EFSA (European Food Safety Authority) та інші. Виробники повинні дотримуватися вимог щодо етикетування та маркування продукту. Це включає в себе надання інформації про склад продукту, термін придатності, умови зберігання, виробника та іншу обов'язкову інформацію.

Продукти для дитячого харчування підлягають віковим обмеженням та рекомендаціям з харчування, які встановлюються органами охорони здоров'я. Виробники повинні дотримуватися цих обмежень та рекомендацій у рекламі та маркетингу. Виробники можуть потребувати сертифікації та ліцензування відповідно до місцевих та міжнародних стандартів, щоб забезпечити відповідність їхніх продуктів вимогам щодо якості та безпеки.

Висновки. На основі проведеного дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре, можна зробити висновок, що дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування є важливою задачею, оскільки дитячі продукти мають особливі вимоги до якості, безпеки та поживності. Виробники повинні дотримуватися нормативно-технічних та санітарно-гігієнічних вимог при виробництві, що дозволить створити безпечний та поживний продукт для малюків. Вимоги до виробництва даної групи продуктів передбачають контроль якісних та безпечних показників сировини та поточний контроль на кожній стадії технологічного процесу виробництва продукції в контексті харчового законодавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДСТУ 8639:2016 «Пюре-напівфабрикати фруктові. Загальні технічні умови».
2. Аналіз ринку асептичного пюре в Україні. 2021-9 міс. 2023 рр. Режим доступу: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-asepticheskogo-pyure-v-ukraine-2021-9-mes-2023-gg

3. Горач О.О. Технологічне обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції / Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 1. С. 261-270. https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/372/349

4. Аналіз ринку фруктів, ягід та продуктів їхньої переробки в Україні. Режим доступу: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-fruktov-yagod-i-produktov-ih-pererabotki-v-ukraine-2022-god

5. Горач О.О., Істоміна Ю.В. Сучасні вимоги до виробництва дитячого харчування / Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 1. С. 134-137. http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9475

6. Gorach O. Current state of production and prospects of the use of oily flax seed in the food industry / Das intellektuelle und technologische Potenzial des XXI Jahrhunderts: Innovative Technologie, Informatik, Kybernetik und Automatisierung, Architektur und Bauwesen, Chemie und Pharma. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 23. Teil 1. 2023. Intellectual and technological potential of the XXI century: Innovative technology, Computer science, cybernetics and automation, Architecture and construction, Chemistry and pharmaceuticals. Monographic series «European Science». Book 23. Part 1. 2023. p. 41-59. https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/issue/view/sge23-01/sge23-01 http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9040

7. Міжнародна науково-практична конференція «Здорове харчування дітей в Україні – запорука майбутнього нації: стан і перспективи». Київ НУХТ. 2021. Токарчук С. В. https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0e552397-854b-4ebf-b5c1-dc7cdb1071f8/content/ С. 105-106.

REFERENCES:

1. DSTU 8639:2016 «Pyure-napivfabrikati fruktovi. Zagalni tekhnichni umovi».

2. Analiz rynku aseptychnoho piure v Ukraini. 2021-9 mis. 2023 rr. rezhym dostupu: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-asepticheskogo-pyure-v-ukraine-2021-9-mes-2023-gg

3. Horach O.O. (2023) Tekhnolohichne obladnannia dlia zamorozhuvannia plodovo-iahidnoi produktsii / Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu: elektronne naukove fakhove vydannia / TDATU; hol. red. d.t.n., prof. V. M. Kiurchev. Melitopol: TDATU, Vyp. 13, tom 1. S. 261-270. https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/372/349

4. Analiz rynku fruktiv, yahid ta produktiv yikhnoi pererobky v Ukraini. Rezhym dostupu: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-fruktov-yagod-i-produktov-ih-pererabotki-v-ukraine-2022-god

5. Horach O.O., Istomina Yu.V. (2024) Suchasni vymohy do vyrobnytstva dytiachoho kharchuvannia / Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky / Khersonskyi derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet. Kherson : Vydavnychyi dim «Helvetyka», Vyp. 1. S. 134-137. http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9475

6. Horach O. (2023) Current state of production and prospects of the use of oily flax seed in the food industry / Intellectual and technological potential of the XXI century: Innovative technology, Computer science, cybernetics and automation, Architecture and construction, Chemistry and pharmaceuticals. Monographic series «European Science». Book 23. Part 1. p. 41-59. https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/issue/view/sge23-01/sge23-01 http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9040

7. Tokarchuk S. V. (ed.) (2021) Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia «Zdorove kharchuvannia ditei v Ukraini – zaporuka maibutnoho natsii: stan i perspektyvy». Kyiv NUKhT. https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0e552397-854b-4ebf-b5c1-dc7cdb1071f8/content/ S.105-106.

УДК 664.681.2
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.22

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ КОНСЕРВІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ «ВАРЕННЯ З КУЛЬБАБИ»

***Дзюндзя О. В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету*
ORCID ID: 0000-0002-1996-7065

***Воєвода Н. В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри харчових технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету*
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

***Ковдрин В. І.** – магістрант ІІ курсу біолого-технологічного факультету Херсонського державного аграрно-економічного університету*
ORCID ID: 0009-0009-3183-7739

Стаття присвячена актуальному питанню розробки нових функціональних харчових продуктів з нетрадиційної рослинної сировини. Застосування кульбаби як рослини з лікувальними властивостями обґрунтоване очікуваним позитивним впливом на організм людини у випадку регулярного її споживання. Аналіз останніх досліджень щодо шляхів використання цієї культури вказав на розробки у хлібобулочній, кондитерській галузях та у виробництві безалкогольних напоїв. У консервуванні існує розробка фруктового желе з квітів кульбаби, а також практика застосування її екстракту у якості антиоксиданту.

У випадку використання рослини як основної сировини можна отримати новий продукт функціонального призначення, зокрема консерви «Варення з кульбаби». Визначено, що на якісні характеристики асортименту можуть вплинути кількісне співвідношення компонентів, їх номенклатура та спосіб підготовки перед переробкою. Як негативний результат досліджень, можливе виникнення неприйнятного зовнішнього вигляду консервів за рахунок темного відтінку або неприйнятної смакоароматичної композиції. За прототип у процесі розробки рецептури прийнято варення з пелюсток чайної троянди, оскільки як основну сировину приймаємо квіти кульбаби задля попередження гіркого смаку харчової продукції.

У процесі розробки консервів «Варення з кульбаби» запропоновано шість варіацій рецептур. Серед них найкращими органолептичними властивостями відзначився четвертий зразок з лимоном та апельсином. Під час експериментального дослідження визначено, що колір готової продукції варіюється від жовтого до карамельного в залежності від тривалості варки та очікуваного результату. Отримане варення за сенсорними властивостями нагадує квітковий рідкий мед. Шматочки цитрусових посилюють позитивне візуальне сприйняття. Перспективами подальших досліджень є визначення технологічних параметрів переробки, які впливають на технічну стерильність та термін зберігання консервів.

***Ключові слова:** консерви, рецептура, варення, квіти кульбаби.*

Dzyundzya O. V., Voievoda N. V., Kovdrin V. I. Development of the recipe composition of cans for the functional purpose “Dandelion jam”

The article is devoted to the topical issue of the development of new functional food products from non-traditional plant raw materials. The use of dandelion as a plant with medicinal properties is justified by the expected positive effect on the human body in case of regular consumption. Analysis of the latest research on the ways of using this culture pointed to developments in the bakery, confectionery industries and in the production of soft drinks. In canning, there is the development of fruit jelly from dandelion flowers, as well as the practice of using its extract as an antioxidant.

In the case of using a plant as the main raw material, you can get a new product with a functional purpose, in particular canned food "Dandelion jam". It was determined that the quantitative ratio of components, their nomenclature and the method of preparation before processing can affect the quality characteristics of the assortment. As a negative result of research, it is possible to have an unacceptable appearance of canned goods due to a dark shade or an unacceptable flavor and aroma composition. As a prototype in the process of developing the recipe, tea rose petal jam was taken, since we use dandelion flowers as the main raw material to prevent the bitter taste of food products.

In the process of developing "Dandelion Jam" preserves, six recipe variations were proposed. Among them, the fourth sample with lemon and orange had the best organoleptic properties. During the experimental study, it was determined that the color of the finished product varies from yellow to caramel, depending on the duration of cooking and the expected result. The sensory properties of the resulting jam resemble floral liquid honey. Pieces of citrus enhance positive visual perception. Prospects for further research are the determination of technological processing parameters that affect the technical sterility and shelf life of canned goods.

Key words: *preserves, recipe, jam, dandelion flowers.*

Вступ. Розробка нових функціональних продуктів є тривалим процесом де ідеї науковців поєднуються з новаторськими технологічними рішеннями. У цьому випадку використання квітів кульбаби як основної сировини може дозволити отримати принципово новий асортимент, де поєднані користь лікувальних компонентів та позитивні органолептичні враження.

Постановка проблеми. На якісні характеристики готової продукції впливає низка факторів, головними з яких є кількісне співвідношення компонентів, їх номенклатура та спосіб підготовки перед переробкою. У випадку розробки нового асортименту «Варення з кульбаби» від цих чинників залежить ще й зовнішній вигляд консервів, адже може виникнути у результаті тьмяний колір або неприйнятна смакоароматична композиція. Тому лабораторні випробування з розробки рецептури є важливим та необхідним етапом експериментальних досліджень.

Мета дослідження. Метою статті є визначення оптимальної рецептурної композиції варення з квітів кульбаби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню можливості включення кульбаби у рецептури харчової продукції найбільше присвячені роботи з розробки безалкогольних напоїв, а також хлібобулочних та кондитерських виробів. У цих випадках рекомендують застосовувати сухий порошок та екстракт цієї рослини [1-3].

Проте у консервуванні вона застосовується доволі рідко. За результатами проведених теоретичних досліджень визначено, що Олексів В.Р. розробив пектинове желе з лікарських рослин. До його складу увійшли квіти кульбаби, листя м'яти перцевої, квіти бузини чорної, ягоди бузини чорної [4].

Також відома розробка Дубініної А.А., яка запропонувала в консервуванні застосовувати задля запобігання окисленню пігментних речовин рослинної сировини та збереження натурального кольору плодів і овочів екстракти деяких рослин. Зокрема вказано про можливості кульбаби та способи її використання під час переробки зеленого горошку [5].

Випадків промислового виробництва консервів з квітів кульбаби в Україні нами не виявлено. Тому вважаємо, що ця культура може стати споживчою новинкою на вітчизняному ринку.

Виклад основного матеріалу дослідження. У випадку розробки нового асортименту необхідно опиратись на прототип, який допоможе створити продукцію відповідної якості згідно ДСТУ 4899:2007 «Варення. Загальні технічні умови» [6]. Ним може стати варення з пелюсток чайної троянди, які за своєю структурою

подібні до кульбаби. Тим не менш результати пробних варок можуть бути неочікуваними, оскільки кількість компонентів та їх номенклатура є об'єктами цього дослідження. Негативними наслідками включення тих чи інших компонентів є гіркота, інтенсивний пряний післясмак або запах. Про технологічні помилки можуть свідчити темний коричневий колір або розварена сировина. Для експерименту використані наступні комбінації:

1. цукор, квіти кульбаби (концентрація сиропу 40%);
2. цукор, квіти кульбаби, шматочки апельсину (конц. сиропу 67%);
3. цукор, квіти кульбаби, цедра апельсину (конц. сиропу 40%);
4. цукор, квіти кульбаби, шматочки лимону та апельсину (конц. сиропу 67%);
5. цукор, квіти кульбаби, листя м'яти, шматочки лимону (конц. сиропу 67%);
6. цукор, квіти кульбаби, гвоздика, меліса, чабрець, шматочки лимону (конц. сиропу 67%).

Цукровий сироп приймали в залежності від компонентів та встановлених норм для окремих видів продукції. Використання інших лікувальних рослин не включали, оскільки досліджувана культура має потужний вплив на шлунково-кишковий тракт, має зміцнюючу та гепатопротекторну дію. Косоголова Л.О. та Яблонська К.М. визначили, що навіть при здійсненні фізичних методів обробки квіти кульбаби зберігають корисні властивості, а у випадку низькотемпературного впливу ще й накопичують біофлавоноїди. А отже, у рамках харчового виробництва можна застосовувати температуру варки 60-65ºС при підвищеному тиску [7]

Проте додавання цитрусових навпаки посилить ефект на організм людини при регулярному споживанні за рахунок природнього вмісту макро- та мікронутрієнтів. Тому за результатами теоретичного дослідження ці варіанти є найліпшими.

Під час підготовки зразків використовували одноразове варіння у цукровому сиропі протягом 30-45 хв. Таку делікатну теплову обробку використали через ніжну структуру квітів кульбаби та з метою попередження надмірного потемніння варення. Колір продукції може варіюватись від жовтого до карамельного відтінків. Стерилізація здійснювалась у склотарі СКО-82-500 протягом 15 хв при температурі 120ºС. Проте параметри стерилізації є умовними, оскільки залежать від об'єму тари, тому це питання потребує додаткового вивчення.

За результатами оцінювання отриманих зразків найкращим виявився варіант 4 з рецептурою, що наведена у таблиці 1 та на рисунку 1.

Таблиця 1

Рецептура консервів «Варення з кульбаби»

Найменування компоненту	Норма витрат на 1 кг готової продукції, г	Відсоткове співвідношення, %
Квіти кульбаби	220,00	12,43
Цукор-пісок	833,33	47,08
Апельсин	183,33	10,36
Лимон	116,67	6,59
Вода	416,67	23,54

У результаті варки протягом 45 хв отримали продукцію карамельного кольору, що нагадує рідкий квітковий мед з ароматом та присмаком цитрусових. Шматочки апельсинів та лимонів посилюють позитивне візуальне сприйняття.



Рис. 1. Зразок запропонованих консервів «Варення з кульбаби» (рецептура № 4)

Наведена рецептура призначена до використання на базі крафтових підприємств, оскільки необхідне промислове постачання сировиною може ускладнюватись сезонністю вироблення.

Висновки і пропозиції. У процесі оцінювання отриманих зразків консервів «Варення з кульбаби» визначено, що найкращим став екземпляр з часточками апельсину та лимону № 4. Тому експериментально визначено оптимальний рецептурний склад та співвідношення компонентів запропонованого асортименту. Перспективами подальших досліджень є виробничі випробування та оптимізація технологічних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Грушецький Р., Гріненко І., Хомічак Л. Перспективна рослинна сировина для нових ферментованих напоїв. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2023. № *6*(1). С. 50-66.

2. Олійник Н. В., Бульдович Т. Г. Доцільність уведення порошку із кореня кульбаби у вироби з кексового тіста. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 45-річчю від дня заснування факультету ХТГРТБ, м. Полтава, 20–21 листопада 2019 р. Полтава. С. 22-24.

3. Наконечна Ю. Г., Циганко Р. А. Розроблення технології морозива на натуральних стабілізаторах *Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 45-річчю від дня заснування факультету ХТГРТБ, м. Полтава, 20–21 листопада 2019 р. Полтава. С. 18-20.

4. Олексів В.Р. Розробка нового виду фруктових консервів з використанням лікарських рослин. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/ bitstream/lib/ 23515/1/Oleksiv_ Development%20of%20a%20new%20kind%20.pdf

5. Дубініна А.А., Щербакова Т.В., Хацкевич Ю.М., Ленерт С.О., Борисова А.А. Способи стабілізації кольору рослинної сировини під час її переробки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. № 4. С. 140-158.

6. ДСТУ 4899:2007 Варення. Загальні технічні умови. Київ: Державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Консервпромкомплекс», 2007. 21 с.

7. Косоголова Л.О., Яблонська К.М., Лошицький П.П., Чабанюк Л.Л. Вплив фізичних методів обробки на вміст біологічно активних речовин в квітках кульбаби лікарської. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2020. № 1. С. 48-56.

REFERENCES:

1. Hrushetskyi R., Grinenko I., & Khomichak L. (2023). Promising plant material for new fermented drinks. Restaurant and hotel consulting. Innovations. 6(1). P. 50-66. [in Ukrainian]

2. Oliynyk N.V. & Buldovych T.G. (2019) Expediency of adding dandelion root powder to cake dough products. Actual problems and prospects for the development of food production, hotel-restaurant and tourism business: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 45th anniversary of the founding of the Faculty of Science and Technology, Poltava, November 20-21. P. 22-24. [in Ukrainian]

3. Nakonechna Y.G. & Tsyganko R.A. (2019) Development of ice cream technology using natural stabilizers Current problems and prospects for the development of food production, hotel and restaurant and tourism business: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 45th anniversary of the founding of the Faculty of HTGRTB, Poltava, November 20–21. P. 18-20. [in Ukrainian]

4. Oleksiv V.R. (2021). Development of a new type of fruit preserves using medicinal plants. Retrieved from: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/23515/1/Oleksiv_Development%20of%20a%20new%20kind%20.pdf [in Ukrainian]

5. Dubinina A.A., Shcherbakova T.V., Khatskevich Y.M., Lenert S.O., & Borisova A.A. (2020). Methods of stabilizing the color of vegetable raw materials during its processing. Scientific works of the National University of Food Technologies. №. 4. P. 140-158. [in Ukrainian]

6. DSTU 4899:2007 (2007) Jam. General technical conditions. Kyiv: State Research and Design Institute “Konservpromkompleks”. 21 p. [in Ukrainian]

7. Kosogolova L.O., Yablonska K.M., Loshytskyi P.P. & Chabanyuk L.L. (2020) The effect of physical processing methods on the content of biologically active substances in dandelion flowers. Problems of ecological biotechnology. № 1. P. 48-56. [in Ukrainian]

УДК 637.3
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.23

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПРЕСІЙНО-ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАЗЕЇНУ-СИРЦЮ

Кравець О. І. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри обладнання харчових технологій
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя
ORCID ID: 0000-0002-3309-9962
Scopus-Author ID: 57211205224

Шинкарик М. М. *– кандидат технічних наук, доцент,*
професор кафедри обладнання харчових технологій
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя
ORCID ID: 0000-0003-3489-9803

Кравець В. І. *– аспірант спеціальності «Галузеве машинобудування»*
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя
ORCID ID: 0000-0003-4770-0269

Стадницький М. А. *– аспірант спеціальності «Галузеве машинобудування»*
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя
ORCID ID: 0009-0005-1548-4735

Складність зниження енергоємності сушіння та його інтенсифікації обумовлюється тим, що незважаючи на значне поширення даний процес є найменш дослідженим, у зв'язку із труднощами з якими зіштовхуються вчені при створенні математичної моделі одночасного перенесення теплових потоків, сухих речовин та вологи.

Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу сушіння є збільшення площі поверхні контакту фаз (матеріалу та сушильного агенту) для теплопередачі та масообміну.

Досягти збільшення поверхні контакту можна використовуючи компресійно-фільтраційне метод сушіння замість звичайних конвективних способів.

Однак компресійно-фільтраційне сушіння доцільно застосовувати лише по відношенню до матеріалів, що поєднують пористу структуру та пружні властивості. При цьому для визначення параметрів процесу сушіння важливими є компресійно-фільтраційні властивості матеріалу. До таких матеріалів зокрема відноситься казеїн.

Метою досліджень було визначення компресійно-фільтраційних властивостей казеїну для оцінки можливості практичного застосування компресійно-фільтраційного сушіння по відношенні до казеїну.

Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну-сирцю свідчать, що останній володіє пружно-пластичними властивостями, які перебувають в однозначній залежність від значення тиску, що діє на шар казеїну.

Після припинення дії тиску на шар казеїну його висота відновлюється на 88% у порівнянні із висотою шару до деформації. Тому можна стверджувати про можливість застосування компресійно-фільтраційного сушіння по відношенню до казеїну-сирцю.

Результати дослідження пористості казеїну дозволили встановити, що об'єм сушильного агенту, який буде поглинатися шаром казеїну в процесі сушіння становитиме 66% від його об'єму. Це дозволить значно збільшити площу поверхні контакту фаз у порівнянні із іншими видами сушіння.

Ключові слова: *казеїн-сирець; сушіння, деформація, вологість.*

Kravers O. I., Shynkaryk M. M., Kravers V. I., Stadnytskyi M. A. Research of compression and filtration properties of raw casein

The difficulty of reducing the energy intensity of drying and its intensification is due to the fact that, despite its widespread use, this process is the least researched, due to the difficulties faced by scientists when creating a mathematical model of the simultaneous transfer of heat flows, dry substances and moisture.

A promising direction for increasing the efficiency of the drying process is to increase the surface area of phase contact (material and drying agent) for heat transfer and mass exchange.

It is possible to achieve an increase in the contact surface using the compression-filtration method of drying instead of the usual convective methods.

However, compression-filtration drying should be used only in relation to materials that combine a porous structure and elastic properties. At the same time, the compression and filtration properties of the material are important for determining the parameters of the drying process. Such materials include casein in particular.

The purpose of the research was to assess the possibility of practical application of compression-filtration drying of casein.

The results of studies of the compression-filtration properties of raw casein show that the latter has elastic-plastic properties that are uniquely dependent on the value of the pressure acting on the casein layer.

After the cessation of pressure on the casein layer, its height is restored by 88% compared to the height of the layer before deformation. Therefore, it is possible to claim the possibility of using compression-filtration drying in relation to raw casein.

The results of the study of casein porosity made it possible to establish that the volume of the drying agent that will be absorbed by the casein layer during the drying process will be 66% of its volume. This will allow to significantly increase the area of the contact surface of the phases in comparison with other types of drying.

Key words: *raw casein; drying, deformation, moisture.*

Вступ. Сушіння у харчовій промисловості займає особливе місце – воно є одним із найбільш широко застосовуваних та складних технологічних процесів у галузі та, у той же час, одним із найбільш енергоємних.

Складність зниження енергоємності сушіння та його інтенсифікації обумовлюється тим, що незважаючи на значне поширення даний процес є найменш дослідженим, у зв'язку із труднощами із якими зіштовхуються вчені при створенні математичної моделі одночасного перенесення теплових потоків, сухих речовин та вологи [1].

Тому на даний час перед харчовою галуззю гостро стоїть завдання пошуку нових технологічних прийомів, що дозволять знизити питому енергоємність процесів сушіння.

Актуальність роботи. Враховуючи велику різноманітність способів сушіння, апаратів, а також матеріалів, які піддаються сушінню та відповідно їх властивостей, вести мову про підвищення ефективності процесу сушіння загалом немає сенсу.

Зокрема актуальними є роботи, які спрямовані на створення комбінованих способів сушіння на основі результатів досліджень закономірностей процесу та із врахуванням властивостей об'єкту сушіння.

Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу сушіння є збільшення площі поверхні контакту фаз (матеріалу та сушильного агенту) для теплопередачі та масообміну [1-4].

Так у [5, с. 56-58] авторами даної статті пропонується новий метод сушіння, який ґрунтується на тому, що деякі харчові маси мають пористу структуру та володіють пружно-пластичними властивостями. Однак дане сушіння виправдано застосовувати лише по відношенню до матеріалів, що поєднують пористу структуру та пружні властивості. При цьому для визначення параметрів процесу сушіння важливими є компресійно-фільтраційні властивості матеріалу. Тому

для оцінки потенційної можливості застосування компресійно-фільтраційного сушіння по відношенню до казеїну-сирцю доцільно встановити відповідні властивості даного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Компресійні та фільтраційні властивості харчової сировини досліджено досить детально, зокрема такими науковцями, як Воробйов Е.І., Шинкарик М.М. та Єресько Г.О. Так в роботі [6, с. 112-113] наведено результати дослідження компресійно-фільтраційних властивостей сирів з підплавлення сирної маси. У роботі [7, с. 114-117] на основі досліджених залежностей компресійно–фільтраційних властивостей представлено математичну модель відтиску стисливих матеріалів із врахуванням швидкості руху твердої фази. А в роботі [8, с. 476-484] авторотами даної статі приведено результати досліджень відповідних властивостей білкової дисперсної фази сироватки отриманої при виробництві різних продуктів, у тому числі, отриманої при виробництві технічного казеїну.

Однак компресійно-фільтраційні властивості казеїну-сирцю, на даний час залишаються не дослідженими.

У дослідженнях компресійно-фільтраційних властивостей матеріалів у харчовій галузі використовують основні положення теорії фільтраційної консолідації, що була розроблена для механіки ґрунтів [6, с. 111]. Можливість застосування цієї теорії при визначенні компресійно-фільтраційних характеристик харчових матеріалів була доведена багатьма дослідниками [6-8].

Метою досліджень було визначення компресійно-фільтраційних властивостей казеїну для оцінки можливості практичного застосування компресійно-фільтраційного сушіння по відношенні до казеїну.

Методика досліджень. З метою дослідження компресійних та фільтраційних властивостей казеїну використовували експериментальну установку, що зображена на рисунку 1. Вона складалася з циліндра 1 із перфорованим поршнем 2 та кришкою 3, яка також слугувала направляючою для штока 4. Поверхня поршня 2 та перфороване дно 5 покриті шаром фільтрувальної тканини 6. Необхідне зусилля створювали за допомогою вантажу 7, що поміщали на пластину 8. Величину переміщення поршня фіксували індикатором 9 (точність 0,01 мм). Кількість профільтрованої рідини фіксували мірною посудиною 10 (точність 0,5 мл).

Рідина надходила з бачка 11. Трубки 12 та 13 виконували функцію гідрозатвору (патрубок 14 розміщений на рівні дна 5). Вентиль 15 служить для створення необхідного напору.

Після тарування установки між перфорованими дном та поршнем поміщали шар казеїну при температурі 20°С. Встановлювали відповідний вантаж на пластину 8 та підводили поршень до продукту. Значення деформації шару казеїну фіксували протягом 600с. Дослідження проводили у одинадцять етапів, із кожним етапом збільшуючи тиск, що діє на казеїн на 0,5 кПа (від 0 до 5,0 кПа). З бака 11 пропускали воду через затиснений між поршнем та днищем шар казеїну, та фіксували об’єм рідини, що профільтровується через шар продукту за фіксований час, для кожного значення тиску.

Після припинення деформації казеїну на останньому етапі, проводили поступове розвантаження перфорованого поршня та визначали висоту відновлення шару казеїну.

Для оцінки компресійних та фільтраційних характеристик казеїну використовували ряд параметрів, серед яких: відносна деформація шару, пористість, коефіцієнт пористості, модуль стисливості, коефіцієнт фільтрування та питомий опір

фільтруванню. Дослідили залежності даних параметрів від величини тиску, що діє на шар казеїну.

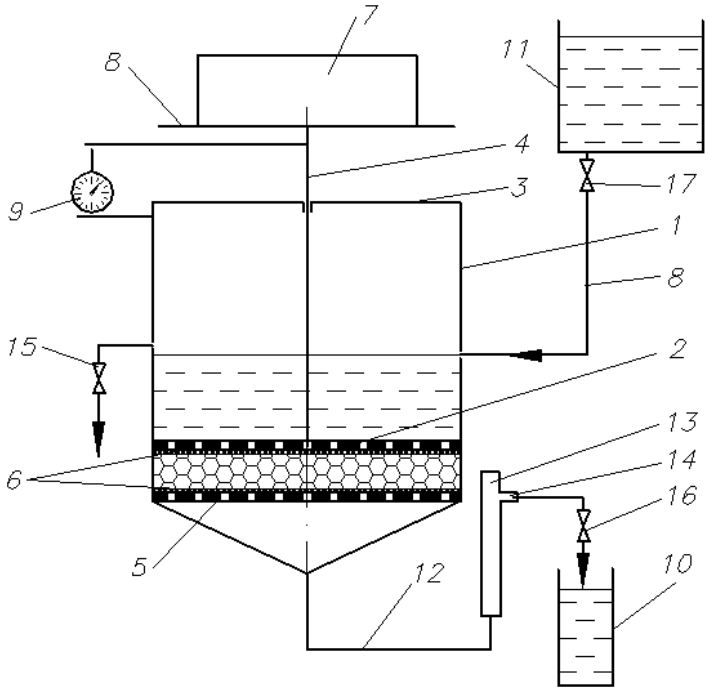


Рис. 1. Схема дослідної установки

Відносну деформацію h′ визначали як відношення висоти ущільненого шару h до початкового значення висоти шару казеїну h_0.

Під пористістю ε розуміли відношення об'єму пор в матеріалі до загального об'єму останнього.

Коефіцієнт пористості $e_п$ визначали відношенням об'єму пор $v_п$ до об'єму скелету $v_{ск}$:

$$e_п = \frac{v_п}{v_{ск}} \quad (1)$$

У дослідженнях пористість шару казеїну після прикладання останнього ступеня навантаження ототожнюють із його вологістю, яку визначали після завершення експерименту. Постійним на протязі усього експерименту залишається об'єм скелету казеїну $v_{ск}$, що визначали за формулою:

$$v_{ск} = \left(1 - W_п\right)\frac{v_п \cdot \rho_{зг}}{\rho_{ск}} \quad (2)$$

де W – масова вологість казеїну після останнього етапу навантаження, %;

$v_п$ – об'єм казеїну після останнього етапу навантаження, м^3.

Густина скелету $\rho_{ск}$ казеїну та густина його згустку $\rho_{зг}$, після останнього етапу навантаження відповідно:

$$\rho_{ск} = \rho_т (1 – W); \quad (3)$$

$$\rho_{зг} = \rho_р W + \rho_{ск}; \quad (4)$$

де $\rho_т$ – густина твердих частинок, кг/м^3;

$\rho_р$ – густина рідини, кг/м^3.

Коефіцієнт пористості казеїну на і-му етапі навантаження:

$$e_i = \frac{v_i - v_{ск}}{v_{ск}} \quad (5)$$

де v_i – об'єм згустку на і-му ступеня навантаження, м^3.

Коефіцієнт стисливості а використовували для оцінки здатності казеїну до деформування. Його визначали із виразу:

$$a = \frac{\Delta e}{\Delta p} \quad (6)$$

де Δе – зміна коефіцієнту пористості, що відповідає певній зміні значення тиску Δр.

Також з метою оцінки деформаційної здатності казеїну використовували модуль стисливості G:

$$G = \frac{1+e}{a}, \quad (7)$$

Для оцінки фільтраційних властивостей казеїну використовували питомий опір фільтруванню r:

$$r = \frac{\Delta p \cdot \tau}{\mu \cdot v_п h} - \frac{R}{h} \quad (8)$$

де Δр – напір, Па;

$v_п$ – питомий об'єм води, що профільтровується крізь шар казеїну, м^3/м^2;

μ – динамічна в'язкість води, Па·с;

τ – тривалість фільтрування, с;

$R_ф$ – сумарний опір фільтруванню перфорованих поверхонь та фільтрувального паперу, $R_ф = 2{,}3 \cdot 10^7$ 1/м;

h – висота шару казеїну, м.

Для комплексної оцінкки компресійних та фільтраційних характеристик використовували коефіцієнт консолідації b:

$$b = \frac{G}{\mu \cdot r_0}, \quad (9)$$

Виклад основного матеріалу. Для реалізації компресійно-фільтраційного сушіння важливим параметром матеріалу є його пружність, тобто здатність шару матеріалу відновлювати висоту шару після його деформації.

Результати дослідів свідчать, що при дії зовнішнього тиску на шар казеїну останній деформується, але при поступовому зменшенні значення цього тиску має місце часткове відновлення висоти шару. При розвантаженні шару казеїну відбувається часткове відновлення його висоти, яке досягає 88% від початкового значення висоти (рис. 2). Таким чином залишкова деформація складає 22%.

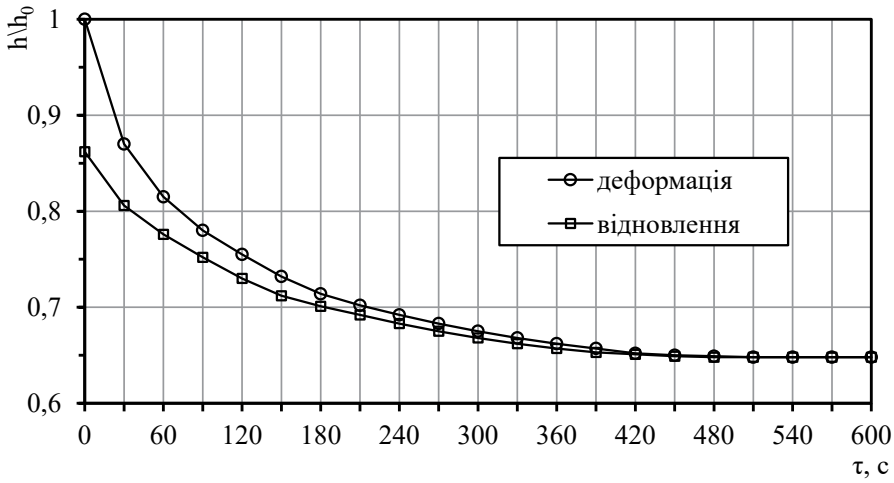


Рис. 2. Деформація та відновлення шару казеїну (тиск 3 кПа)

Здатність казеїну відновлювати висоту шару (на 88%) після припинення дії тиску свідчить про його пружні властивості та про можливість застосування компресійно-фільтраційного сушіння.

Отримані криві деформації казеїну при різних значеннях тиску йдуть майже паралельно одна до одної (рис. 3).

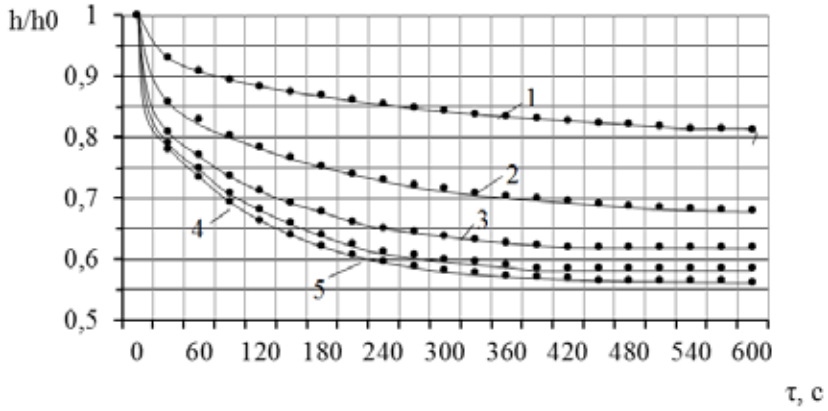


Рис. 3. Зміна відносної деформації шару казеїну у часі при різному тиску: 1) 1,0 кПа; 2) 2,0кПа; 3) 3,0 кПа; 4) 4,0кПа; 5) 5,0кПа

Це говорить про однозначну залежність компресійних характеристик казеїну від значення тиску. Так зниження пористості казеїну при зростанні тиску має майже лінійний характер (рис. 4)

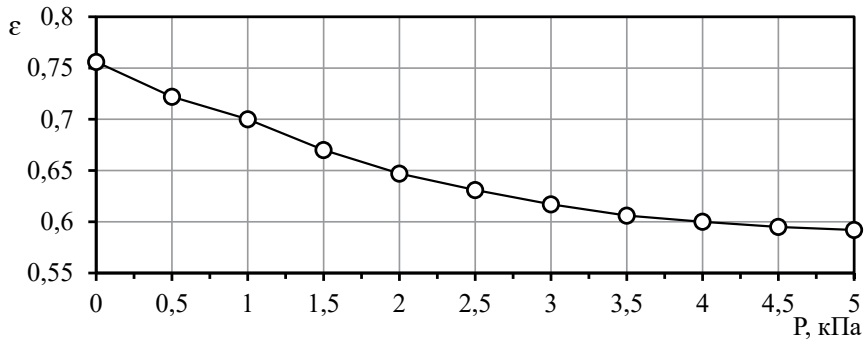


Рис. 4. Залежність пористості казеїну від тиску

Залежність коефіцієнта пористості від тиску (рис. 5) описується наступним рівнянням:

$$e = e_0 - 1{,}052\left(\frac{p}{p^*}\right)^{0{,}38} \qquad (10)$$

де e_0 – коефіцієнт пористості казеїну при тиску P = 0, e_0 = 3,1 кПа;

p – зовнішній тиск, кПа;

p* = 1 кПа – дослідна константа.

Як видно з графіка, при відсутності навантаження пористість казеїну складає 0,75. Враховуючи залишкову деформацію казеїну, яка становить 22%, пористість шару після припинення дії навантаження становитиме 0,66. Таким чином, можна припустити, що при застосуванні компресійно-фільтраційного сушіння, об'єм сушильного агенту, який може бути поглинений шаром казеїну при його релаксації становить 66% від початкового об'єму казеїну.

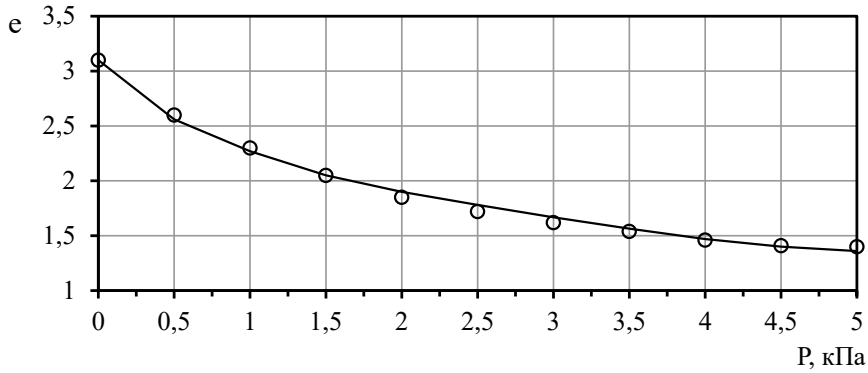


Рис. 5. Залежність коефіцієнта пористості білкової казеїну від величини тиску

Графічну залежність модуля стисливості казеїну від тиску можна умовно розбити на три ділянки (рис. 6):

I етап – 0,5<P<2,0 кПа – незначне зростання модуля стисливості;

II етап – 2,0<P<4,0 кПа – інтенсивне зростання модуля стисливості, яке пояснюється пружною деформаціє шару (тіло Гука);

III етап – P > 4,0 кПа – пластична деформація, яка супроводжується руйнуванням агрегатів та білкових комплексів.

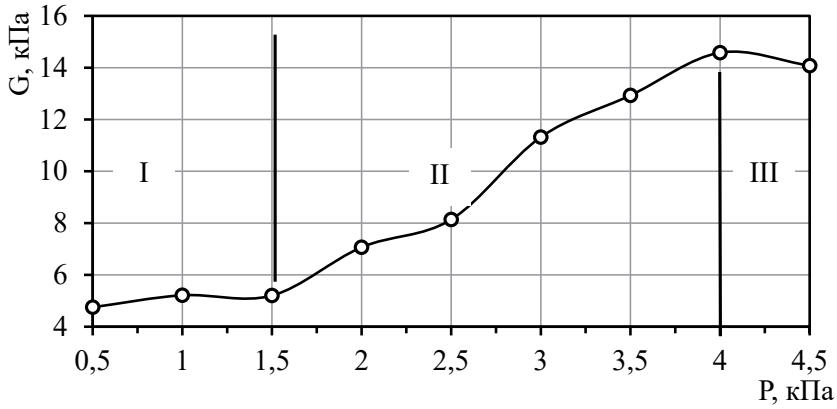


Рис. 6. Залежність модуля стисливості казеїну від тиску

Залежність питомого опору фільтруванню казеїну від тиску (рис. 7). при значеннях останнього від 0 до 4,5 кПа має лінійний вигляд та характеризується відносно невеликим зростанням. При тиску понад 4,5 кПа відбувається інтенсивне зростання питомого опору фільтруванню.

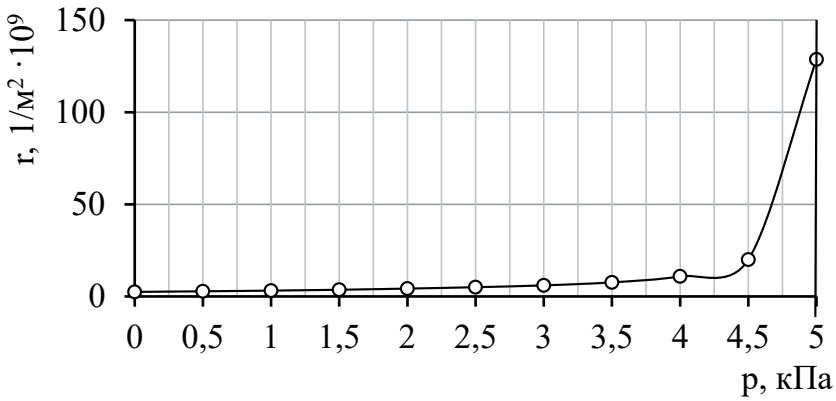


Рис. 7. Залежність питомого опору фільтруванню казеїну від тиску

Аналіз графічної залежності коефіцієнту консолідації від тиску (рис. 8) дозволяє зробити наступні висновки:

– при низькому тиску (до 2,5 кПа) коефіцієнт консолідації змінюється виключно в результаті деякої переорієнтації часток казеїну;

– при тиску 2,5-4,0 кПа розпочинається пружне ущільнення скелета шару, як наслідок, коефіцієнт консолідації казеїну досягає максимальних значень;

– при тиску понад 4,0 кПа розпочинається пластична деформація часток казеїну, що супроводжується стрімким зниженням коефіцієнту консолідації.

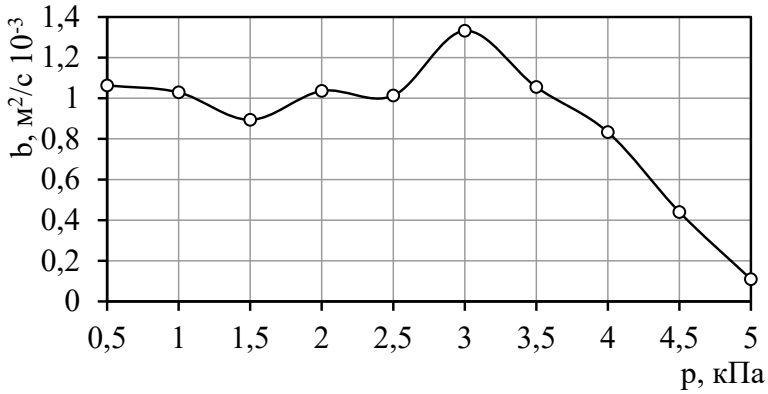


Рис. 8. Залежність коефіцієнта консолідації казеїну від тиску

Висновки. Результати досліджень компресійно-фільтраційних властивостей казеїну-сирцю свідчать, що останній володіє пружно-пластичними властивостями, які перебувають в однозначній залежність від значення тиску, що діє на шар казеїну.

Після припинення дії тиску на шар казеїну його висота відновлюється на 88% у порівнянні із висотою шару до деформації. Тому можна стверджувати про можливість застосування компресійно-фільтраційного сушіння по відношенню до казеїну-сирцю.

Результати дослідження пористості казеїну дозволили встановити, що об'єм сушильного агенту, який буде поглинатися шаром казеїну в процесі сушіння становитиме 66% від його об'єму. Це дозволить значно збільшити площу поверхні контакту фаз у порівнянні із іншими видами сушіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Hasan MU, Malik AU, Ali S, et al. Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *J Food Process Preserv*. 2019, no. 2 (43).

2. Yu. Sniezhkin, Zh. Petrova. Energy Consumption and Environmental Aspects of Drying Processes. *Scientific and Technical Innovation Projects of the National Academy of Sciences*. 2023, no. 19 (2), pp. 44-55.

3. Damir Dakovic, Miroslav Kljajic, Nikola Milivojevic, Dordije Doder, Aleksandar S. Andelkovic. Review of Energy-Related Machine Learning Applications in Drying Processes. *Energies*. 2024 no., 1.

4. Tsotsas, E.; Mujumdar, A.S. (Eds.) Modern Drying. Technology; *Energy Savings; WILEY-VCH*: Vol. 4. Weinheim, Germany, 2012.

5. Кравець О.І., Шинкарик М.М. Компресійно-фільтраційне сушіння пружно-пластичних харчових мас. *Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток технічних наук: проблеми та рішення»*, м. Брно (Чеська Республіка), 2018. С. 56-59.

6. Шинкарик М.М, Єресько Г.О., Формазюк Л.В., Ворощук В.Я. Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик сирів з підплавлення сирної маси. *Наукові праці українського державного університету харчових технологій*. 2003. № 10 С. 111-114.

7. Михайлишин М.С., Шинкарик М.М., Радіо Л.В. Математичне моделювання процесів відтиску стисливих осадів. *Вісник ТДТУ*. 2001. № 2.(6) С. 112-118.

8. Шинкарик М.М., Кравець О.І. Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик білкової дисперсної фази. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2012. № 1(15). С. 476-484.

REFERENCES:

1. Hasan, M.U., Malik, A.U., Ali, S., Imtiaz, A., Munir, A., Amjad, W., & Anwar, R. (2019)Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *Jornal of Food Process Preserv,* 2 (43) [in USA].

2. Sniezhkin, Yu. F., Petrova, Zh. O. (2023). Energy-Consumption and Environmental Aspects of Drying Processes. *Science and Innovation*, 19 (2), 44-55. [in Ukrainian].

3. Damir Dakovic, Miroslav Kljajic, Nikola Milivojevic, Dordije Doder, Aleksandar S. Andelkovic. (2024) Review of Energy-Related Machine Learning Applications in Drying Processes. *Energies,* 1. [in Switzerland].

4. Tsotsas, E.; Mujumdar, A.S. (Eds.) (2012). Modern Drying. Technology; *Energy Savings;* 4. [in Germany].

5. Kravets O.I., & Shynkaryk M.M. (2018). Kompresiino-filtratsiine sushinnia pruzhno-plastychnykh kharchovykh mas. *Zbirnyk tez Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Rozvytok tekhnichnykh nauk: problemy ta rishennia»,* 56-59. [in Cheska Respublika].

6. Shynkaryk M.M, Yeresko H.O., Formaziuk L.V., & Voroshchuk V.Ia. (2003). Doslidzhennia kompresiino-filtratsiinykh kharakterystyk syriv z pidplavlennia syrnoi masy. *Naukovi pratsi ukrainskoho derzhavnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 10, 111-114. [in Ukrainian].

7. Mykhailyshyn M.S., Shynkaryk M.M., & Radio L.V. (2001). Matematychne modeliuvannia protsesiv vidtysku styslyvykh osadiv. *Visnyk TDTU*, 2 (6), 112-118. [in Ukrainian].

8. Shynkaryk M.M., & Kravets O.I. (2012). Doslidzhennia kompresiino-filtratsiinykh kharakterystyk bilkovoi dyspersnoi fazy. *Prohresyvna tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli*, 1 (15), 476-484. [in Ukrainian].

УДК 640.43:637:641.53:658.562
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.24

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ОБЛАДНАННЯ ТА СПОСОБІВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ У РЕСТОРАННОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Крамаренко Д. П. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри готельного, ресторанного бізнесу і крафтових технологій
Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця
ORCID ID: 0000-0003-1353-686X

Гіренко Н. І. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри професійної освіти,*
ресторанного і туристичного бізнесу Державного закладу
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
ORCID ID: 0000-0001-6854-8257

Новікова Н. В. *– кандидат сільськогосподарських наук,*
завідувач кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-5393-688X

У статті представлено результати дослідження впливу типу обладнання та способів теплової обробки на технологічні показники якості продуктів тваринного походження у ресторанному господарстві. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оптимізації процесів приготування та підвищення якості готових страв в умовах сучасного ресторанного бізнесу.

Об'єктами дослідження були обрані різні види сировини тваринного походження: свинина, куряче філе, яйця курячі, хек та форель. Досліджувану сировину піддавали кулінарній обробці за традиційною технологією у наплитному посуді, а також із використанням пароконвектомату RATIONAL SCC 61.

У ході дослідження було проведено порівняльний аналіз режимів теплової обробки, масової частки сухих речовин та жиру до і після теплової обробки, а також органолептичних показників готових страв.

Результати дослідження показали, що використання пароконвектомату має ряд суттєвих переваг порівняно з традиційними методами теплової обробки. Зокрема, було виявлено значні відмінності у вмісті сухих речовин та жиру в готових продуктах залежно від способу приготування. Наприклад, при варінні свинини цілим шматком на плиті масова частка сухих речовин становила 31,0±0,1%, тоді як у пароконвектоматі – 26,8±0,1%. Подібна тенденція спостерігалася і для інших продуктів.

Аналіз вмісту жиру показав схожі результати. Наприклад, при варінні курячого філе на плиті масова частка жиру складала 4,1±0,2%, а в пароконвектоматі – 3,7±0,1%. Ці дані свідчать про краще збереження вологи та менше концентрування сухих речовин і жиру при обробці в пароконвектоматі.

Органолептична оцінка продуктів, приготованих різними способами, продемонструвала значні переваги використання пароконвектомату. Страви, приготовлені в пароконвектоматі, отримали вищі бали за консистенцією, смаком, ароматом та кольором порівняно з продуктами, приготованими традиційним способом. Наприклад, при варінні курячого філе в пароконвектоматі консистенція була оцінена на 5 балів, тоді як при варінні на плиті – на 3 бали.

Дослідження також виявило, що використання пароконвектомату дозволяє досягти вищих температур у центрі продукту за короткий час обробки. Наприклад, при варінні свинини цілим шматком у пароконвектоматі досягалася температура 92,5±1,1°С за 40±1 хвилину, тоді як на плиті – 86,1±2,0°С за 65±2 хвилини.

На основі проведеного дослідження зроблено висновок про значні переваги використання пароконвектоматів у закладах ресторанного господарства. Ці переваги включають не лише підвищення якості готових страв, але й оптимізацію виробничих процесів та енерговитрат.

У перспективі подальших досліджень автори пропонують розширити асортимент досліджуваних продуктів, вивчити вплив різних режимів роботи пароконвектомату на якість готових страв, дослідити вплив теплової обробки в пароконвектоматі на харчову цінність продуктів. Також актуальним є розробка нових технологічних карт та рецептур страв, оптимізованих для приготування в пароконвектоматі, та проведення економічного аналізу ефективності використання пароконвектоматів у закладах ресторанного господарства різного типу та масштабу.

Результати дослідження мають практичне значення для підвищення ефективності роботи закладів ресторанного господарства, покращення якості продукції та оптимізації технологічних процесів у галузі.

Ключові слова: *пароконвектомат, теплова обробка, продукти тваринного походження, сухі речовини, жир, органолептичні показники, ресторанне господарство, технологічні процеси, якість продукції.*

Kramarenko D. P., Hirenko N. I., Novikova N. V. Investigation of the influence of equipment type and thermal processing methods on technological quality indicators of animal products in the restaurant industry

This article presents the results of a study on the influence of equipment type and thermal processing methods on the technological quality indicators of animal products in the restaurant industry. The relevance of the research is driven by the need to optimise cooking processes and improve the quality of finished dishes in modern restaurant business conditions.

The research objects were various types of animal-derived raw materials: pork, chicken fillet, chicken eggs, hake and trout. The examined raw materials underwent culinary processing using traditional technology on stovetop cookware, as well as using a RATIONAL SCC 61 combi steamer.

The study conducted a comparative analysis of thermal processing regimes, the mass fraction of dry matter and fat before and after thermal processing, as well as organoleptic indicators of finished dishes.

The results of the study showed that the use of a combi steamer has a number of significant advantages compared to traditional methods of thermal processing. In particular, significant differences were found in the content of dry matter and fat in finished products depending on the cooking method. For example, when boiling pork as a whole piece on the stovetop, the mass fraction of dry matter was 31.0±0.1%, whilst in the combi steamer it was 26.8±0.1%. A similar trend was observed for other products.

Fat content analysis showed similar results. For instance, when boiling chicken fillet on the stovetop, the mass fraction of fat was 4.1±0.2%, and in the combi steamer – 3.7±0.1%. These data indicate better moisture retention and less concentration of dry matter and fat when processed in a combi steamer.

Organoleptic evaluation of products cooked by different methods demonstrated significant advantages of using a combi steamer. Dishes prepared in the combi steamer received higher scores for consistency, taste, aroma and colour compared to products cooked by traditional methods. For example, when boiling chicken fillet in a combi steamer, the consistency was rated 5 points, whilst when boiled on the stovetop – 3 points.

The study also revealed that using a combi steamer allows achieving higher temperatures in the centre of the product in a shorter processing time. For example, when boiling pork as a whole piece in a combi steamer, a temperature of 92.5±1.1°C was achieved in 40±1 minutes, whilst on the stovetop – 86.1±2.0°C in 65±2 minutes.

Based on the conducted research, a conclusion was made about the significant advantages of using combi steamers in restaurant establishments. These advantages include not only improving the quality of finished dishes but also optimising production processes and energy consumption.

For future research, the authors propose to expand the range of studied products, examine the impact of different combi steamer operating modes on the quality of finished dishes, and investigate the effect of thermal processing in a combi steamer on the nutritional value of products. It is also relevant to develop new technological cards and recipes optimised for cooking in a combi steamer, and to conduct an economic analysis of the efficiency of using combi steamers in restaurant establishments of various types and scales.

The results of the study have practical significance for improving the efficiency of restaurant establishments, enhancing product quality and optimising technological processes in the industry.

Key words: *combi steamer, thermal processing, animal products, dry matter, fat, organoleptic indicators, restaurant industry, technological processes, product quality.*

Постановка проблеми та її актуальність. Одним із пріоритетних напрямів державної політики України є формування та збереження здоров'я нації шляхом забезпечення продовольчої безпеки та системи здорового харчування. За даними наукових досліджень, у більшої частини населення виявлено відхилення у здоров'ї. Причиною є порушення повноцінного харчування, що характеризуються недостатнім споживанням харчових речовин, тобто дефіцитом споживання рослинних жирів, поліненасичених жирних кислот, повноцінних білків, фосфоліпідів, водо- і жиророзчинних вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон [1, 2].

Як і завжди перед закладами ресторанного господарства та харчової промисловості гостро стоїть завдання задоволення потреби різних груп населення в повноцінному харчуванні. Зазначимо, що основна маса сировини під час використання її в закладах ресторанного господарства піддається тепловій обробці, яка має значний вплив на якість готової продукції. Від способу, режиму нагрівання, його тривалості залежать органолептичні показники, харчова цінність, вихід страв. Тому актуальним завданням є пошук ефективних способів і режимів технологічної обробки і в частості теплової, та обладнання для їх реалізації, які дозволять максимально зберегти якість харчової сировини та знизити втрати маси і об'єму під час обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато досліджень сучасних науковців присвячено вивченню новітніх методів високотехнологічної обробки харчової сировини та розробці режимів та обладнання для їх реалізації Черевко О.І., Сукманов В.О., Михайлов, В. М., C. Katsigris [3,4,5,6]. Але більшість досліджень авторів присвячено аналізу окремих способів технологічної обробки на спеціалізованому обладнанні. Тому дослідження впливу типу обладнання та способів теплової обробки на технологічні показники якості продуктів тваринного походження у ресторанному господарстві є актуальним завданням.

Мета статті. Дослідити та проаналізувати вплив різних типів ресторанного обладнання та методів теплової обробки на технологічні показники якості продуктів тваринного походження, що використовуються у ресторанному господарстві, з метою оптимізації процесів приготування та підвищення якості готових страв.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Як об'єкт дослідження на була обрана різна сировина тваринного походження:

1) Свинина за ДСТУ 7158:2010 М'ясо. Свинина в тушах і півтушах. Технічні умови;

2) Філе куряче за ДСТУ 3143:2013 М'ясо птиці. Загальні технічні умови;

3) Яйця курячі за ДСТУ 5028:2008 Яйця курячі харчові. Технічні умови;

4) Хек середнього розміру тушки розібрані і форель ДСТУ 4868:2007 Риба заморожена. Технічні умови.

Досліджувану сировину піддавали кулінарній обробці за традиційною технологією у наплитному посуді, а також із використанням пароконвектомату RATIONAL SCC 61(6 x 1/1 GN, 9 кВт). В першому і другому варіанті обробки сировину доводили до кулінарної готовності.

У роботі використовували загальноприйняті методи дослідження. Вміст сухих речовин визначали ваговим методом, висушування проводили до постійної маси (арбітражний метод). Вміст жиру визначали методом Гербера.

Визначення органолептичних показників (визначали показники зовнішнього вигляду – колір, стан поверхні; запах; консистенція і смак) проводили за ДСТУ 4823.2:2007 частина 1 і 2, та ДСТУ ISO 6658:2005. Органолептичну оцінку досліджуваних показників дегустаційна комісія, що складалася із десяти фахівців

у сфері ресторанного господарства, проводила за допомогою описового методу. Заміри температури проводили з використанням портативного термометру (для традиційної технології) і вбудованого щупа (у разі використання пароконвектомата). Також у роботі застосовували загальноприйняті статистичні методи обробки отриманих результатів.

Висували гіпотезу про можливу відмінність технологічних показників якості продуктів тваринного походження, обробленої за традиційною технологією та з використанням пароконвектомату. Для перевірки гіпотези вивчали технологічні параметри обробки досліджуваної сировини (температуру, час теплової обробки), визначали масову частку сухих речовин і масову частку жиру до і після технологічної обробки, оцінювали органолептичні показники.

У ресторанному господарстві для продуктів, що використали у дослідженнях важливим показником є кількість їстівної частини, яка залежить від багатьох факторів. У табл. 1 показано результати оцінки відсотка їстівної частини досліджуваної сировини.

Таблиця 1

Кількість їстівної частини продуктів, у % до загальної маси

Продукт	Фактична кількість їстівної частини	Довідкові дані [8]	Довідкові дані [7]
Свинина	87,9±0,1	86,0	87,2
Курка	71,5±0,2	63,0	68,6
Яйця курячі	88,9±0,2	89,0	87,5
Хек	73,7±0,3	86,0	64,0
Форель	77,3±0,2	73,3	69,0

На основі даних, наведених у таблиці 1, можна зробити декілько висновків. Щодо свинини, фактична кількість їстівної частини становить 87,9±0,1%, що дуже близько до довідкових даних (86,0% та 87,2%). Це підтверджує достовірність результатів дослідження для цього виду м'яса.

У випадку курки спостерігається дещо інша картина. Фактична кількість їстівної частини складає 71,5±0,2%, що перевищує значення, наведені у довідкових джерелах (63,0% та 68,6%). Це вказує на те, що досліджувані зразки мали більший вихід їстівної частини, ніж зазначено у довідниках.

Для яєць курячих отримані результати добре узгоджуються з довідковими даними. Фактична кількість їстівної частини становить 88,9±0,2%, що дуже близько до значень 89,0% та 87,5%, наведених у довідниках.

Цікава ситуація спостерігається для хека. Фактична кількість їстівної частини складає 73,7±0,3%, що значно нижче, ніж в одному довіднику (86,0%), але вище, ніж в іншому (64,0%). Така значна розбіжність між довідковими даними вказує на необхідність додаткових досліджень.

Щодо форелі, фактична кількість їстівної частини становить 77,3±0,2%, що перевищує значення, наведені у довідкових джерелах (73,3% та 69,0%). Це свідчить про те, що досліджувані зразки мали більший вихід їстівної частини, ніж зазначено у довідниках.

Загалом, для більшості продуктів фактичні дані близькі до довідкових або перевищують їх. Найбільша розбіжність спостерігається для хека, що може вказувати на необхідність додаткових досліджень. Курка та форель показали вищий вихід

їстівної частини, ніж зазначено у довідниках, що може бути пов'язано з покращенням методів вирощування або переробки цих видів продукції.

На основі даних, наведених у таблиці 2, можна зробити аналіз режимів теплової обробки різних продуктів тваринного походження.

Для свинини спостерігаються значні відмінності в температурних режимах та часі обробки залежно від методу приготування та типу обладнання. При варінні цілим шматком на плиті досягається внутрішня температура 86,1±2,0°С за 65±2 хвилини, тоді як у пароконвектоматі температура сягає 92,5±1,1°С за 40±1 хвилину. Це свідчить про більшу ефективність пароконвектомата, який забезпечує вищу температуру внутрі продукту за коротший час. При нарізанні свинини на шматочки час обробки суттєво скорочується в обох випадках, але пароконвектомат все ж демонструє кращі показники.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика режимів теплової обробки

Продукт	**Спосіб обробки (приготування)**		**Температура внутрішня, °С**	**Час теплової обробки, хв**
Свинина	варка	на плиті цілим шматком	86,1±2,0	65±2
		у пароконвектоматі цілим шматком	92,5±1,1	40±1
		на плиті, нарізаною на шматочки	94,4±1,3	40±2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматки, кусочки	95,6±2,1	31±3
	смаження	на плиті, нарізаною на шматочки	73,0±1,2	23±2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	76,1±1,3	15±1
	тушкування	на плиті, нарізаною на шматочки	75,2±0,6	24±1
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	77,9±0,8	35±2
Куряче філе	варка	на плиті (ціле філе)	74,3±1,1	26±2
		у пароконвектоматі (ціле філе)	78,0±1,2	16±1
	смаження	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	77,0±1,0	11±1
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	79,2±0,9	10±2
	тушкування	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	74,8±0,6	20±3
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	78,2±1,2	25±1
Яйця	варка	на плиті	82,0±1,3	10±1
		у пароконвектоматі	85,2±1,1	8±1
Форель	варка	на плиті порційним шматком	66,0±1,2	22±2
		у пароконвектоматі порційним шматком	68,2±0,7	15±2
	смаження	на плиті порційним шматком	69,2±0,6	15±1
		у пароконвектоматі порційним шматком	71,3±0,8	10±2
Хек	варка	на плиті порційним шматком	66,4±1,2	21±2
		у пароконвектоматі порційним шматком	69,1±0,6	14±2
	смаження	на плиті порційним шматком	70,2±0,7	17±1
		у пароконвектоматі порційним шматком	72,1±1,0	11±2

Термообробка курячого філе також показує кращі результати при обробці в пароконвектоматі. Наприклад, при варінні цілого філе на плиті досягається температура 74,3±1,1°С за 26±2 хвилини, а в пароконвектоматі – 78,0±1,2°С за 16±1 хвилину. Подібна тенденція спостерігається і при інших методах обробки курячого філе.

Яйця також швидше і ефективніше обробляються в пароконвектоматі: 85,2±1,1°С за 8±1 хвилину проти 82,0±1,3°С за 10±1 хвилину на плиті.

Форель і хек демонструють схожі тенденції. При варінні порційним шматком форель досягає температури 66,0±1,2°С за 22±2 хвилини на плиті, а в пароконвектоматі – 68,2±0,7°С за 15±2 хвилини. Хек показує аналогічні результати.

Загалом, дані таблиці 2 демонструють, що використання пароконвектомата дозволяє досягти вищих температур у центрі продукту за коротший час обробки для всіх досліджуваних продуктів, тобто свідчить про інтенсивніши прогрів продуктів тваринного походження в порівнянні з традиційними методами обробки. Це може мати позитивний вплив на якість готових страв, збереження поживних речовин та енергоефективність процесу приготування. Крім того, нарізання продуктів на менші шматочки перед обробкою значно скорочує час приготування незалежно від типу обладнання.

Досліджували вміст сухих речовин у сировині тваринного походження та в готовій продукції після теплової обробки (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Масова частка сухих речовин у продуктах, що досліджували, %

Продукти	Фактична масова частка сухих речовин	Довідкові дані [8]
Свинина	25,9±0,2	26,0
Куряче філе	23,3±0,1	24,9
Яйця курячі	11,1±0,1	11,7
Хек	19,1±0,2	19,2
Форель	25,0±0,3	26,7

На основі даних, наведених у таблиці 3 документу, можна зробити наступний аналіз масової частки сухих речовин у досліджуваних продуктах тваринного походження.

Щодо свинини, фактична масова частка сухих речовин становить 25,9±0,2%, що дуже близько до довідкових даних (26,0%). Це свідчить про високу точність проведених досліджень та відповідність досліджуваних зразків свинини стандартним показникам.

У випадку курячого філе спостерігається дещо нижчий показник масової частки сухих речовин порівняно з довідковими даними.

Фактичне значення складає 23,3±0,1%, тоді як довідкове значення – 24,9%. Ця різниця може бути пов’язана з особливостями конкретної партії курячого м’яса або з методикою визначення сухих речовин.

Для яєць курячих отримані результати досить близькі до довідкових даних. Фактична масова частка сухих речовин становить 11,1±0,1%, що лише трохи нижче від довідкового значення 11,7%. Така невелика розбіжність може бути пояснена природною варіабельністю складу яєць.

Хек демонструє майже ідеальний збіг фактичних та довідкових даних. Масова частка сухих речовин у досліджуваних зразках складає 19,1±0,2%, що практично співпадає з довідковим значенням 19,2%. Це вказує на високу репрезентативність досліджуваних зразків хека.

Щодо форелі, спостерігається дещо нижча масова частка сухих речовин порівняно з довідковими даними. Фактичне значення становить 25,0±0,3%, тоді як довідкове – 26,7%. Ця різниця може бути пов'язана з особливостями конкретної партії риби, умовами її вирощування або зберігання.

Загалом, отримані дані демонструють достатньо високу відповідність фактичних показників масової частки сухих речовин довідковим даним для всіх досліджуваних продуктів. Найбільша розбіжність спостерігається для курки та форелі, що може вказувати на необхідність додаткових досліджень цих видів продукції або на можливі відмінності у методиках визначення сухих речовин. Водночас, отримані результати підтверджують надійність проведених досліджень та їх узгодженість із загальноприйнятими стандартами.

На основі даних, наведених у таблиці 4, можна зробити комплексний аналіз впливу різних способів теплової обробки на масову частку сухих речовин у продуктах тваринного походження.

Тут треба відзначити, що хоча це не було безпосередньою метою дослідження, під час досліджень був встановлений факт, що втрати маси при тепловій обробці в пароконвектоматі були менше ніж при застосуванні класичних методів. Так втрати при тепловій обробки маси свинини на 15…30% у пароконвектоматі менше ніж при класичних способах теплової обробки, філе куряче на 20…27%, яєць на 2.3%, хека на 15…22%, а форелі на 20…25%. Цей факт можна пояснити збереженням більшої кількості вологи у готовому продукті в порівнянні з класичними способами.

Згідно з даними таблиці 4, для свинини спостерігається значна різниця у вмісті сухих речовин залежно від способу приготування. При варінні цілим шматком на плиті масова частка сухих речовин становить 31,0±0,1%, тоді як у пароконвектоматі – 26,8±0,1%. Ця різниця пояснюється меншими втратами маси при обробці у пароконвектоматі (на 15-30% менше), що призводить до меншого концентрування сухих речовин. Подібна тенденція спостерігається і при інших способах обробки свинини, де використання пароконвектомата завжди призводить до меншого вмісту сухих речовин порівняно з традиційними методами.

Куряче філе демонструє схожу закономірність. При варінні цілого філе на плиті масова частка сухих речовин складає 10,3±0,1%, а в пароконвектоматі – 9,3±0,1%. Ця різниця також пояснюється меншими втратами маси (на 20-27%) при обробці в пароконвектоматі. При смаженні та тушкуванні спостерігається аналогічна тенденція, де обробка в пароконвектоматі призводить до меншого вмісту сухих речовин порівняно з традиційними методами.

Яйця курячі показують менш виражену різницю: 11,3±0,2% сухих речовин при варінні на плиті проти 10,5±0,1% у пароконвектоматі. Це узгоджується з меншою різницею у втратах маси (лише 3%) між двома методами обробки для цього продукту.

Хек при варінні демонструє незначну різницю у вмісті сухих речовин: 10,9±1,1% на плиті проти 10,4±0,5% у пароконвектоматі. Однак при смаженні різниця стає більш помітною: 16,3±0,6% на плиті проти 15,2±0,5% у пароконвектоматі. Ця різниця відповідає меншим втратам маси (на 15-22%) при обробці в пароконвектоматі.

Таблиця 4

Масова частка сухих речовин у продуктах тваринного походження після теплової обробки, %

Продукт	Спосіб обробки (приготування)		Масова частка сухих речовин
Свинина	варка	на плиті цілим шматком	31,0±0,1
		у пароконвектоматі цілим шматком	26,8±0,1
		на плиті, нарізаною на шматочки	29,2±0,1
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	25,1±0,1
	смаження	на плиті, нарізаною на шматочки	29,2±0,2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	25,4±0,3
	тушкування	на плиті, нарізаною на шматочки	31,7±0,2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	30,3±0,1
Куряче філе	варка	на плиті (ціле філе)	10,3±0,1
		у пароконвектоматі (ціле філе)	9,3±0,1
	смаження	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	23,7±1,0
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	20,4±0,2
	тушкування	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	27,4±0,2
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	26,0±0,1
Яйця	варка	на плиті	11,3±0,2
		у пароконвектоматі	10,5±0,1
Хек	варка	на плиті порційним шматком	10,9±1,1
		у пароконвектоматі порційним шматком	10,4±0,5
	смаження	на плиті порційним шматком	16,3±0,6
		у пароконвектоматі порційним шматком	15,2±0,5
Форель	варка	на плиті порційним шматком	12,7±0,1
		у пароконвектоматі порційним шматком	11,9±0,2
	смаження	на плиті порційним шматком	26,6±0,1
		у пароконвектоматі порційним шматком	24,9±1,3

Форель показує схожу тенденцію: при варінні 12,7±0,1% сухих речовин на плиті проти 11,9±0,2% у пароконвектоматі, а при смаженні 26,6±0,1% на плиті проти 24,9±1,3% у пароконвектоматі. Ця різниця також узгоджується з меншими втратами маси (на 20-25%) при обробці в пароконвектоматі.

Загалом, дані таблиці 4 демонструють, що використання пароконвектомата призводить до меншого вмісту сухих речовин у готових продуктах порівняно з традиційними методами обробки. Це пояснюється меншими втратами маси при обробці в пароконвектоматі, що призводить до меншого концентрування сухих речовин. Такий ефект може мати позитивний вплив на якість готових страв, зберігаючи їх соковитість та натуральний смак. Крім того, менші втрати маси при обробці в пароконвектоматі можуть сприяти більш ефективному використанню сировини в закладах ресторанного господарства.

Досліджували вміст жиру в сировині тваринного походження та в продукції після теплової обробки (табл. 5, 6).

На основі даних, наведених у таблиці 5, можна провести аналіз масової частки жиру у продуктах тваринного походження до теплової обробки.

Щодо свинини, фактична масова частка жиру становить 60,3±0,1%, що значно перевищує довідкове значення 56,4%. Це може свідчити про використання більш жирних частин свинини у досліджуваних зразках або про особливості годівлі та вирощування тварин.

Таблиця 5

Масова частка жиру у продуктах тваринного походження після теплової обробки, %

Продукти	Фактична масова частка жиру	Довідкові дані [8]
Свинина	60,3±0,1	56,4
Куряче філе	4,3±0,2	2,1
Яйця курячі	10,5±0,2	11,2
Хек	0,6±0,1	0,7
Форель	4,7±0,2	5,4

Куряче філе демонструє суттєво вищий вміст жиру порівняно з довідковими даними. Фактична масова частка жиру складає 4,3±0,2%, тоді як довідкове значення становить лише 2,1%. Така різниця може бути пов'язана з породою курей, особливостями їх вирощування або з тим, що досліджувалися зразки з шкірою.

Яйця курячі показують дещо нижчий вміст жиру порівняно з довідковими даними. Фактична масова частка жиру становить 10,5±0,2%, а довідкове значення – 11,2%. Ця різниця не є значною і може бути пояснена природною варіабельністю складу яєць або особливостями годівлі курей.

Хек демонструє дуже близькі значення до довідкових даних. Фактична масова частка жиру складає 0,6±0,1%, а довідкове значення – 0,7%. Це вказує на високу відповідність досліджуваних зразків хека стандартним показникам.

Форель показує дещо нижчий вміст жиру порівняно з довідковими даними. Фактична масова частка жиру становить 4,7±0,2%, тоді як довідкове значення – 5,4%. Ця різниця може бути пов'язана з особливостями вирощування риби або сезонними коливаннями у складі її тіла.

Загалом, отримані дані демонструють певні відхилення від довідкових значень для більшості досліджуваних продуктів. Найбільші розбіжності спостерігаються для курячого філе та свинини, де фактичний вміст жиру перевищує довідкові дані. Це може вказувати на необхідність перегляду стандартів або на зміни у методах вирощування тварин. Для яєць, хека та форелі розбіжності є менш значними, що свідчить про більшу стабільність складу цих продуктів. Такі результати підкреслюють важливість проведення регулярних досліджень складу харчових продуктів для забезпечення актуальності інформації про їх поживну цінність.

На основі даних, наведених у таблиці 6, можна провести комплексний аналіз впливу різних способів теплової обробки на масову частку жиру у продуктах тваринного походження.

Для свинини спостерігається значна різниця у вмісті жиру залежно від способу приготування. При варінні цілим шматком на плиті масова частка жиру становить 70,0±0,2%, тоді як у пароконвектоматі – 62,5±0,1%.

Ця різниця пояснюється меншими втратами маси при обробці у пароконвектоматі (на 15…30% менше), що призводить до меншого концентрування жиру.

Подібна тенденція спостерігається і при інших способах обробки свинини, де використання пароконвектомата завжди призводить до меншого вмісту жиру порівняно з традиційними методами.

Куряче філе демонструє схожу закономірність, хоча різниця менш виражена через нижчий початковий вміст жиру. При варінні цілого філе на плиті масова частка жиру складає 4,1±0,2%, а в пароконвектоматі – 3,7±0,1%. Ця різниця також пояснюється меншими втратами маси (на 20…27%) при обробці в пароконвектоматі. При смаженні та тушкуванні спостерігається аналогічна тенденція, де обробка в пароконвектоматі призводить до меншого вмісту жиру порівняно з традиційними методами.

Яйця курячі показують менш виражену різницю: 11,3±0,1% жиру при варінні на плиті проти 10,9±0,2% у пароконвектоматі. Це узгоджується з меншою різницею у втратах маси (лише 3%) між двома методами обробки для цього продукту.

Таблиця 6

Масова частка жиру речовин у продуктах тваринного походження після теплової обробки, %

Продукт	Спосіб обробки (приготування)		Масова частка жиру
Свинина	варка	на плиті цілим шматком	70,0±0,2
		у пароконвектоматі цілим шматком	62,5±0,1
		на плиті, нарізаною на шматочки	69,1±0,1
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	58,4±0,1
	смаження	на плиті, нарізаною на шматочки	49,6±0,2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	43,0±0,4
	тушкування	на плиті, нарізаною на шматочки	75,4±0,2
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	72,0±0,1
Куряче філе	варка	на плиті (ціле філе)	4,1±0,2
		у пароконвектоматі (ціле філе)	3,7±0,1
	смаження	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	4,0±0,3
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	3,4±0,4
	тушкування	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	5,1±0,2
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	4,8±0,5
Яйця	варка	на плиті	11,3±0,1
		у пароконвектоматі	10,9±0,2
Хек	варка	на плиті порційним шматком	22,6±0,1
		у пароконвектоматі порційним шматком	21,3±0,1
	смаження	на плиті порційним шматком	17,3±0,7
		у пароконвектоматі порційним шматком	16,1±0,5
Форель	варка	на плиті порційним шматком	30,0±0,1
		у пароконвектоматі порційним шматком	28,1±0,1
	смаження	на плиті порційним шматком	26,9±0,7
		у пароконвектоматі порційним шматком	25,2±0,2

Хек при варінні демонструє незначну різницю у вмісті жиру: 22,6±0,1% на плиті проти 21,3±0,1% у пароконвектоматі. При смаженні різниця стає більш помітною: 17,3±0,7% на плиті проти 16,1±0,5% у пароконвектоматі. Ця різниця відповідає меншим втратам маси (на 15-22%) при обробці в пароконвектоматі.

Форель показує схожу тенденцію: при варінні 30,0±0,1% жиру на плиті проти 28,1±0,1% у пароконвектоматі, а при смаженні 26,9±0,7% на плиті проти 25,2±0,2% у пароконвектоматі. Ця різниця також узгоджується з меншими втратами маси (на 20…25%) при обробці в пароконвектоматі.

Загалом, дані таблиці 6 демонструють, що використання пароконвектомата призводить до меншого вмісту жиру у готових продуктах порівняно з традиційними методами обробки. Це пояснюється меншими втратами маси при обробці в пароконвектоматі, що призводить до меншого концентрування жиру. Такий ефект може мати позитивний вплив на якість та харчову цінність готових страв, зберігаючи їх соковитість та зменшуючи калорійність. Крім того, менші втрати маси при обробці в пароконвектоматі можуть сприяти більш ефективному використанню сировини в закладах ресторанного господарства, що може мати економічні переваги.

На останньому етапі досліджували одні з найважливіших показників якості – органолептичні показники (колір, консистенція і смак), тареба відзначити, що для більшості зразків продуктів вони були найбільш вираженими в зразках, що готували в пароконвектоматі: відмічено, що краще зберігалася форма, колір був більш насичений, консистенція соковитіша і ніжніша.

Дані органолептичного аналізу подано в табл. 7.

Для зручності сприйняття отриманих даних не наводимо повний опис, а в таблиці використовуємо такі скорочення. Показники якості оцінювали 15 експертів за 10 бальною шкалою.

На основі даних, наведених у таблиці 7, можна провести комплексний аналіз органолептичних показників продуктів залежно від способів теплової обробки.

Для свинини спостерігається загальна тенденція покращення органолептичних показників при використанні пароконвектомата порівняно з традиційними методами обробки.

При варінні цілим шматком у пароконвектоматі відмічено кращі показники запаху, консистенції та смаку (5 балів), ніж при варінні на плиті. Подібна тенденція зберігається при нарізанні свинини на шматочки та при смаженні. Особливо помітна різниця в консистенції: при обробці в пароконвектоматі вона оцінюється на 5 балів, тоді як на плиті – на 3-4 бали.

Куряче філе демонструє ще більш виражену різницю на користь пароконвектомата. При варінні цілого філе на плиті всі показники, крім кольору, оцінені на 3 бали, тоді як у пароконвектоматі – на 4-5 балів. При смаженні та тушкуванні також спостерігається перевага пароконвектомата, особливо щодо консистенції та смаку.

Для яєць курячих різниця менш виражена, але все ж помітна. При варінні в пароконвектоматі всі показники оцінені на максимальні 5 балів, тоді як при варінні на плиті консистенція оцінена на 4 бали.

Хек і форель показують схожі тенденції. При всіх методах обробки (варіння, смаження) продукти, приготовлені в пароконвектоматі, отримують вищі оцінки за всіма показниками. Особливо помітна різниця в консистенції та смаку.

Загалом, дані таблиці 7 демонструють, що використання пароконвектомата призводить до покращення органолептичних показників готових продуктів порівняно з традиційними методами обробки. Це особливо помітно для таких показників як консистенція та смак. Колір продуктів, приготованих у пароконвектоматі,

часто оцінюється як більш насичений. Запах також часто отримує вищі оцінки при обробці в пароконвектоматі.

Таблиця 7

Порівняльна характеристика органолептичних показників продуктів залежно від способів теплової обробки

Продукт	Спосіб обробки (приготування)		Показники якості			
			Колір, стан, стан поверхні	Запах	Консистенція	Смак
Свинина	варка	на плиті цілим шматком	5	4	3	4
		у пароконвектоматі цілим шматком	4	5	5	5
		на плиті, нарізаною на шматочки	4	5	4	4
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	5	4	5	5
	смаження	на плиті, нарізаною на шматочки	4	4	4	4
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	5	4	5	5
	тушкування	на плиті, нарізаною на шматочки	5	5	4	4
		у пароконвектоматі, нарізаною на шматочки	4	5	5	5
Куряче філе	варка	на плиті (ціле філе)	4	3	3	3
		у пароконвектоматі (ціле філе)	5	4	5	5
	смаження	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	5	4	4	5
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	4	4	5	5
	тушкування	на плиті (філе, нарізане на шматочки)	5	5	4	5
		у пароконвектоматі (філе, нарізане на шматочки)	4	5	5	4
Яйця	варка	на плиті	5	5	4	5
		у пароконвектоматі	5	5	5	5
Хек	варка	на плиті порційним шматком	4	5	4	4
		у пароконвектоматі порційним шматком	5	5	5	5
	смаження	на плиті порційним шматком	4	4	4	4
		у пароконвектоматі порційним шматком	5	4	5	5
Форель	варка	на плиті порційним шматком	4	4	4	5
		у пароконвектоматі порційним шматком	5	4	5	5
	смаження	на плиті порційним шматком	4	4	3	4
		у пароконвектоматі порційним шматком	5	5	5	5

Такі результати можна пояснити більш рівномірним прогрівом продуктів у пароконвектоматі та меншими втратами вологи, що призводить до збереження соковитості та покращення текстури продуктів. Крім того, використання пароконвектомата дозволяє краще контролювати процес приготування, що може позитивно впливати на формування смаку та аромату страв.

Ці дані підтверджують переваги використання пароконвектоматів у закладах ресторанного господарства для підвищення якості готових страв та покращення їх органолептичних характеристик.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На основі проведеного дослідження можна зробити наступні висновки.

Використання пароконвектомату для теплової обробки продуктів тваринного походження демонструє значні переваги порівняно з традиційними методами приготування. Основні переваги полягають у зменшенні втрат маси продукту під час теплової обробки, що для різних видів сировини складає від 3% для яєць до 20…30% для м'яса та риби. Спостерігається краще збереження вологи в готовому продукті, що призводить до меншого концентрування сухих речовин та жиру. Це позитивно впливає на соковитість та текстуру готових страв.

Важливим аспектом є покращення органолептичних показників готових страв. Продукти, приготовлені в пароконвектоматі, отримують вищі оцінки за консистенцією, смаком, ароматом та кольором. Також відмічається скорочення часу приготування для більшості досліджуваних продуктів при збереженні або навіть покращенні якості готових страв. Більш рівномірний прогрів продуктів забезпечує кращий контроль процесу приготування та стабільність результатів.

Ці переваги мають важливе значення як для якості готових страв, так і для ефективності роботи закладів ресторанного господарства. Використання пароконвектоматів дозволяє не лише підвищити якість продукції, але й оптимізувати виробничі процеси, знизити втрати сировини та енерговитрати.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть включати розширення асортименту досліджуваних продуктів, включаючи різні види м'яса, риби, овочів та комбінованих страв. Важливим напрямком є вивчення впливу різних режимів роботи пароконвектомату на якість готових страв, а також дослідження впливу теплової обробки в пароконвектоматі на харчову цінність продуктів, зокрема на збереження вітамінів та інших біологічно активних речовин.

Актуальним залишається розробка нових рецептур страв, оптимізованих для приготування в пароконвектоматі. Економічний аналіз ефективності використання пароконвектоматів у закладах ресторанного господарства різного типу та масштабу також представляє значний інтерес.

Особливу увагу варто приділити вивченню можливостей використання пароконвектоматів для розробки нових видів кулінарної продукції, в тому числі функціонального та дієтичного призначення. Ці дослідження можуть сприяти подальшому вдосконаленню технологій приготування їжі, підвищенню якості та безпечності продукції ресторанного господарства, а також оптимізації виробничих процесів у галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гіренко Н.І., Крамаренко Д.П. Морські водорості у харчуванні українців − дослідження споживчих переваг. *Development Service Industry Management*. 2024. № 1. 47–52.

2. Драга А. Ю., Новікова Н. В. Проблеми виробництва хлібних виробів з підвищеною харчовою цінністю. *Сучасні технології у тваринництві та рибництві: навколишнє середовище – виробництво продукції – екологічні проблеми.* С. 166.

3. Сукманов В., Кірік І., Палаш А. Властивості варених ковбас, вироблених із використанням високого тиску. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації.* 2019 Том 2 № 1 С. 59-83.

4. Михайлов Б. В., Олій І. О. Електроконтактне нагрівання в процесах і апаратах харчової промисловості. *Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді.* Всеукраїнська наук-практ. конф. здоб. вищої освіти і молодих учених, 8 квітня 2021 р. Харків, 2021. Ч. 1. С. 176.

5. Katsigris C., Thomas C. Design and equipment for restaurants and foodservice: a management view. *John Wiley & Sons, Inc.* 2009.

6. Черевко О.І., Загорулько О.Є., Загорулько А.М., Гордієнко І.О. Перспективи використання ІЧ-технологій у виробництві сушених напівфабрикатів. *Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність*. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 14 трав. 2020 р. Харків : ХДУХТ, 2020. Ч. 1. С. 241-242.

7. Шалимінов О.В. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів, правових, нормативно-правових та інших актів для закладів ресторанного господарства. Київ : Арій, 2022. 992 с.

8. McCance R. A., Widdowson E. M. McCance and Widdowson's the Composition of Foods. Royal Society of Chemistry, 2014.

REFERENCES:

1. Hirenko, N.I., & Kramarenko, D.P. (2024). Morski vodorosti u kharchuvanni ukraintsiv − doslidzhennia spozhyvchykh perevah [Seaweed in the diet of Ukrainians − a study of consumer preferences]. *Development Service Industry Management*, 1, 47–52. [in Ukrainian].

2. Draga, A.Yu., & Novikova, N.V. Problemy vyrobnytstva khlibnykh vyrobiv z pidvyshchenoiu kharchovoiu tsinnistiu [Problems of producing bread products with increased nutritional value]. *Suchasni tekhnolohii u tvarynnytstvi ta rybnytstvi: navkolyshnie seredovyshche – vyrobnytstvo produktsii – ekolohichni problemy*, 166. [in Ukrainian].

3. Sukmanov, V., Kirik, I., & Palash, A. (2019). Vlastyvosti varenykh kovbas, vyroblenykh iz vykorystanniam vysokohotyisku [Properties of boiled sausages produced using high pressure]. *Restorannyi i hotelnyi konsaltynh. Innovatsii*, 2(1), 59-83. [in Ukrainian].

4. Mykhailov, B.V., & Olii, I.O. (2021). Elektrokontaktne nahrivannia v protsesakh i aparatach kharchovoi promyslovosti [Electrocontact heating in processes and equipment of the food industry]. Proceedings from: *Vseukrainska nauk-prakt. konf. zdob. vyshchoi osvity i molodykh uchenykh «Innovatsiini tekhnolohii rozvytku u sferi kharchovykh vyrobnytstv, hotelno-restorannoho biznesu, ekonomiky ta pidpryiemnytstva: naukovi poshuky molodi». All-Ukrainian Science and Practice. conf. acc. higher education and young scientists Innovative Technologies for Development in the Sphere of Food Production, Hospitality, Economics, and Entrepreneurship: Scientific Investigations of Youth.* (April 8, 2021). (p. 176). Kharkiv [in Ukrainian].

5. Katsigris C., & Thomas C. (2009). Design and equipment for restaurants and foodservice: a management view. *John Wiley & Sons, Inc.* [in USA].

6. Cherevko, O.I., Zahorulko, O.Ye., Zahorulko, A.M., & Hordiienko, I.O. (2020). Perspektyvy vykorystannia IR-tekhnolohii u vyrobnytstvi sushenykh napivfabrykativ [Prospects for using IR technologies in the production of dried semi-finished products]. Proceedings from the International Scientific and Practical Conference «Rozvytok kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho ta hotelnoho hospodarstv i torhivli: problemy, perspektyvy, efektyvnist» (May 14, 2020, Kharkiv). (pp. 241-242). Kharkiv: KhDUKhT [in Ukrainian].

7. Shaliminov, O.V. (2022). *Zbirnyk retseptur natsionalnykh strav ta kulinarnykh vyrobiv, pravovykh, normatyvno-pravovykh ta inshykh aktiv dlia zakladiv restorannoho hospodarstva* [Collection of recipes for national dishes and culinary products, legal, regulatory, and other acts for restaurant establishments]. Kyiv: Arii. 992 p. [in Ukrainian].

8. McCance R. A., Widdowson E. M. (2014). McCance and Widdowson's the Composition of Foods. Royal Society of Chemistry.

УДК 664.664
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.25

БЕЗПЕКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: СТАНДАРТИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Кривохижа Є. М. *– доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор кафедри агробіотехнологій Західноукраїнського національного університету ORCID ID: 0000-0001-7270-6529*

Соломон А. М. *– кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій Вінницького національного аграрного університету ORCID ID: 0000-0003-2982-302X*

Козлов О. В. *– аспірант кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій Вінницького національного аграрного університету ORCID ID: 0009-0003-5355-6328*

Забезпечення населення високоякісними та безпечними харчовими продуктами є однією з найважливіших складових національної безпеки України. Досягнення безпечності харчових продуктів виробниками досі залишається пріоритетним завданням для усіх галузей харчової промисловості. Актуальності це питання набуває ще більше, коли ринок харчової продукції розвивається стрімко, збільшується рівень конкуренції та асортимент продуктів закордонного походження.

В статті приділена увага аналізу законодавчих та нормативно-правових аспектів регулювання безпечності харчових продуктів в Україні. Останнім часом в Україні реалізовано ряд заходів щодо поліпшення ситуації у сфері якості. Впроваджуються системи управління якістю відповідно до ДСТУ ISO 22000 на підприємствах та центральних органах влади, реформується існуюча інфраструктура забезпечення якості, розробляються та оновлюються стандарти, приймаються необхідні законодавчі акти. Ефективним інструментом підвищення якості продукції вітчизняних підприємств слід вважати впровадження та сертифікацію систем управління якістю за моделями, регламентованими міжнародними стандартами ISO серії 22000.

В Україні здебільшого законодавчо регламентовані питання стосовно забезпечення безпеки та якості харчових продуктів. Однак, не завершеним є гармонізація європейських вимог і норм у власне законодавство, що передусім стосується молочної і м'ясної промисловості.

В Україні впровадження ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга» задля гармонізації українського законодавства з європейськими нормами почалося в рамках виконання підписаної Угоди про Асоціацію з ЄС.

У стандарті ДСТУ ISO 22000:2019 зазначаються вимоги до системи управління безпечністю харчових продуктів у харчовому ланцюгу, згідно з якими оператор ринку харчових продуктів повинен довести свою здатність контролювати ризик, пов'язаний із безпечністю харчових продуктів.

Методів контролю якості продукції розроблено велику кількість, але їх можна поділити на чотири основні групи: органолептичні, інструментальні, фізико-хімічні, мікробіологічні.

Ключові слова: *харчові продукти, якість, безпечність, методи контролю.*

Kryvokhyzha Ye. M., Solomon A. M., Kozlov O. V. Food safety: quality control standards and methods

Achieving food safety by producers is still a priority for all sectors of the food industry. This issue becomes even more relevant when the food market is developing rapidly, the level of competition and the range of products of foreign origin are increasing.

According to regulatory documents, food safety is the absence of hazardous factors in food at the time of consumption. Such factors can arise at any stage of food production, so adequate management at each stage of the food product life cycle is essential.

Recently, Ukraine has implemented a number of measures to improve the situation in the field of quality. Quality management systems in accordance with DSTU ISO 22000 are being implemented at enterprises and central authorities, the existing quality assurance infrastructure is being reformed, standards are being developed and updated, and the necessary legislation is being adopted. Implementation and certification of quality management systems according to the models regulated by the international standards of the ISO 22000 series should be considered an effective tool for improving the quality of products of domestic enterprises.

In Ukraine, issues related to food safety and quality are mostly regulated by law. However, the harmonization of European requirements and norms into domestic legislation is not yet complete, especially in the dairy and meat industries.

In Ukraine, the implementation of DSTU ISO 22000:2019 "Food Safety Management Systems. Requirements for any organization in the food chain" to harmonize Ukrainian legislation with European standards began as part of the implementation of the signed Association Agreement with the EU. After the transitional phase is over, further development of a safe food market in Ukraine in line with international standards will require the adoption of a number of new legislative and regulatory acts.

In each specific food production facility, the general principles and rules of good manufacturing practice are usually implemented through standard operating procedures, production and process instructions.

A large number of product quality control methods have been developed, but they can be divided into four main groups: organoleptic, instrumental, physical and chemical, and microbiological.

Key words: *food products, safety, quality, control methods.*

Постановка проблеми. Харчова промисловість відіграє важливу роль у вирішенні питань контролю харчових продуктів, оскільки вона зацікавлена в безпеці та маркетингу харчових продуктів. Крім того, завдяки своїм широким науково-технічним ресурсам і досвіду вирішення цих проблем харчова промисловість може зробити важливий внесок у їх розуміння та вирішення.

Нині стрімко зростає потреба людини в підтвердженні безпечності продуктів харчування, які присутні на прилавках магазинів та в раціоні її харчування, внаслідок забруднення їх ксенобіотиками, харчовими добавками, ГМО тощо в процесі технології виготовлення [1].

Забезпечення якості охоплює розробку, організацію та впровадження різноманітних заходів, спрямованих на підтримання та/або покращення безпечності та якості продукції. Воно починається з моменту створення продукту і продовжується при виборі та закупівлі сировини, а також при переробці, пакуванні, дистрибуції та маркетингу.

Для органів законодавчої ланки існує потреба в стандартах, які будуть дійсними і переконливими як для споживачів, так і для промисловості. Для споживачів системи контролю харчових продуктів повинні забезпечувати суттєвий захист від реальних і серйозних небезпек. Промисловості потрібні стандарти, які б дозволяли гнучкість і ефективність у виробництві та маркетингу харчових продуктів, які обслуговуватимуть своїх клієнтів – споживачів у всьому світі [2].

Споживачі мають право висловлювати свою думку щодо процедур контролю харчових продуктів, стандартів та заходів, які уряди та промисловість використовують для того, щоб переконатися, що харчові продукти відповідають цим характеристикам. Хоча споживачі, законодавчі органи та інші особи відіграють важливу роль у забезпеченні безпечності та якості харчових продуктів, у суспільствах з вільним ринком кінцева відповідальність за інвестування фізичних та управлінських ресурсів, необхідних для здійснення належного контролю, лежить на

харчовій промисловості – галузі, яка день у день здійснює безперервний нагляд за виробництвом та переробкою харчових продуктів, від сировинних інгредієнтів до готового продукту.

Аналіз останніх досліджень. В основі всіх заходів з контролю безпеки харчових продуктів лежить встановлення стандартів безпеки, якості та маркування. Вони повинні бути встановлені в максимально широкому масштабі [3].

Стандарти повинні бути достатньо гнучкими, щоб відповідати потребам різних технологій. У той же час, органи законодавства повинні застосовувати такі засоби контролю, які забезпечать реальні і значущі переваги безпеки, а не уявні.

Промисловість несе основну відповідальність за впровадження стандартів безпеки і повинна інвестувати ресурси, такі як персонал, системи, навчання та обладнання, необхідні для впровадження стандартів на практиці.

У США та низці інших розвинених країн харчові інгредієнти, які регулюються як харчові добавки, наприклад, консерванти, емульгатори та барвники, потребують законодавчого підтвердження, перш ніж їх можна буде використовувати в харчових продуктах. Виробники таких харчових добавок повинні надати наукові дані, які демонструють, що ці речовини є безпечними. Стандарти безпеки встановлюються законами та нормативно-правовими актами і включають в себе міркування щодо різних видів токсичності, починаючи від канцерогенності та впливу на репродуктивну функцію до впливу на травлення. Якщо харчова добавка визнана безпечною, вона може використовуватися в будь-яких харчових продуктах, для яких вона схвалена [4].

Метою всіх систем забезпечення якості, що використовуються виробниками та переробниками харчових продуктів, є виробництво безпечної продукції, яка відповідає специфікаціям виробника, в тому числі вимогам, встановленим урядом. Наслідком цього є запобігання потраплянню на ринок небезпечних або неякісних продуктів. У разі збою в роботі системи повинні існувати процедури для якнайшвидшого вилучення продукції з ринку, щоб максимально захистити здоров'я споживачів і репутацію брендів, які постраждали.

Інформація, яка міститься на упаковці товару або супроводжує його в місці купівлі, є ще одним важливим засобом комунікації – маркування, тобто інформація, яка наноситься на упаковку товару або супроводжує його в місці купівлі.

Метою статті є проаналізувати нормативно-правові документи та особливості вимог на виробництві щодо безпеки харчових продуктів.

Виклад основного матеріалу. Основними принципами державної політики щодо забезпечення якості та безпечності продукції для життєдіяльності та здоров'я населення є: задоволення внутрішнього попиту в широкому асортименті продуктів та нарощування експорту; контроль за якістю та безпечністю продуктів; гарантування виробникам права на вільний вибір у сфері маркетингу та ціноутворення; сприяння розвитку інтегрованих процесів між виробниками сировини та дистриб'юторами; організація та проведення моніторингу ринку; удосконалення тарифної та цінової політики з метою захисту вітчизняних виробників; розробка національної програми розвитку галузей [5].

HACCP – це система менеджменту, яка забезпечує безпеку харчових продуктів шляхом аналізу та контролю біологічних, хімічних і фізичних небезпек протягом усього процесу виробництва харчових продуктів, від виробництва сировини та закупівлі до поводження з упаковкою, а також виробництвом, розповсюдженням і споживанням кінцевого продукту [6]. Впроваджуючи план HACCP, можливо попередньо проідентифікувати, оцінити та проконтролювати потенційні ризики

на кожному кроці. Цей систематичний підхід допомагає запобігти, усунути або зменшити небезпеки до прийнятного рівня. Регулярні перегляди та оновлення плану НАССР забезпечують його ефективність у вирішенні нових ризиків і викликів [7,8].

Стандарт ISO 22000:2005 «Системи управління безпекою харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга» («Food safety management system. Requirements for any organization in the food chain») був розроблений як стандарт з управління харчовою безпекою і мав в структурі вимоги до системи управління, аналізу ризиків, базової програми технологічних заходів [9].

Крім ISO 22000:2005, до серії стандартів ISO 22000 належать:

– ISO TS 22003 «Системи менеджменту для організацій, які здійснюють аудит і сертифікацію систем управління харчовою безпекою»;

– ISO TS 22004 «Системи менеджменту харчової безпеки: настанови із застосування ISO 22000:2005»;

– ISO 22005 «Простежуваність у виробництві харчових продуктів і кормів. Основні принципи і вимоги до розроблення і впровадження системи»;

– ISO 9001:2000 для сільськогосподарських виробників» [10].

Створення стандарту ДСТУ ISO 22000:2007 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга» значно полегшило вітчизняним виробникам роботу з впровадженням систем безпечності, оскільки він був повністю гармонізований з ISO 22000.

Оновлений стандарт ISO 22000:2018 «Системи менеджменту безпеки харчової продукції. Вимоги до організацій, які беруть участь в ланцюзі створення харчової продукції» перебуває в синхронізації структурно з ISO 9001:2015, що може спростити інтеграційні процеси систем менеджменту якості та безпеки продуктів харчування [11, 12].

Нова версія ISO 22000:2018 значно спрощує вимоги до утримання та управління документацією в організації, управлінню програмним забезпеченням та дозволяє полегшити систему за рахунок розумного зниження кількості документів і записів.

ДСТУ ISO 22000:2018 поєднує план НАССР з необхідними програмами-передумовами. Аналіз небезпечних чинників є основоположною умовою результативного та ефективного функціонування систем управління безпечністю [13].

В нашій державі на законодавчому рівні найбільш суворіші вимоги до продуктів дитячого харчування і сировини, з якої вони виготовляються [14].

На теперішній час на заміну даному стандарту впроваджено ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга».

У ньому зазначаються вимоги до системи управління безпечністю харчових продуктів у харчовому ланцюгу. Вони є загальними і призначені для впровадження широкому колу підприємств, що беруть участь у ланцюзі створення продуктів харчування, незалежно від їх масштабу і спеціалізації.

Дотримання стандартів є критично важливим аспектом успішного виробництва харчових продуктів. Впроваджуючи передовий досвід, виробники повинні гарантувати, що їхні продукти стабільно відповідають нормативним вимогам і очікуванням щодо якості [15].

Підхід на основі НАССР складається з декількох елементів:

– проведення аналізу небезпечних чинників для визначення небезпечних чинників і необхідних засобів контролю;

– визначення критичних контрольних точок;
– встановлення критичних меж для кожної контрольної точки;
– встановлення процедур моніторингу;
– встановлення процедур коригувальних дій;
– встановлення процедур верифікації для забезпечення того, що коригувальні заходи були вжиті;
– встановлення відповідних процедур документування для забезпечення того, щоб система контролю.

Навчання є важливим елементом HACCP та всіх операцій, пов'язаних з виробництвом безпечних та якісних харчових продуктів. Усі, хто зайнятий у виробництві харчових продуктів, повинні бути ретельно навчені своїм обов'язкам для досягнення цього результату [16].

Аналогічно, контроль постачальників і дистриб'юторів є важливим для виробництва і збуту безпечних, високоякісних продуктів харчування. Виробники повинні переконатися, що постачальники їхніх інгредієнтів відповідають суворим специфікаціям. Це досягається шляхом укладання контрактів, перевірки за допомогою потужної системи тестування і, в багатьох випадках, інспекцій постачальників на місцях.

Ефективне навчання правилам гігієни має важливе значення. Співробітники повинні навчитися правильно мити руки, навчитися важливості носіння одноразових рукавичок та бахіл, а також необхідності уникати дій, які можуть призвести до зараження харчових продуктів, таких як наприклад, куріння або їжа у виробничих приміщеннях [17].

Неналежна санітарна обробка приміщень для приготування та обробки їжі може перетворити їх на осередок небезпеки. Щоб запобігти цьому, необхідно дотримуватись:
– суворих санітарних протоколів для очищення обладнання, поверхонь і виробничих приміщень;
– використовувати безпечні засоби для чищення;
– дотримуватись ретельного промивання від залишків миючих засобів;
– встановити графіки прибирання;
– задокументувати заходи з прибирання;
– забезпечення регулярного та ретельного очищення допомагає запобігти накопиченню забруднень, забезпечуючи гігієнічно чисте виробниче середовище.

Важливим процесом контролю безпеки є перевірка постачальника та контроль якості за допомогою аудитів, сертифікації та випробувань.

Окремою загрозою на підприємстві харчової галузі є перехресне зараження, яке відбувається, коли шкідливі бактерії або алергени переносяться з однієї поверхні або харчового продукту на іншу, що потенційно може призвести до хвороб або алергічних реакцій харчового походження. Ефективні заходи профілактики включають дотримання протоколів прибирання та санітарії, розділення продуктів з термообробкою та без, і належне зберігання інгредієнтів [16].

Суворий контроль температури необхідний для запобігання росту патогенів протягом усього процесу виробництва. Це включає в себе зберігання в холодильних умовах швидкопсувних інгредієнтів і готової продукції. Для цього потрібно забезпечувати регулярне калібрування термометрів та інших приладів для контролю температури, щоб забезпечити точність виміру. Ведення постійного журналу температури може допомогти виявити будь-які відхилення та швидко провести коригувальні заходи.

Важливими є процедури відстеження та відкликання, тобто необхідно створити системи для відстеження продукту у всьому харчовому ланцюжку, забезпечуючи швидку ідентифікацію та відкликання у разі забруднення або загрозу безпеці. При цьому варто проводити детальний облік усіх вироблених партій та каналів їх розподілу. У разі відкликання ефективна система відстеження може значно зменшити наслідки та захистити споживачів [18].

Контроль якості виконують за допомогою органолептичного, фізико-хімічного, інструментального, мікробіологічного груп методів.

Органолептичні методи виконуються за допомогою сенсорних відчуттів людини, найчастіше описуючи зовнішній вигляд, консистенція, смак, запах, структура тощо.

Інструментальні методи здійснюють за допомогою приладів, лабораторного посуду, хімічних реактивів, отримуючи результат в конкретних величинах.

Фізичні і фізико-хімічні методи використовують для визначення фізичних властивостей і хімічного складу продуктів та матеріалів, які використовують у виробництві.

Мікробіологічні методи використовують для визначення кількості колоніє-утворюючих одиниць притаманної продукту мікрофлори, патогенної або умовно-патогенної. Також ці методи важливі при виявленні в досліджуваних зразках мікроорганізмів, наявність яких може спричинити швидке псування продукту або харчові отруєння. Крім того, дані методи допомагають встановити терміни зберігання продуктів харчування.

Комбінування різних груп методів дозволяє здійснити оперативний контроль показників на різних етапах технологічного процесу і спрямовано регулювати показники якості продукту.

Висновки. Важливим складником якості продукції харчового призначення є її безпечність. Управління безпечністю певної продукції (як складника безпечності харчових продуктів) правомірно вважають невід'ємним елементом системи управління якістю. Небезпечна для здоров'я людини продукція апріорі не може вважатися якісною.

Нині на національному та міжнародному рівнях обговорюється низка питань контролю харчових продуктів, наприклад, щодо патогенних мікроорганізмів, алергенів, генетично модифікованих харчових продуктів, забруднювачів (включаючи пестициди).

В сучасних умовах спостерігається тенденція активної участі споживачів в процесі контролю безпечності продуктів через їх участь у процесі встановлення стандартів та обговорення науково-технічних питань, що визначають і представники промисловості.

Стандарти серії ISO 22000 ґрунтуються на дотриманні вимог до виробництва, аналізу технологічних процесів із метою виявлення можливих небезпек харчових продуктів і визначенні запобіжних заходів, з метою усунення чи зниження цих небезпек до прийнятного рівня.

Запобігання низькому рівню безпеки харчових продуктів передбачає застосування комплексного підходу, який включає належне поводження з сировиною та її зберігання, приготування продукту з дотриманням санітарно-гігієнічних правил, правил-передумов та плану НАССР, дотримання задокументованих умов зберігання готової продукції та її транспортування до торгівельної мережі на реалізацію.

Контроль харчової продукції здійснюють за допомогою органолептичної, фізико-хімічної, мікробіологічної та інструментальної (вимірювальної) групи методів, які застосовують як базовий безпосередній засіб, за допомогою якого можна дати об'єктивну оцінку якості продуктів харчування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Визнані стандарти в сфері безпеки. Вебсайт Спілки підприємців СТІНА. URL: https://stina.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/Vyznani-standarty-harchovoyi-bezpeky.pdf (дата звернення 08.09.2024).

2. Мельник С.Р, Мельник Ю.Р, Дзіняк Б.О, Оробчук О.М. Сучасні концепції управління якістю та безпечністю харчових продуктів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету: Технічні науки.* 2022. № 32. С. 89–99. DOI: https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-32-12.

3. Слива Ю.В. Наукові основи концепції управління безпечністю харчових продуктів згідно з вимогами міжнародних стандартів. *Товарознавчий вісник.* 2021. № 14. С. 95–105. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-10.

4. Скоренька А.В. Проблеми впровадження стандартів європейського союзу у сфері управління безпечністю та окремих показників якості харчових продуктів. *Часопис Академії адвокатури України*. 2015. № 3(28). С. 86–89.

5. ДСТУ ISO 22000:2007 «Системи керування безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000: 2005, IDT)». Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 40 с.

6. Мельник Ю.Ф., Новиков В.М. Основи управління безпечністю харчових продуктів : навчальний посібник. Київ : Видавництво Союзу споживачів України, 2007. 297 с.

7. Димань Т.М., Мазур Т.Г. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів : підручник. Київ : Академія, 2011. 520 с.

8. Богомолов О.В., Шаповаленко О.І., Сафонова О.М. Управління якістю переробних і харчових виробництв : навчальний посібник. Харків : Еспада, 2006. 296 с.

9. Кривощоков В.І., Друян В.М. Управління якістю та системи управління : навчальний посібник. Донецьк : Норд-Прес, 2004. 350 с.

10. Кричковська Л.В., Бєлінська А.П., Анан'єва В.В. Безпека харчових продуктів: антиаліментарні фактори, ксенобіотики, харчові добавки : навчальний посібник. Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2017. 98 с.

11. ДСТУ ISO 22000:2018 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга». Київ : Держспоживстандарт України, 2018. 50 с.

12. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга. Київ : Держспоживстандарт України, 2019. 30 с.

13. Gardner S. Consumers and food safety: A food industry perspective. Website Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/4/v2890t/v2890t05.htm (дата звернення 16.09.2024).

14. Best Practices for Maintaining Food Safety Standards. Website MenuSanto. URL: https://www.menusano.com/best-practices-for-maintaining-food-safety-standards/ (дата звернення 16.09.2024).

15. Control Quality, Control Costs: The Benefits of Implementing a Food Quality Control System. Website rmoni. URL: https://www.rmoni.com/blog/food-quality-control-system-benefits (дата звернення 16.09.2024).

16. Пазізіна С., Пазізіна К. Гармонізація українських стандартів якості з європейськими як механізм підвищення конкурентоспроможності продукції агропромислового комплексу. *Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє.* 2014. № 19(1). С. 108-114.

17. Белінська С., Орлова Н., Мотузка Ю. Концептуальні засади гарантій безпечності харчових продуктів. *Товари і ринки*. 2011. № 1. С. 176–182.

18. Ткаченко А., Басова Ю., Горячова О., Катеренчук Н. Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів : практичний посібник. Полтава : Полтавський університет економіки і торгівлі, 2020. 137 с.

REFERENCES:

1. Vyznani standarty v sferi bezpeky. Spilka pidpryiemtsiv. [Recognized security standards. Union of entrepreneurs]. *Vebsait Spilky pidpryiemtsiv STINA – Website of STINA Entrepreneurs Union.* Retrieved from: https://stina.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/Vyznani-standarty-harchovoyi-bezpeky.pdf [In Ukranian].

2. Melnyk, S.R., Melnyk, Yu.R., Dziniak, B.O. & Orobchuk, O.M. (2022). Suchasni kontseptsii upravlinnia yakistiu ta bezpechnistiu kharchovykh produktiv. [Modern concepts of food quality and safety management]. *Visnyk LTEU: Tekhnichni nauky – Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical sciences, 32*, 89–99. DOI: https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-32-12 [In Ukranian].

3. Slyva, Yu.V. (2021). Naukovi osnovy kontseptsii upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv zghidno z vymohamy mizhnarodnykh standartiv [Scientific basis of the concept of food safety management in accordance with the requirements of international standards]. *Tovaroznavchyi visnyk – Commodity Bulletin*, *14*, 95–105. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-10 [In Ukranian].

4. Skorenka, A.V. (2015). Problemy vprovadzhennia standartiv yevropeiskoho soiuzu u sferi upravlinnia bezpechnistiu ta okremykh pokaznykiv yakosti kharchovykh produktiv. [Problems of implementing EU standards in the field of safety management and certain food quality indicators]. *Chasopys Akademii advokatury Ukrainy – Journal of the Academy of Advocacy of Ukraine, 3(28)*, 86–89. [In Ukranian].

5. *DSTU ISO 22000:2007 Systemy keruvannia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud-yakykh orhanizatsii kharchovoho lantsiuha (ISO 22000: 2005, IDT) [Food safety management systems. Requirements for any food chain organization]*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [In Ukranian].

6. Melnyk, Yu.F. & Novykov, V.M. (2007). *Osnovy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv [Fundamentals of food safety management]*. Kyiv: Vydavnytstvo Soiuzu spozhyvachiv Ukrainy [In Ukranian].

7. Dyman, T.M. & Mazur, T.H. (2011). *Bezpeka prodovolchoi syrovyny i kharchovykh produktiv [Safety of food raw materials and food products]*. Kyiv: Akademiia [In Ukranian].

8. Bohomolov, O.V., Shapovalenko, O.I. & Safonova, O.M. (2006). *Upravlinnia yakistiu pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv [Quality management of processing and food production]*. Kharkiv: Espada [In Ukranian].

9. Kryvoshchokov, V.I. & Druian, V.M. (2004). *Upravlinnia yakistiu ta systemy upravlinnia [Quality management and management systems]*. Donetsk: Nord-Pres [In Ukranian].

10. Krychkovska, L.V., Bielinska, A.P. & Ananieva, V.V. (2017). *Bezpeka kharchovykh produktiv: antyalimentarni faktory, ksenobiotyky, kharchovi dobavky [Food safety: anti-nutritional factors, xenobiotics, food additives]*. Kharkiv: Natsionalnyi tekhnichnyi universytet «Kharkivskyi politekhnichnyi instytut» [In Ukranian].

11. *DSTU ISO 22000:2018 Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud-yakykh orhanizatsii kharchovoho lantsiuhab [Food safety management systems. Requirements for any food chain organization]*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [In Ukranian].

12. *DSTU ISO 22000:2019. Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud-yakykh orhanizatsii kharchovoho lantsiuha [Food safety management systems. Requirements for any food chain organization]*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [In Ukranian].

13. Consumers and food safety: A food industry perspective. Website Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from: https://www.fao.org/4/v2890t/v2890t05.htm [In English].

14. Best Practices for Maintaining Food Safety Standards. Website MenuSanto Retrieved from: https://www.menusano.com/best-practices-for-maintaining-food-safety-standards/ [In English].

15. Control Quality, Control Costs: The Benefits of Implementing a Food Quality Control System. Website rmoni. Retrieved from: https://www.rmoni.com/blog/food-quality-control-system-benefits [In English].

16. Pazizina, S. & Pazizina, K. (2014). Harmonizatsiia ukrainskykh standartiv yakosti z yevropeiskymy yak mekhanizm pidvyshchennia konkurentospromozhnosti produktsii ahropromyslovoho kompleksu [Harmonization of Ukrainian quality standards with European ones as a mechanism for increasing the competitiveness of agricultural products]. *Ukrainska nauka: mynule, suchasne, maibutnie – Ukrainian science: past, present, future. 19(1)*, 108–114. [In Ukranian].

17. Belinska, S., Orlova, N. & Motuzka, Yu. (2011). Kontseptualni zasady harantii bezpechnosti kharchovykh produktiv [Conceptual framework of food safety guarantees]. *Tovary i rynky – Products and markets, 1,* 176–182. [In Ukranian].

18. Tkachenko, A.S., Basova, Yu.O., Horiachova, O.O. & et.al. (2020). *Vprovadzhennia systemy NASSR dlia operatoriv rynku kharchovykh produktiv [Implementation of the HACCP system for food market operators]*. Poltava: Poltavskyi universytet ekonomiky i torhivli [In Ukranian].

УДК 664.849:664.144
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.26

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗЕФІРУ НА ОСНОВІ РОСЛИННОГО ПІНОУТВОРЮВАЧА

Паламарек К. В. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, готельно-ресторанного і туристичного сервісу Чернівецького торговельно-економічного інституту Державного торговельно-економічного університету*
ORCID ID: 0000-0003-4138-404X

Вдовічена О. Г. *– магістр кафедри харчових технологій, готельно-ресторанного і туристичного сервісу Чернівецького торговельно-економічного інституту Державного торговельно-економічного університету*
ORCID ID: 0000-0003-0768-5519

Інноваційні тренди ресторанного господарства визначаються потребами споживачів обирати продукти, які відповідають вимогам HACCP, якості та здоров'я. В останні роки набуває популярності веганське харчування. Збільшується кількість людей, які виключають із раціону продукти тваринного походження і надають перевагу рослинним аналогам. Розробляються рослинні замінники м'яса, молока. Особлива увага приділена розробленню рослинних аналогів яєчної продукції (яєць, меланжу), які за текстурою та смаком відповідали б традиційним харчовим продуктам. Методика проведення досліджень ґрунтувалась на застосуванні системного аналізу різноманітних рослинних піноутворювачів (лецитин, кіноа, ксантанова камедь, кокосове молоко, аквафаба, сапоніни). Застосовано дослідження піноутворюючої здатності, стійкості піни, органолептичних показників з метою наукового обґрунтування та практичного застосування методів конструювання харчової продукції з урахуванням світових тенденцій. У статті представлено огляд складу аквафаби, функціональних властивостей, можливостей і проблем, пов'язаних із використанням аквафаби в харчових рецептах. На основі узагальнених літературних джерел сформовано технологію отримання аквафаби. Проведено порівняння піноутворюючої здатності яєчного білка та аквафаби. Досліджено стійкість піни та визначено вплив на пінну структуру таких інгредієнтів як винний камінь, лимонна кислота та сіль. Визначено фруктово-ягідну сировину, яка покращує органолептичні показники зефіру з використанням аквафаби. Розроблено технологію приготування зефіру на основі рослинного піноутворювача. Сенсорні показники розроблених виробів наведені на профілограмі якості. На основі проведеного аналізу та вивчення інноваційних технологій використання аквафаби розроблено зефір з використанням рослинного піноутворювача, який дозволить розширити асортимент продукції для веганів, людей які мають алергію на яйця та турбуються про сталий розвиток. Розвиток кондитерських виробів з використанням рослинної сировини потребує постійного вдосконалення. В подальших дослідженнях варто розширити асортимент продукції з використанням аквафаби.

Ключові слова: *інновації, веганство, рослинний піноутворювач, аквафаба, зефір.*

Palamarek K. V., Vdovichena O. H. Innovative zephyr technologies based on vegetable foaming form

Innovative trends in the restaurant industry are determined by the needs of consumers to choose products that meet the requirements of HACCP, quality and health. In recent years, vegan food has become popular. The number of people who exclude products of animal origin from their diet and prefer vegetable analogues is increasing. Vegetable substitutes for meat and milk are being developed. Special attention is paid to the development of vegetable analogues of egg products (eggs, melange), which would correspond to traditional food products in terms of texture and taste. The research methodology was based on the application of a systematic analysis of various plant foaming agents (lecithin, quinoa, xanthan gum, coconut milk, aquafaba,

saponins). The study of foaming ability, foam stability, organoleptic indicators was applied for the purpose of scientific substantiation and practical application of methods of designing food products taking into account world trends. The article presents an overview of the composition of aquafaba, functional properties, opportunities and problems associated with the use of aquafaba in food recipes. On the basis of generalized literary sources, the technology of obtaining aquafaba was formed. The foaming ability of egg white and aquafaba was compared. The stability of the foam was studied and the influence of such ingredients as tartaric acid, citric acid and salt on the foam structure was determined. The fruit and berry raw materials that improve the organoleptic indicators of marshmallows with the use of aquafaba have been determined. A technology for making marshmallows based on a vegetable foaming agent has been developed. Sensory indicators of the developed products are shown on the quality profile. Based on the analysis and study of innovative technologies for the use of aquafaba, a marshmallow with the use of a vegetable foaming agent was developed, which will allow expanding the range of products for vegans, people who are allergic to eggs and are concerned about sustainable development. The development of confectionery products using vegetable raw materials requires constant improvement. In further research, it is worth expanding the range of products using aquafaba.

Key words: *innovation, veganism, vegetable foaming agent, aquafaba, marshmallow.*

Постановка проблеми. З кожним роком по всьому світу зростає популярність веганства. Проведене у 2022 році дослідження Ipsos показало, що 46% споживачів у віці 16-75 років розглядають можливість скоротити споживання продуктів тваринного походження в майбутньому [1]. У 2023 році, згідно зі звітом «Miculous Research», 2,6 мільйона людей у Європі тепер є веганами, що становить 3,2% населення. За даними Smart Protein Project кількість споживання веганської продукції зросла на 17…25% в різних країнах [2]. В Україні близько 2 мільйонів вегетаріанців і веганів [3]. Основними причинами є такі фактори, як екологічна свідомість, етичні міркування, здоров'я, економічна доступність, вплив соціальних мереж та інфлюенсерів.

Існує значна кількість досліджень, що показують зв'язок між зменшенням споживання продуктів тваринного походження і поліпшенням здоров'я: зменшення ризику серцево-судинних захворювань, діабету, гіпертонії та деяких видів раку. Міністерство охорони здоров'я України визнало, що веганство є здоровим, забезпечує організм поживними речовинами та може принести користь здоров'ю для профілактики та лікування певних захворювань [4]. Відповідно до світових досліджень, заміна лише 10% продукції тваринного походження рослинним білком дозволить знизити ризик раку молочної залози на 32%, ризик деменції на 25%, загальний ризик смертності на 10%.

Останні роки багаті на інновації у сфері веганської продукції. Значну увагу приділено розробленню м'ясних продуктів рослинного походження. The Good Food Institute повідомив, що світові роздрібні продажі м'ясних продуктів рослинного походження становили 6,1 мільярда $ за рік.

Зростає попит на екологічно чисті та рослинні реологічні добавки (піноутворювачі, емульгатори, гелеутворювачі та загусники тощо) для заміни яєць і молочних продуктів. Збільшується споживання рослинного молока та інших альтернатив молочних продуктів. Заміна яєць все ще є проблемою серед продуктів рослинного походження через високий вміст білка та кулінарні властивості, такі як здатність до емульгування, коагуляції, згущення та спінювання. Ніша, яка розвивається – це розроблення технологій із заміною яєчної продукції (яєць, меланжу), які за текстурою та смаком відповідали б традиційнім харчовим продуктам.

За результатами опитування респондентів та проведеним аналізом асортиментного складу веганської продукції перспективним є розроблення збивних кондитерських виробів. До групи таких виробів відносять зефіри, які готуються з фруктового пюре (яблучне, грушеве, персикове, абрикосове, смородинове тощо), цукру, агару та яєчних білків.

Інгредієнти, які використовуються для створення піни або стабілізаційних пінних структур і дозволяють замінити яєчні білки – це рослинні піноутворювачі. Дослідження рослинних піноутворювачів дозволить проаналізувати їх технологічні, структурно-механічні властивості та обрати оптимальний варіант заміни яєчних білків в технологічному процесі виготовлення зефіру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження рослинних піноутворювачів наведено в наукових працях вчених України та світу.

До рослинних піноутворювачів відноситься лецитин, кіноа, ксантанова камедь, кокосове молоко, аквафаба, сапоніни.

Для приготування пінних структур, мусів і емульсій використовують лецитин. Лецитин зазвичай отримують із соєвих бобів як побічний продукт виробництва рослинної олії на основі сої. Лецитин екстрагують із очищених варених соєвих бобів шляхом подрібнення бобів і подальшого механічного відділення (шляхом екстракції, фільтрації та промивання) сирого лецитину. Потім неочищений лецитин ферментативно модифікують. Більшість комерційного лецитину видобувається з соєвих бобів, що робить його придатним як для вегетаріанців, так і для веганів. Лецитин містить як гідрофобні, так і гідрофільні групи, тому його також можна використовувати для виготовлення емульсій. Mabel C. Tomás досліджує особливості отримання та використання лецитину з сої, ріпаку та соняшнику [7]. Фосфоліпідний склад лецитинів, отриманих із кількох природних джерел та застосування їх при приготуванні продуктів харчування досліджено Maria J. Alhajj, Nicolle Montero, Cristhian J. Yarce, Constain H. Salamanca [8].

Ксантанова камедь не створює піну, але використовується в технології десертів, оздоблювальних напівфабрикатів для стабілізації та підтримки вже утвореної пінної структури. Науковці S.I. Laneuville, P. Paquin, S.L. Turgeon досліджували вплив використання ксантанової камеді на структуру, стабільність та реологічні характеристики багатьох харчових систем [9].

Соєвий білок, продукти переробки сої використовуються як піноутворювачі та стабілізатори в рецептурах кремів, соусів, десертної продукції. Mykhalevych Artur, Polishchuk Galyna, Buniowska-Olejnik Magdalena, Tomczynska-Mleko Marta, Mleko Stanislaw провели дослідження ізолятів соєвого білка [6].

В роботі Т.Т. Носенко наведено одержання білкового ізоляту із соняшникового шроту за допомогою протеолітичного ферменту [10].

Важливим показником тривалості життя науковці вважають споживання бобових – квасолі, нуту, гороху та сочевиці. А рідина з консервованого або вареного нуту (або інших бобових) має гарні піноутворювальня властивості.

Науковці Yue He, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney, Rana Mustafa представили огляд складу аквафаби, функціональних властивостей, можливостей і проблем, пов'язаних із використанням аквафаби. Хімічні та функціональні властивості ізоляту та концентрату білка нуту описані в роботах Boye; Du Jiang, Yu, & Jane; Xu, Thomas, & Bhardwaj [11]. Потенціал аквафаби розглянуто в статті Stasiak Joanna [12]: досліджено піноутворюючу здатність, стабільність піни та розроблено технологію меренги та мусу. Гораш О.А., Грицайова А.О., Кохан О.О. дослідили можливість використання аквафаби в технології пастили. Лазарєва Т.А., Благий О.С. розглянули поживну цінність та структурно-механічні властивості аквафаби з льону [13].

Оскільки аквафаба є дешевою та легкодоступною вона стала новою рослинною альтернативою замінникам яєць у виробництві різних харчових продуктів, таких як безе, мус, макарони, майонез і збиті вершки. Використання аквафаби в харчових продуктах дозволяє задовольнити потреби та попит споживачів, які

мають алергію на яйця, високий рівень холестерину та різні харчові вподобання (веганські та лакто-вегетаріанські) або релігійні переконання.

Формулювання цілей статті. Враховуючи тенденції до здорового харчування, зменшення алергенів в харчовій продукції, перехід на вегетаріанське харчування, релігійні заборони, сталий розвиток все більш актуальним є використання натуральної рослинної сировини. Враховуючі вищенаведені фактори доцільним є дослідження органолептичних, структурно-механічних властивостей рослинного піноутворювача аквафаби та розроблення інноваційних технологій зефіру на основі рослинного піноутворювача.

Аргументування актуальності поставленого завдання. Бобові можуть відігравати вирішальну роль у заміні тваринного білка в раціоні. Нут (Cicer arietinum L.) є другим найбільш споживаним продуктом із бобових культур у світі. Світове виробництво нуту зростає з кожним роком. Урожай бобових культур в Україні за 2023 рік становить ≅400 тис.т. [14].

Останні дослідження показують, що в'язка рідина (аквафаба), яку можна злити з консервованого або вареного нуту, утворює стійкі піни, емульсії та гелі. Аквафабу можливо використовувати як веганську реологічну добавку в технології харчових продуктів, включаючи меренги, муст, збиті вершки, морозиво, коктейлі тощо. Аквафаба складається з води (92–95%) і сухої речовини (5–8%), яка включає вуглеводи (цукри, клітковину), білки (0,95–1,5%), сапоніни тощо.

За даними аналітичного огляду літератури з таких баз даних як Scopus, Web of Science, Pubmed, Google Scholar визначено та узагальнено параметри отримання аквафаби з високими показниками якості. Дані використано для підготовки нуту та використання отриманої рідини в подальших дослідженнях.

Обробка нуту складається основних етапів:

1. Замочування нуту протягом 8–10 годин при 4 °С у співвідношенні нут:вода – 1:4.

2.1 Варіння у воді до готовності у співвідношенні нут:вода – 2:3. При подовженні часу варіння з 50 до 90 хвилин збільшується щільність розчину, що є позитивним показником для використання аквафаби в якості рослинного піноутворювача.

2.2. Охолодження.

Відварений нут можна використовувати одразу при приготуванні страв або провести вакуумування та заморозити. Залишки води є потенційним джерелом аквафаби.

Схема отримання аквафаби наведена на рис. 1.

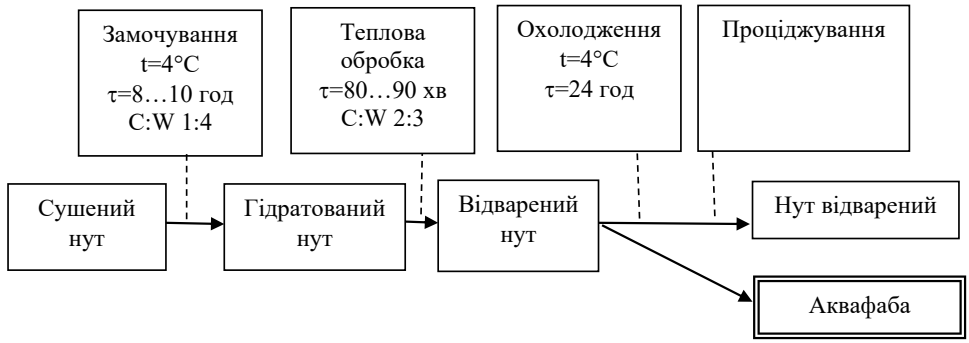


Рис. 1. Схема виробництва аквафаби з нуту

Отримана аквафаба не має сторонніх запахів та присмаків. Органолептичні показники притаманні даному продукту. Колір отриманої рідини – світло-коричневий. Щільність яєчного білка при температурі 20ºС становить 1,045 г/см^3, а отриманого розчину аквафаби – 1,020 г/см^3.

Виклад основного матеріалу. Порівняно з яєчним білком, який містить ≅ 11 г білка, аквафаба з нуту містить майже в 2 рази меншу кількість білка – 6 г. Окрім кількості білка, ще один важливий момент щодо різниці між білками в нуті та яйцях стосується їх хімічного складу, оскільки поглинання води білками сприяє гелеутворенню. Яєчні білки ≅ на 55% складаються з водорозчинних білків, у нуті їх ≅ 12%. Піна, яку утворюють яйця, складається здебільшого з овальбуміну, водорозчинного білка. Характерні особливості білків нуту можуть негативно впливати на його технологічні параметри.

При виготовленні зефіру і заміні яєчного білка рослинним піноутворювачем важливими показниками є вивчення піноутворювальної здатності аквафаби, стійкості піни, особливостей введення цуру в процесі збивання. Досліджено кінетику пінутворення яєчного білка та аквафаби з нуту (рис. 2).

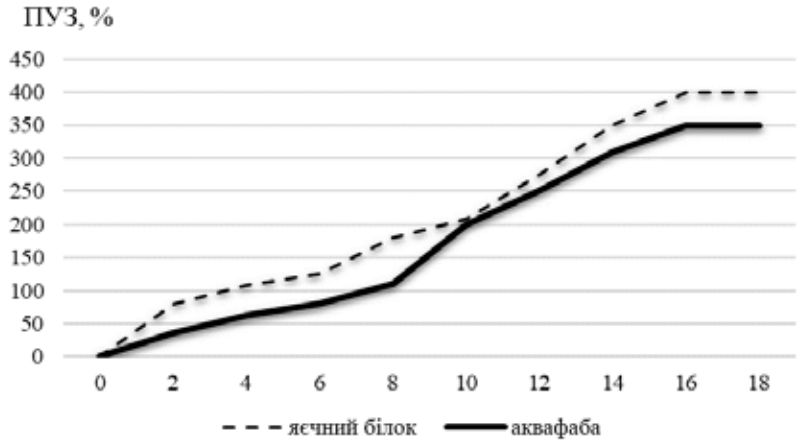


Рис. 2. Піноутворююча здатність яєчного білка та аквафаби

Для покращення піноутворюючої здатності та стійкості піни додавали лимонну кислоту, винний камінь та сіль в різних концентраціях до контрольного та дослідного зразків (табл. 1).

Таблиця 1

Концентрація добавок для покращення пінної структури аквафаби

Зразки	Винний камінь	Сіль	Лимонна кислота
1	1%	0,1%	0,1%
2	3%	0,3%	0,3%
3	5%	0,5%	0,5%

Винний камінь був доданий, оскільки наведені в літературних джерелах дослідження науковців [11,12] згадували про його здатність покращувати стабільність піни. Результати експериментальних досліджень показали, що найкраща

стабільність піни виявлена у зразків з додаванням винного каміння 3%. Додавання лимонної кислоти у кількості 0,3% і 0,5% забезпечувало більшу стабільність, ніж контрольний зразок аквафаби, оскільки збільшує дисульфідні зв'язки, створюючи зв'язок між білкми. При цьому додавання лимонної кислоти в кількості 0,5% робить продукт кислим і погіршує органолептичні показники. Сіль як добавка в різних концентраціях не показала статистичних відмінностей порівняно з контролем. Додавання солі не суттєво покращує стабільність пінної структури аквафаби, а в кількості 0,5% показники погіршуються (рис. 3).

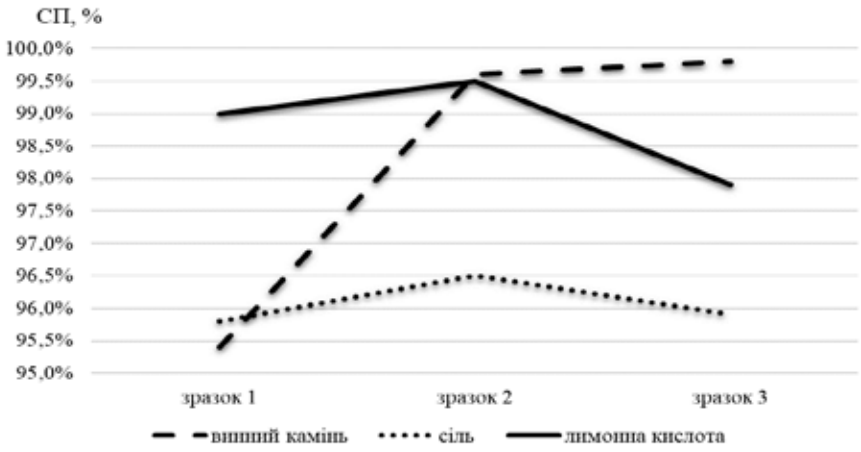


Рис. 3. Стабільність піни аквафаби при різних добавках і концентраціях

Використання натуральної аквафаби показало 82,7% стабільності піни. При використанні лимонної кислоти та винного каменю стабільність піни покращується і варіюється від 95 до 99%. Піна мала стійку консистенцію, однорідний зовнішній вигляд. Використання солі призводить до зниження в'язкості, меншої стійкості піни, вищої вологи продукції. Досліджено кінетику стійкості піни яєчного білка (зразок 1), аквафаби з нуту (зразок 2) та акфабаби з лимонною кислотою (0,1%) та винним каменем (3%) (зразок 3) (рис. 4).

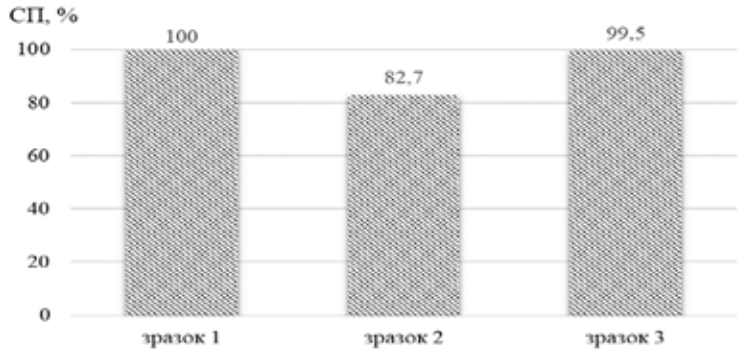


Рис. 4. Стійкість піни яєчного білка та аквафаби

З метою покращення органолептичних показників дослідного зразку на аквафабі, а саме кольору було досліджено сировину з високим вмістом пектину. Проаналізовано поживну цінність малини, чорної смородини, абрикосів, журавлини. Дослідили вміст харчових волокон у фруктах та ягодах (рис. 5).

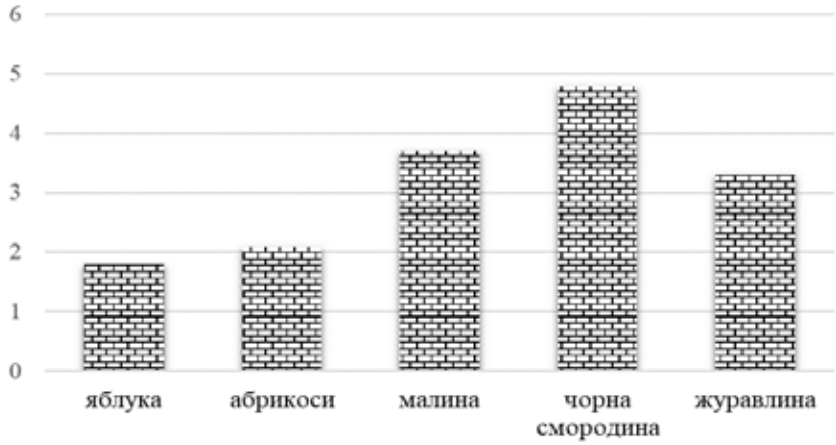


Рис. 5. Вміст харчових волокон

За результатами пропрацювань в рецептурі зефіру замість частки яблук використано чорну смородину у співвідношенні 2:1.

При приготуванні зефіру використано агар – рослинний драглеутворювачів, який отримують з водоростей. Агар використовують, щоб зв'язати воду, яка міститься у фруктово-ягідному пюре та аквафабі. Агар-агар буває різних форм: порошок, пластівці, нитки і навіть бруски. Найлегше працювати з порошком агару, оскільки він розчиняється в рідині практично миттєво. Тоді як пластівці та нитки агару перед кип'ятінням потрібно замочити у воді. Крім того, різні марки агар-агару мають різну силу. Для досліджень використано агар-агар міцністю 700-900 г/см^2.

Цукор – сухий та основний інгредієнт, який сприяє утворенню каркаса зефіру. При порушенні пропорцій, зменшенні кількості цукру, збільшенні води отриманий виріб буде мати підвищену вологість.

Було досліджено температуру при якій найкраще формувати зефір. При температурі нижче 40ºС суміш застигає і формування виробів погіршується. При температурі вище 50ºС відбувається розтікання сформованих напівфабрикатів, спостерігається відсутність чіткого рельєфу. Оптимальною температурою формування зефіру є 45…50ºС

Розроблено технологію приготування зефіру з використанням рослинного піноутворювача – аквафаби (рис. 6).

Органолептичні показники розробленого зефіру характеризуються високими показниками і наближаються до контролю (рис. 7).

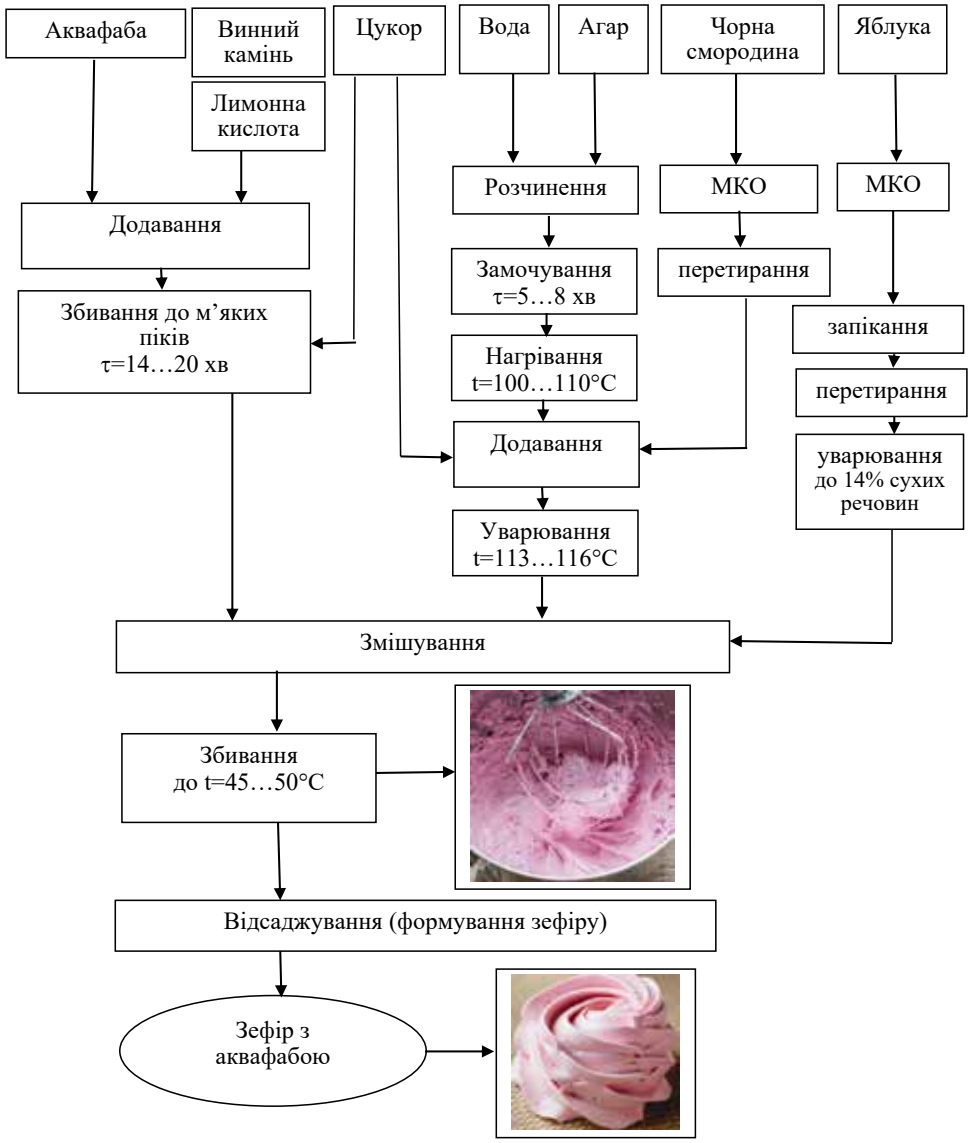


Рис. 6. Технологічна схема приготування зефіру з використанням рослинного піноутворювача



Рис. 7. Органолептичні показники зефіру з аквафабою

Висновки. Розробляється все більше вегетаріанських продуктів, які імітують властивості м'яса, молока та яєць. Серед білків тваринного походження білки яєчного білка широко використовуються завдяки їхнім функціональним властивостям, таким як утворення піни, емульгування та стабілізація. Однак яєчні білки тісно пов'язані з харчовою алергією. Алергії на яйця, підвищення обізнаності про здоров'я, а також збільшення частки веганів збільшують інтерес до білків рослинного походження, головним чином сої, гороху та нуту, як можливих продуктів на заміну білків тваринного походження. Функціональні властивості бобових є важливими для їх поточного використання в харчових продуктах, і їх властивості досліджуються при розробці замінників тваринного білка. Дослідження аквафаби, як перспективного рослинного піноутворювача дозволяє розширити асортимент харчової продукції. Розроблений зефір з аквафабою з нуту має високі органолептичні показники і може бути рекомендований до впровадження в закладах ресторанного господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ipsos Global Website URL:https://www.ipsos.digital/ (Дата звернення 10.10.2024)

2. Overall report: Evolving appetites: an in-depth look at European attitudes towards plant-based eating. A follow-up to the 2021 survey report, What Consumers Want. 2023 URL: https://smartproteinproject.eu (Дата звернення 10.10.2024)

3. Український тренд на веганство URL: https://vegofwa.org/2022/03/08/ukrainian-trend-toward-vegan/ (Дата звернення 10.10.2024)

4. Чи здорове веганство? Висновки провідних організацій охорони здоров'я URL:https://www.veganexpress.org/post/chy-zdorove-vehanstvo (Дата звернення 10.10.2024)

5. The Vegan Society URL: https://www.vegansociety.com/news/media/statistics/worldwide (Дата звернення 10.10.2024)

6. Functional and technological properties of protein ingredients in whey ice cream / A. Mykhalevych, G. Polishchuk, M. Buniowska-Olejnik, M. Tomczyńska-Mleko, S. Mleko. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2022. Vol. 10. Iss. 2. Pp. 125–135

7. Nieuwenhuyzen, Willem & Tomás, Mabel. Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2018. Vol.110. Pp. 472 – 486.

8. Lecithins from Vegetable, Land, and Marine Animal Sources and Their Potential Applications for Cosmetic, Food, and Pharmaceutical Sectors / Maria J. Alhajj, Nicolle Montero, Cristhian J. Yarce, Constain H. Salamanca URL:https://www.mdpi.com/2079-9284/7/4/87# (Дата звернення 10.10.2024)

9. S.I. Laneuville, P. Paquin, S.L. Turgeon Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein–xanthan gum complexes. *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 14. Iss. 4 URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X00000035. (Дата звернення 10.10.2024)

10. Носенко Т.Т. Одержання білкового ізоляту із соняшникового шроту за допомогою протеолітичного ферменту URL:https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b5cca073-242a-418b-9b5b-00156b4f5dc4/content (Дата звернення 10.10.2024)

11. Yue He, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney, Rana Mustafa Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 111. Pp. 27-42. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001424 (Дата звернення 10.10.2024)

12. Stasiak, Joanna & Stasiak, Dariusz & Libera, Justyna. The Potential of Aquafaba as a Structure-Shaping Additive in Plant-Derived Food Technology. *Applied Sciences.* 2023. Vol.13. Pp. 86-110

13. Лазарєва Т.А., Благий О.С. Перспективи використання аквафаби з льону URL:http://repo.uipa.edu.ua/jspui/bitstream/ (Дата звернення 10.10.2024)

14. Нут: альтернатива м'ясу та рентабельність виробництва URL:https://agroportal.ua/agrocheck/rozvinchuyemo-mifi/nut-alternativa-m-yasu-ta-rentabelnist-virobnictva (Дата звернення 10.10.2024)

15. Evaluation of Changes in Protein Quality of High-Pressure Treated Aqueous Aquafaba / Fatemah B. Alsalman, Hosahalli S. Ramaswamy URL: https://www.mdpi.com/1420-3049/26/1/234 (Дата звернення 10.10.2024)

REFERENCES:

1. Ipsos Global Website. Retrieved from: https://www.ipsos.digital/ (Accessed 10 October 2024) (in English).

2. Overall report: Evolving appetites: an in-depth look at European attitudes towards plant-based eating. A follow-up to the 2021 survey report, 'What Consumers Want' (2023) Retrieved from: https://smartproteinproject.eu (Accessed 10 October 2024) (in English).

3. Nut: alternatyva miasu ta rentabelnist vyrobnytstva [Ukrainian trend towards veganism]. Retrieved from: https://vegofwa.org/2022/03/08/ukrainian-trend-toward-vegan/ (Accessed 10 October 2024) (in Ukrainian).

4. Chy zdorove vehanstvo? Vysnovky providnykh orhanizatsii okhorony zdorovia [Is veganism healthy? Conclusions of leading health care organizations]. Retrieved from: https://www.veganexpress.org/post/chy-zdorove-vehanstvo (Accessed 10 October 2024) (in Ukrainian).

5. The Vegan Society Retrieved from: https://www.vegansociety.com/news/media/statistics/worldwide (Accessed 10 October 2024) (in English)

6. Mykhalevych A., Polishchuk G., Buniowska-Olejnik M., Tomczyńska-Mleko M. (2022) Functional and technological properties of protein ingredients in whey ice cream. *Ukrainian Journal of Food Science*. Vol. 10. Iss. 2. Pp. 125–135 (in Ukrainian).

7. Nieuwenhuyzen, Willem & Tomás, Mabel. (2018). Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European Journal of Lipid Science and Technology.* Vol.110. Pp. 472 – 486 (in English)

8. Lecithins from Vegetable, Land, and Marine Animal Sources and Their Potential Applications for Cosmetic, Food, and Pharmaceutical Sectors Retrieved from: https://www.mdpi.com/2079-9284/7/4/87# (Accessed 10 October 2024) (in English).

9. Laneuville S.I., Paquin P., Turgeon S.L. (2019) Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein–xanthan gum complexes. *Food Hydrocolloids (electronic journal)*. Vol. 14, Issue 4. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X00000035. (Accessed 10 October 2024) (in English).

10. Nosenko T.T. Oderzhannia bilkovoho izoliatu iz soniashnykovoho shrotu za dopomohoiu proteolitychnoho fermentu [Preparation of protein isolate from sunflower meal using a proteolytic enzyme]. Retrieved from: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b5cca073-242a-418b-9b5b-00156b4f5dc4/content (Accessed 10 October 2024) (in Ukrainian).

11. Yue He, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney, Rana Mustafa (2021) Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology* (*electronic journal*). Vol. 111, Pages 27-42 Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001424 (Accessed 10 October 2024) (in English).

12. Stasiak, Joanna & Stasiak, Dariusz & Libera, Justyna. (2023). The Potential of Aquafaba as a Structure-Shaping Additive in Plant-Derived. *Food Technology. Applied Sciences*. Vol.13. Pages 86-110 (in English).

13. Lazareva T.A., Blahyy O.S. Perspektyvy vykorystannia akvafaby z lonu [Prospects for the use of aquafaba from flax]. Retrieved from: http://repo.uipa.edu.ua/jspui/bitstream/ (Accessed 10 October 2024) (in Ukrainian).

14. Nut: alternatyva miasu ta rentabelnist vyrobnytstva [Chickpea: alternative to meat and profitability of production]. Available at: https://agroportal.ua/agrocheck/rozvinchuyemo-mifi/nut-alternativa-m-yasu-ta-rentabelnist-virobnictva (Accessed 10 October 2024) (in Ukrainian).

15. Fatemah B. Alsalman, Hosahalli S. Ramaswamy. Evaluation of Changes in Protein Quality of High-Pressure Treated Aqueous Aquafaba Retrieved from: https://www.mdpi.com/1420-3049/26/1/234 (Accessed 10 October 2024) (in English)

УДК 614.9:579. 62:613, 287:613,287.5
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.27

КАНЦЕРОГЕННІ N-НІТРОЗАМІНИ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

Приліпко Т. М. *– доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»*
ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

Коваль Т. В. *– кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри хімії Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»*
ORCID ID: 0000-0002-7132-5887

Наведено результати вивчення N-нітрозамінів в харчових продуктах. Використано метод газової хроматографії-мас-спектрометрії (ГХ/МС). проведено аналіз рибних і м'ясних продуктів, в яких містяться відносно високі кількості попередників НА, мк/кг: нітритів до 252 і різних амінів до 200. Виявлені НА в різних видах риби і рибних продуктах, причому менше всього НА у свіжій рибі. Встановлено, що технологічна обробка риби приводить до зростання концентрації НА у зразках. Найбільший вміст НА виявлений в рибному борошні – до 2000 мкг/кг ДМНА. Якщо в рибних продуктах найбільш часто і у відносно великих кількостях зустрічається ДМНА, який утворюється не тільки із диметиламіну, алей й з різних сполук, які містять диметиламіногрупу, то в м'ясних продуктах часто знаходять Нпір, причому найбільша кількість його виявлена у беконі – до 207 мкг/кг. В копчених ковбасах і консервах міститься ДМНА – до 80 мкг/кг і НП – до 60 мкг/кг. В суміші спецій і посолочних компонентів кількість НА досягає 4000 мкг/кг. У варених ковбасах концентрація НА, як правило, дещо нижча, ніж в копчених, а у свіжому м'ясі вони не виявлені. Визначено вміст нітрозоамінів в молочних, овочевих та деяких інших продуктах. У вказаних продуктах НА відсутні або знайдені у невеликих кількостях. Виключення становлять соєва олія, соління і шпінат, який зберігався. В них виявлені порівняно високі рівні НА, особливо ДМНА (в шпінаті до 500 мкг/кг). В багатьох продуктах вміст НА досить значний, особливо в копчених і консервованих продуктах. Показано, що зниження основності аміну, зростання температури, часу реакції і концентрації компонентів підвищує вихід НА. Оптимальними значеннями pH для сильно- і слабоосновних амінів є 3,0-3,4 і 2,25-2,5 відповідно. Таким чином, технологічна обробка м'ясних продуктів, так само як і рибних, сприяє утворенню НА. Чіткої кількісної залежності між утворенням НА і вмістом нітриту в продуктах, а також терміном зберігання не встановлено. Необхідна розробка і використання простих та високочутливих методів аналізу НА в навколишньому середовищі і перш за все в харчових продуктах, постійне вивчення ступеня забрудненості продуктів і подальший пошук шляхів зниження вмісту НА у всіх об'єктах середовища життя людини.

Ключові слова: *харчові продукти, концентрація, нітрозаміни, методи аналізу, температура.*

Prylipko T. M., Koval T. V. Carcinogenic N-nitrosamines in food products

The results of the study of N-nitrosamines in food products are presented. The method of gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) was used an analysis of fish and meat products containing relatively high amounts of NA precursors, μ/kg: nitrites up to 252 and various amines up to 200 was carried out. NAs were detected in various types of fish and fish products, and less than all NAs in fresh fish. It was established that the technological processing of fish leads to an increase in the concentration of NA in the samples. The highest content of HA was found in fish meal – up to 2000 μg/kg DMNA. If DMNA is found most often and in relatively large quantities in fish products, which is formed not only from dimethylamine, oils and from various compounds containing a dimethylamino group, then Npyr is often found in meat products, and the largest amount of it is found in bacon – up to 207 μg/kg. Smoked sausages and canned goods contain DMNA – up to 80 μg/kg and NP – up to 60 μg/kg. In a mixture of spices and salty components, the amount of NA reaches 4000 μg/kg. In cooked sausages, the concentration of HA is, as a rule, somewhat lower than in smoked ones, and in fresh meat they are not detected. The content of

nitrosamines in dairy, vegetable and some other products was determined. NAs are absent or found in small amounts in these products. Exceptions are soybean oil, pickles, and spinach that has been stored. Relatively high levels of NA, especially DMNA (up to 500 μg/kg in spinach) were found in them. In many products, the NA content is quite significant, especially in smoked and canned products.It is shown that a decrease in the basicity of the amine, an increase in temperature, reaction time, and the concentration of components increases the yield of HA. The optimal pH values for strongly and weakly basic amines are 3.0-3.4 and 2.25-2.5, respectively. Thus, technological processing of meat products, as well as fish products, contributes to the formation of HA. A clear quantitative relationship between the formation of HA and the nitrite content in products, as well as the shelf life, has not been established. It is necessary to develop and use simple and highly sensitive methods of analysis of NA in the environment and, above all, in food products, constant study of the degree of contamination of products and further search for ways to reduce the content of NA in all objects of the human environment.

Key words: *food products, concentration, nitrosamines, methods of analysis, temperature.*

Постановка проблеми. Етіологічна роль хімічних канцерогенів у розвитку раку не викликає сумніву. Серед хімічних сполук, які володіють канцерогенною активністю, особливе місце займає велика група N-нітрозамінів (НА) [3, с. 102].

Оскільки доведено їх мутагенні та канцерогенні властивості, інтерес до цих сполук зріс. Різноманітність джерел опромінення людей призвело до нормативно-правового регулювання та розробки передових і чутливих методів аналізу.

Контролю за вмістом НА підлягають: копчена риба, солод, пиво; м'ясні продукти, що виготовлені із застосуванням нітриту, особливо ті, що піддавались копченню; продукти дитячого харчування, виготовлені на м'ясній та рибній основі, які призначені для тривалого зберігання[5, с. 122].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати численних наукових досліджень доводять, що існує прямий зв'язок між якістю їжі, характером харчування та ймовірним ризиком захворіти на онкологічну хворобу[7, с. 103].

Дев'яносто відсотків нітрозамінів, досліджених у випробуваннях на тваринах, викликали канцерогенні ефекти. Пухлини, які виникають, як правило, знаходяться в стравоході, шлунку, печінці, нирках і сечовивідних шляхах. Цей клас сполук з позицій профілактики раку представляє особливий інтерес. Такий інтерес зумовлений, по-перше, тим, що серед НА є канцерогени з надзвичайно високою активністю; по-друге, найбільш характерним для більшості цих сполук є широка органна канцерогенна полівалентність, а для окремих НА, навпаки, вузько направлена органна вибірковість, наприклад, до стравоходу, шлунку; по-третє, для канцерогенів цього класу характерний широкий видовий спектр дії. Бластомогенні НА індукують пухлини на відміну від інших хімічних канцерогенів у всіх видів лабораторних тварин, в тому числі у приматів і морських свинок – тварин, резистентних до таких сильнодіючих канцерогенів, як поліциклічні ароматичні вуглеводні, що дозволяє вважати НА небезпечними і для людини. І нарешті, канцерогенні НА можуть у звичайних умовах переробки і зберігання харчових продуктів синтезуватися з попередників (нітритів та амінів). Остання обставина робить НА особливо небезпечними, так як експериментально встановлено, що аліментарний шлях є досить ефективним для реалізації канцерогенних дій НА[1, с. 26, 2, с. 17].

Про значення, яке надається канцерогенам цього класу, можна судити по тій увазі, яка приділяється у всьому світі дослідженням, пов'язаним з розробкою чутливих методів аналізу НА в об'єктах оточуючого середовища, з вивченням ступеня його забрудненості НА, умовами утворення НА із попередників, з дією НА на організм та їх метаболізмом, нітрозамінним канцерогенозом та іншими питаннями[4, с. 83].

НА виявлені у повітрі, воді, ґрунті та харчових продуктах. Це пояснюється широким розповсюдженням їх попередників в навколишньому середовищі. Нітрити містяться в рослинах, ґрунті і природних водах. В цих же об'єктах, але в значно більших концентраціях, є нітрати, які з допомогою бактерій або ферментів відновлюються до нітритів. Крім того, нітрати і нітрити вносяться в харчові продукти в процесі технологічної обробки (копчення, соління, консервування тощо) для фіксації кольору, покращення запаху і подовження терміну зберігання [8, с. 211].

В окремих харчових продуктах, особливо рибних і м'ясних, міститься значна кількість амінів, які є проміжними речовинами метаболізму білків. Здатні нітрозуватися аміногрупи містять також деякі добрива, пестициди, ліки тощо [11, с. 22].

На відміну від інших канцерогенів НА є простими за хімічною структурою сполуками загальної формули $R_1R_2N - N = O$, де R_1 і R_2 – алкіл-, рил- або аліциклічн групи. НА відносно стабільні речовини, добре розчинні в багатьох органічних розчинниках і помірно у воді. Багато НА, зокрема диметилнітрозамін (ДМНА), діетилнітрозамін (ДЕНА), дипропілнітрозамін (ДПНА), дибутилнітрозамін (ДБНА), нітрозопіролідин (НПір) і нітрозопіперидин (НП), володіють високою леткістю і здатні переганятися з водяною парою (леткі НА) [7, с. 105].

Основні продукти, що містять леткі нітрозаміни, включають варений бекон, пиво, деякі види сиру, сухе знежирене молоко, а іноді й рибу. Однак не всі проаналізовані зразки містять виявлені кількості нітрозамінів. Коли вони присутні, леткі нітрозаміни зазвичай зустрічаються в менших кількостях. Згідно з результатами дослідження, середньодобове споживання летких нітрозамінів з їжею становить близько 1 мікрограма[10, с. 78].

Виділення з харчових продуктів, очистка отриманих екстрактів і визначення НА представляють собою складну аналітичну процедуру внаслідок необхідності вилучення мікрокількостей НА і забрудненості екстрактів різними домішками. Кращі результати отримуються при використанні для вилучення летких НА з харчових продуктів наступної схеми: гомогенізація продукту в розчині хлористого натрію – перегонка з водяною парою – підкислення дистиляту і насичення солями – перегонка – підлужнення дистиляту – перегонка – насичення дистиляту солями – екстракція органічними розчинниками – промивання і висушування екстракту – концентрування – хроматографічна очистка (за необхідності) [2, с. 13].

Постановка завдання. Через обмеження аналітичної методології недостатньо інформації про рівні нелетких нітрозамінів та інших нітрозосполук у харчових продуктах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами було проведено аналіз рибних і м'ясних продуктів, в яких містяться відносно високі кількості попередників НА, мк/кг: нітритів до 252 і різних амінів до 200. Використано метод газової хроматографії-мас-спектрометрії (ГХ/МС). Основну увагу при аналізі було приділено вмісту ДМНА, ДЕНА, ДПНА, ДБНА, НПір, НП.

Таблиця 1

Вміст НА в м'ясі та м'ясних продуктах (мкг/кг)

Продукти	ДМНА	ДЕНА	ДБНА	НПір	НП
М'ясо свіже	0	0	0	0	0
М'ясо смажене	0-4	0-4	0-11	0-19	0-8
М'ясо копчене	0-8	0-7	0-1	0-1	0-2
Сосиски	0-84	0-7	0	0-40	0-50

Виявлені НА в різних видах риби і рибних продуктах, причому менше всього НА у свіжій рибі. Технологічна обробка риби (соління, копчення, консервування тощо) приводить до зростання концентрації НА у зразках. Це пов'язано із введенням при технологічній обробці нітрозуючих речовин і створенням благоприємних умов для утворення НА. Найбільший вміст НА виявлений в рибному борошні – до 2000 мкг/кг ДМНА, чим можна пояснити захворювання печінки у домашніх тварин, в склад раціону яких входить цей продукт. Якщо в рибних продуктах найбільш часто і у відносно великих кількостях зустрічається ДМНА, який утворюється не тільки із диметиламіну, алей й з різних сполук, які містять диметиламіногрупу, то в м'ясних продуктах часто знаходять Нпір, причому найбільша кількість його виявлена у беконі – до 207 мкг/кг.

Вивчення причин високого вмісту НПір, проведено рядом авторів [1, с. 56, 4, с. 86, 6,с.122], показало, що цей НА може утворюватися, зокрема, при взаємодії проліну, що міститься у беконі, з нітритами, з послідуючим декарбоксилуванням, яке протікає особливо легко при підвищених температурах (140-190°С). Це підтверджено на зразках бекону, в які вказані компоненти вводились попередньо, а також наявністю в беконі нітрозопроліну (який не володіє канцерогенною дією). Основна частина НПір у смаженому беконі знаходиться в жирі. В копчених ковбасах і консервах міститься також ДМНА – до 80 мкг/кг і НП – до 60 мкг/кг. Надлишок спецій, особливо перцю, підвищує концентрацію НА. В суміші спецій і посолочних компонентів кількість НА досягає 4000 мкг/кг. У варених ковбасах концентрація НА, як правило, дещо нижча, ніж в копчених, а у свіжому м'ясі вони не виявлені.

Також визначено вміст нітрозоамінів в молочних, овочевих та деяких інших продуктах. У вказаних продуктах НА відсутні або знайдені у невеликих кількостях. Виключення становлять соєва олія, соління і шпінат, який зберігався. В них виявлені порівняно високі рівні НА, особливо ДМНА (в шпінаті до 500 мкг/кг).

Таблиця 2

Вміст НА в молоці, овочах та інших продуктах (мкг/кг)

Продукти	ДМНА	ДЕНА	НПір
Молоко свіже	0-3	0	0
Сири різні	0-4	0-2	0-1
Яблука	0-2	0	0
Овочі свіжі	0	0	0
Овочі варені	0	0	0
Буряк після зберігання	0-5	0	0
Шпинат після зберігання	0-500	0-100	0-5
Соєві боби	0-6	0	0
Соєва олія	0-20	0-19	0
Соління	0-63	0	0-19
Гриби	0	0	0
Борошно пшеничне	0	0	0
Напої (віскі, пиво, кальвадос)	0	0	0
Сидр	0-10	0	0

Дія канцерогенів на людину повинна бути обмежена мінімально можливими величинами, причому треба прагнути до їх відсутності в продуктах харчування.

Аналізуючи з цієї точки зору дані, приведені в таблицях 1-2, можна зробити заключення, що в багатьох продуктах вміст НА досить значний, особливо в копчених і консервованих продуктах. У зв'язку з цим вивчаються можливі шляхи зниження вмісту НА в харчових продуктах. Досліджена кінетика нітрозування вторинних і третинних амінів і визначено вплив різних факторів (основність аміну, pH, температура, концентрація тощо) на швидкість реакції [6, с. 124]. Показано, що зниження основності аміну, зростання температури, часу реакції і концентрації компонентів підвищує вихід НА. Оптимальними значеннями pH для сильно- і слабоосновних амінів є 3,0-3,4 і 2,25-2,5 відповідно. У зв'язку з цим слабоосновні аміни нітрозуються в шлунку значно швидше, ніж сильноосновні. Треба відмітити наявність кореляції виходів НА in vitro та in vivo.

Ряд сполук здатні каталізувати або інгібувати процес нітрозування. Встановлена каталітична активність галогенідів, фосфатів, тіоціанату, карбонільних сполук, піридоксину, деяких металів, поверхнево-активних речовин. В плані профілактики раку велике значення має знаходження речовин, здатних інгібувати синтез НА з попередників. Виявлена інгібуюча дія аскорбінової кислоти та аскорбатів, еритробатів, пропілгалату, глутатіону, аланіну, цистеїну, гідролізованого пепсином яєчного білка, вітаміну А тощо. Використання інгібіторів є одним із практично важливих шляхів пригнічення синтезу НА з метою профілактики пухлинної хвороби.

Другим важливим напрямом зниження концентрації НА в продуктах є вдосконалення технології виготовлення ковбас, копченостей та консервів за рахунок зменшення вмісту окисів азоту в технологічному димі, використання коптильних рідин і скорочення добавок в ці продукти нітратів і нітритів. В результаті забруднення НА харчових продуктів і можливості їх утворення в організмі виникає ситуація хронічної дії НА на людину. Це саме по собі і ще в більшій мірі, якщо мати на увазі одночасне надходження в організм людини інших канцерогенів, створює онкологічну загрозу.

Висновки. 1. Таким чином, технологічна обробка м'ясних продуктів, так само як і рибних, сприяє утворенню НА. Чіткої кількісної залежності між утворенням НА і вмістом нітриту в продуктах, а також терміном зберігання не встановлено. 2. Необхідна розробка і використання простих та високочутливих методів аналізу НА в оточуючому середовищі і перш за все в харчових продуктах, постійне вивчення ступеня забрудненості продуктів і подальший пошук шляхів зниження вмісту НА у всіх об'єктах середовища життя людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. НАССР: Аналіз небезпечних чинників та критичні точки контролю у виробництві харчових продуктів і продовольчої сировини: Навчальний посібник. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2005. 70 с.

2. ДСТУ EN 12014-1:2002 (EN 12014-1:1997, IDT). Продукти харчові. Визначення вмвісту нітратів і нітритів. Частина 1. Загальні положення.URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=85550

3. Хіцька О.А. Ризик-орієнтована система контрою безпечності харчових продуктів: аналіз міжнародного та національного законодавства. *Збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*. *Ветеринарні науки*. Харків. Вип. 35. Ч. 2, Т. 3. 2018. С. 102–106.

4. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations

and Standards. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue (02). 2021. P.83-91.

5. Приліпко Т.М., Федорів В.М. Методи сучасних видів експертизи якості, ідентифікації фальсифікації продовольчої сировини тваринного походження *Вісник Львівського торговельно-економічного університету Технічні науки. Харчові технології*. 2023. № 35. С. 43-48

6. Толчинський О.В. Походження та наслідки нітратної інтоксикації для людини і тварин. *Наук. зап. Тернопол. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол*. 2013, № 2 (55). С. 122-125.

7. Устянська О.В., Глінська Л.Я. Безпека їжі та живлення.: *Матеріали XIII Міжнародної науково-методичної конференції.* Харків. 2015 С. 103-106.

8. Якубчак О.М., Хоменко В.І., Мельничук С.Д. Ветеринарно-санітарна експертиза з основами технології і стандартизації продуктів тваринництва. Київ.: Біопром, 2005. 799 с.

9. Prylipko T.M., KostashV. B., Pidlisnyj V.V., Semenov A. M. Improvement of methods of identification of meat types. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. April 2023. P.72-77.

10. Prylipko T.M., Koval T.V. Method of operational quality control of meat raw materials and meat products. *The International Scientific Periodical Journal "Modern engineering and innovative technologies"* Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. April 2023. P.78-83.

11. Prylipko T. Control of the Quality and Safety of Dairy Products in Ukraine: International and Legal Aspects. *European Food and Feed Law Review.* Volume 18. 2023. Issue 1. P. 22-30.

REFERENCES:

1. NASSR (2005): Analiz nebezpechnykh chynnykiv ta krytychni tochky kontroliu u vyrobnytstvi kharchovykh produktiv i prodovolchoi syrovyny: Navchalnyi posibnyk. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2005. 70 s.

2. DSTU EN 12014-1:2002 (EN 12014-1:1997, IDT) (2002). Produkty kharchovi. Vyznachennia vmvistu nitrativ i nitrytiv. Chastyna 1. Zahalni polozhennia. URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=85550

3. Khitska O.A. (2018) Ryzyk-oriientovana systema kontroiu bezpechnosti kharchovykh produktiv: analiz mizhnarodnoho ta natsionalnoho zakonodavstva. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoi derzhavnoi zooveterynarnoi akademii Problemy zooinzhenerii ta veterynarnoi medytsyny. Veterynarni nauky. Kharkiv. Vyp. 35. Ch. 2, T. 3. S. 102–106.

4. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. (2021). Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. International Journal of Agricultural Extension. Special Issue (02). P.83-91.

5. Prylipko T.M., Fedoriv V.M. (2023). Metody suchasnykh vydiv ekspertyzy yakosti, identyfikatsii falsyfikatsii prodovolchoi syrovyny tvarynnoho pokhodzhennia Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu Tekhnichni nauky. Kharchovi tekhnolohii. № 35. S.43-48

6. Tolchynskyi O.V. (2013) Pokhodzhennia ta naslidky nitratnoi intoksykatsii dlia liudyny i tvaryn. Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser. Biol. № 2 (55). S. 122-125.

7. Ustianska O.V., Hlinska L.Ia. (2015) Bezpeka yizhi ta zhyvlennia.: Materialy XIII Mizhnarodnoi naukovo-metodychnoi konferentsii. Kharkiv. S. 103-106.

8. Yakubchak O.M., Khomenko V.I., Melnychuk S.D. (2005). Veterynarno-sanitarna ekspertyza z osnovamy tekhnolohii i standartyzatsii produktiv tvarynnytstva. Kyiv.: Bioprom, 799 s.

9. Prylipko T.M., KostashV. B., Pidlisnyj V.V., Semenov A. M. (2023). Improvement of methods of identification of meat types. The International Scientific Periodical Journal “Modern engineering and innovative technologies” Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. P.72-77. [in Germany].

10 Prylipko T.M., Koval T.V. (2023). Method of operational quality control of meat raw materials and meat products. The International Scientific Periodical Journal “Modern engineering and innovative technologies” Karlsruhe, Germany Issue. № 26. Part 1. P.78-83. [in Ukrainian].

11. Prylipko T. (2023). Control of the Quality and Safety of Dairy Products in Ukraine: International and Legal Aspects. European Food and Feed Law Review. Volume 18. Issue 1. P. 22-30. [in Ukrainian].

УДК 664.14
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.28

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЗБАГАЧЕНИЙ ЦУКОР ТА ПРОДУКТИ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

***Самілик М. М.** – доктор технічних наук, професор,*
завідувач кафедри технологій та безпечності харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080

***Корнієнко Д. А.** – аспірант кафедри технологій та безпечності харчових продуктів*
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-2824-2725

Для даного дослідження використовували цукор-пісок та осматований сироп збагачений похідними дикорослих рослин. Щоб дослідити вплив та можливість використання цукру не як самостійного продукту, а й в якості сировини в продуктах розробили схему та виготовили карамель на основі осматованого сиропу. Для виробництва карамелі використовували максимальну температуру 120 ^{0}С. Проаналізувавши дані з джерел це є оптимальною температурою для збереження властивостей похідних з дикорослих ягід. Вплив високих температур на органолептичні показники збагаченого цукру також досліджували за допомогою виготовлення карамелі, при цьому проводили дегустацію та оцінку якісних показників.

Найвищу оцінку отримала обліпихова карамель, тому що колір проявився з більш насиченим відтінком, в свою чергу на це вплинуло нагрівання суміші до 120 ^{0}С і pH, середовища. А ароматичні сполуки в свою чергу під дією високої температури набули солодкого присмаку не зважаючи на високий вміст органічних кислот, у зв'язку з чим, ягода має кислий присмак.

Карамель з похідними горобини містить антоціани, які відповідають за червоний або пурпурний колір плодів. При нагріванні до високих температур ці пігменти змінили свій колір або частково розклалися до оранжевого відтінку. Горобина має високий вміст органічних кислот, таких як яблучна та аскорбінова кислоти, що забезпечує кислуватий смак сиропу та сорбінову кислоту, що надає приємну гірчинку продукту.

Калинова карамель має насичений червоний колір та притаманний калині смак та запах. Бузинова карамель набула темно-фіолетового кольору з коричневим відтінком.

Тож, вироблений нами цукор доцільно використовувати як самостійний продукт, так в якості сировини для виробництва харчових продуктів, адже даний інгредієнт як має гарні оргонолептичні показники так і має корисні елементи в своєму складі.

***Ключові слова:** збагачений цукор, дикорослa сировина, осматична дегдратація, ягоди, температура, pH, реакція Майяра.*

Samilyk M. M., Korniienko D. A. Study of the effect of high temperature on the quality indicators of enriched sugar and its products

Granular sugar and osmated syrup enriched with derivatives of wild plants were used for this study. In order to investigate the influence and the possibility of using sugar not as an independent product, but also as a raw material in products, a scheme was developed and caramel was produced on the basis of osmatized syrup. For the production of caramel, the maximum temperature of 120 0C was used. Analyzing the data from the sources, this is the optimal temperature for preserving the properties of wild berry derivatives. The effect of high temperatures on the organoleptic parameters of enriched sugar was also investigated by means of caramel production, while tasting and evaluation of quality parameters were carried out.

Sea buckthorn caramel received the highest rating, because the color appeared with a more saturated shade, in turn, this was affected by heating the mixture to 120 0C and the pH of the medium. And the aromatic compounds, in turn, under the influence of high temperature, acquired a sweet taste despite the high content of organic acids, in connection with which the berry has a sour taste.

Caramel with rowan derivatives contains anthocyanins, which are responsible for the red or purple color of the fruits. When heated to high temperatures, these pigments changed their color or partially decomposed to an orange hue. Rowan has a high content of organic acids, such as malic and ascorbic acids, which provide the sour taste of the syrup, and sorbic acid, which gives the product a pleasant bitterness.

Viburnum caramel has a rich red color and the characteristic taste and smell of viburnum. Elderberry caramel has acquired a dark purple color with a brown tint.

Therefore, it is advisable to use the sugar produced by us both as an independent product and as a raw material for the production of food products, because this ingredient has both good organoleptic indicators and useful elements in its composition.

Key words: *enriched sugar, wild raw materials, osmotic dehydration, berries, temperature, pH, Maillard reaction.*

Вступ. Досить багато досліджень та розробок з використанням цукрів в харчовій промисловості. Це і не дивно, адже цукор і цукрозамінники відіграють важливу роль у харчовій промисловості, надаючи продуктам солодкого смаку, змінюючи текстуру, а також впливаючи на термін зберігання та загальні органолептичні властивості а саме:

1) **натуральний смак та аромат**, так, як цукор є універсальним підсолоджувачем, який підсилює природний смак продуктів. Він також допомагає балансувати кислотність, що важливо в продуктах, таких як соуси, джеми, та кисломолочні продукти;

2) **текстура і консистенція –** цукор впливає на текстуру продуктів, роблячи їх більш гладкими, кремовими або хрусткими, залежно від рецептури. Випічка, кондитерські вироби, морозиво та йогурти виграють від цього аспекту;

3) **збереження продуктів** – цукор діє як консервант, допомагаючи зберігати джеми, желе та інші продукти тривалий час. Він знижує активність води в продуктах, що перешкоджає росту мікроорганізмів;

4) **ферментація та карамелізація** – у хлібопекарській та кондитерській промисловості цукор сприяє процесам ферментації дріжджів, а також забезпечує **збереження смакових властивостей** [1].

Загалом, цукор та похідні є важливими інгредієнтами в харчовій промисловості, які надають продуктам бажаних смакових та текстурних властивостей, одночасно задовольняючи різноманітні потреби споживачів. Адже використовуючи цукор як сировину до головних показників якості відносіть каламутність розчинів, кольоровість кристалів, вміст нерозчинних речовин та мікроорганізмів [2].

На кольоровість цукру-піску під дією високих температур впливають барвні речовини. До барвних речовин, що містяться у складі цукру, входять продукти карамелізації сахарози, лужно-термічного розкладу редукувальних речовин, меланоїдини та поліфенольні комплекси. Найбільший вплив на кольоровість цукру мають меланоїдини [3].

Меланоїдини – це коричневі полімери, які є кінцевим продуктом багатоетапної реакції стимулювання тепла (реакції Майяра), що індукується карбонільними сполуками, такими як відновлюючі цукри і аміни (зокрема амінокислоти) [4].

Цукор, збагачений похідними переробки плодів дикорослих рослин *Viburnum opulus*, *Hippophae rhamnoides L.*, *Sambucus nigra*, *Sorbus aucuparia*, містить ряд амінокислот [5] і може використовуватися не лише як готовий до вживання продукт, а й в якості сировини для виробництва лікеро-горілчаних виробів, соків, нектарів, цукрових кондитерських виробів та інш. Тому, дослідження кінетики реакції Майяра і визначення сенсорних характеристик розчинів збагачених цукрів є актуальним питанням.

Взагалі, реакція Майяра (Maillard reaction) є одним з найважливіших процесів у кулінарії та харчовій промисловості, що суттєво впливає на смак, аромат, колір та текстуру їжі. Вона відбувається між амінокислотами (білками) і цукрами під впливом тепла, що призводить до утворення сотень різноманітних сполук, які відповідають за комплексні смакові і ароматичні властивості багатьох продуктів. Реакція Майяра – це хімічна реакція, яка відбувається переважно під час термічної обробки харчових продуктів [6]. Цей процес ввжається одним із вагомих викликів у харчовій промисловості, оскільки реакція Майяра пов'язана не лише з формуванням аромату, а й зі смаком та кольором [7].

При реакції Майяра утворюється велика кількість речовин, які впливають на поживну цінність харчових продуктів [8].

Під час меланоїдиноутворення редукуючі цукри взаємодіють з амінокислотами під дією високих температур з утворенням смако-ароматичних та забарвлених речовин [9].

Харчові меланоїдини, являються аніонними забарвленими сполуками [10]. Антиоксидантна активність та інші біологічні ефекти меланоїдинів із реальних харчових продуктів і модельних систем були широко вивчені [11]. Проте, не досліджено, яким чином вони змінюються в процесі нагрівання розчинів цукру, збагаченого плодово-ягідними сиропами, у складі яких міститься значна кількість глюкози та фруктози [12].

Реакція типу Майяра підсилюється при високих температурах (>90°C) і значеннях pH> 7 [13]. Посилення кольору відбувається через посилення полімеризації при тривалому впливі підвищених температур. Різні стадії меланоїдинової реакції каталізуються різними кислотами. Дослідження показали, що при pH від 3 до 9, швидкість реакції потемніння зростала зі збільшенням pH [14, 15]. При pH≤3, ступінь реакції потемніння дещо знижується. Автори припустили, що це може бути пов'язано з гідролізом глюкозаміну гідрохлориду [16].

В реакціях мелаїдиноутворення активну участь приймають всі амінокислоти, крім цістеїну і цистину, які містять сірку, спостерігається висока реакційна здатність амідів аспарагіну і глутаміну порівняно з аспарагіновою та глутаміновою кислотами. Активними компонентами меланоїдинової реакції є також пептиди. В присутності аміаку інтенсивність утворення барвних речовин прискорюється в 4 рази [17].

Складність цієї хімічної реакції полягає в тому, що на неї впливають численні фактори, унікальна комбінація яких кожного разу призводить до нового прикладу. Параметри включають: природу, концентрацію та частку реагентів (аміно- та карбонільних сполук), активність води, час і температуру нагрівання, pH [18].

Розкладання цукрів призводить до утворення летких (аромат карамелі) і коричневих сполук (кольори карамелі). Реакцію можна здійснити за допомогою тепла і каталізують кислоти та основи. Кольори та аромати залежать від використовуваного цукру (тобто моно-, оліго- чи полісахариду) і утворюються переважно через дезоксиосулози, *O* -гетероциклічні та карбоциклічні проміжні продукти, а також низькомолекулярні фрагменти цукру. Типові карамельні аромати походять від циклопентанону (циклотену) і гідроксиметилфуранону (фуранеолу), а також обговорюються їх формування та аналіз. Структури кольорових продуктів карамелізації досі не до кінця вивчені [19].

Обробка є основним засобом формування аромату, а випаровування та концентрація відіграють ключову роль у впливі на механізм утворення (карамелізація, реакція Майяра та термічна деградація). Цукор і амінокислоти є

попередниками кисневих гетероциклічних сполук і *N*- вмісних сполук; температури, pH і вологість контролюють швидкість і напрямок реакцій, впливаючи на їх руйнування, циклізацію і дегідратацію; феноли та катіони металів можуть поєднуватися з проміжними продуктами реакції, таким чином впливаючи на загальний смак коричневого цукру [20].

Зважаючи на те, що цукор, збагачений похідними переробки плодів дикорослих рослин містить ряд амінокислот, доцільно дослідити, як вони вплинуть на кольоровість цукрових розчинів, виготовлених на їх основі.

Попередні дослідження показали, що цукор, збагачений осмотичними розчинами плодів дикорослих рослин, містить ряд природних барвних речовин, зокрема, флаваноїдів [21]. До групи флавоноїдів відносяться *пігменти антоціани*, які надають плодам та продуктам їх переробки червоний, фіолетовий і синій кольори. Крім того, ці сполуки пов'язані зі сприятливим впливом на здоров'я. Вибір плодів для збагачення цукру було обумовлено їх високою біологічною цінністю.

При дії високих температур на суміш цукрів та ряда амінокислот відбувається не лише реакція Майяра, а й процес карамелізації. Запропонований спосіб переробки плодів дикорослих рослин передбачає їх зневоднення при невисоких температурах – 50-55 °С. Проте, в разі застосування цукру збагаченого похідними переробками плодів, в якості сировини для виготовлення інших продуктів, наприклад цукрових кондитерських виробів, застосовуються високі температури (більше 100°С). Що спричиняє реакцію Майяра. Отже, важливо дослідити вплив меланоїдинової реакції на збагачений цукор та продукти його переробки [22].

Збагачений відпрацьованим осмотичним розчином цукор містить ряд біологічно-активних компонентів та має унікальні споживчі властивості [23]. Проте, відсутні дані щодо можливості його застосування в якості сировини при виробництві цукрових кондитерських виробів, зокрема, карамелі.

Отже, **метою даного дослідження** є визначення впливу високих температур на показники якості збагаченого цукру та продуктів його переробки та використання збагаченого цукру в якості сировини.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

– дослідити кольоровість та pH цукру збагаченого осмотичними розчинами, утвореними при зневодненні плодів калини, бузини, горобини та обліпихи;
– розробити схему виготовлення карамелі на основі збагачених цукрів;
– дослідити органолептичні показники карамелі на основі цукрів.

Експерементальна частина. Плоди дикорослих рослин (калини, горобини червоноплідної, бузини чорної та обліпихи) занурювали у 70% розчин сахарози, попередньо нагрітий до температури 60-65 °С і проводили процес осмотичної дегідратації у лабораторній установці протягом 1 години. Частково зневоднені плоди відокремлювали від осмотичного розчину і висушували. Осмотичні розчини (рис. 1, *а*) використовували для збагачення цукру, у кількості 20% до його маси. Збагачений цукор (рис. 1, *б*) формували та висушували у конвективній лабораторній сушарці протягом 4 годин до масової частки вологи менше 5%.

Кольоровість збагаченого цукру визначали спектрофотометричним методом за допомогою спектофотометра КФК-3 (Україна). Для цього 100 г попередньо подрібненого в ступці цукру переносили в колбу на 250 см'. Додавали 100 $см^3$ дистильованої води (обов'язково обполіскуючи шийку колби) та розчиняли цукор. Для інтенсифікації розчинення цукру колбу поміщували на водяну баню з температурою близько 50 °С на 30 хв. Після цього цукровий розчин охолоджували до 20 °С і фільтрували через паперовий фільтр, перші порції фільтрату зливали.

Вимірювальну кювету тричі обполіскували фільтрованим розчином, далі заповнювали її фільтратом та визначали оптичну густину. Термічно оброблені цукрові розчини аналізували аналогічним способом.

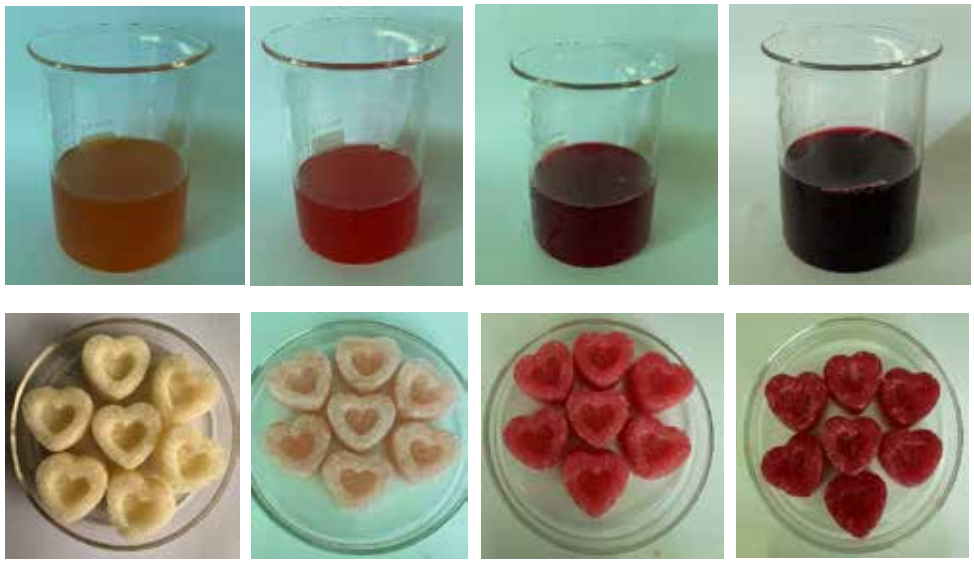


Рис. 1. Продукти переробки плодів дикорослих рослин:
а – осмотичні розчини; б – збагачений ними цукор
(1 – обліпиховий, 2 – горобиновий, 3 – калиновий, 4 – бузиновий)

Для визначення рівня pH наважку цукру 50 г розводили дистильованою водою у співвідношенні 1:1. Розчин фільтрували та переливали у мірний стакан в який занурювали діоди для визначення рівня pH за допомогою pH-метра «pH-500» (Німеччина).

Для дослідження впливу високих температур на органолептичні показники збагаченого цукру в харчових продуктах виготовили карамель. Для цього попередньо підготовлений розчин збагачений похідними дикорослих рослин (калини, горобини червоноплідної, бузини чорної та обліпихи) в кількості 30 гр переміщали в ємність для варіння карамелі та додали 30 гр цукру. Після цього дану суміш нагрівали поступово до 120 ^{0}C при постійному перемішуванні. Після згущення карамель заливали в форму та охолоджували до повного застигання.

Результати та обговорення. Як нам відомо з попередніх досліджень унікальний аромат та кольоровість цукру формується під час обробки, яка в основному відбувається під час процесу випарювання та концентрації через високу температуру та низький вміст вологи (Asikin та ін., 2016, Ge та ін., 2021, Лю та ін., 2023).). У цих процесах бере участь ряд складних хімічних реакцій, включаючи карамелізацію, реакцію Майяра та термічну деградацію (Liu et al., 2021)

Також маємо дані, що значення pH впливає на інтенсивність забарвлення продукції. Отже, доцільно було б проаналізувати дану залежність в розрізі розробленого нами цукру. Результати дослідження кольоровості та рівня pH збагаченого цукру представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники якості збагаченого цукру

Досліджувальні зразки	Значення кольоровості, одиниці ICUMSA	pH
Цукор-пісок білий	45	7,00
Цукор горобиновий	465	3,57
Цукор обліпиховий	392	3,30
Цукор калиновий	537	3,45
Цукор бузиновий	784	4,60

За результатами дослідження найвища кольоровості спостерігалася в бузиновому цукрі. Це пояснюється високим вмістом антоціанів у плодах бузини. Чутливість антоціанів і антоціанідинів до рівня pH обумовлена їх структурою, особливо високою електрофільністю хроменілієвого циклу. Аналізуючи отримані показники, підвищення pH до 4–5, спричиняє приєднання гідроксид-іонів, формуючи безбарвні псевдооснови, при цьому найвища кольровість (784 од. ICUMSA) спостерігалася саме в бузиновому цукрі [24, 25, 26, 27].

Враховуючи, що pH бузинового цукру становив 4,60, але при цьому його кольоровість була достатньо високою, можна припустити, що барвні речовини ягід бузини знаходяться в досить стійких зв'язках з температурою сушіння цукру [28]. Тож, можна припустити, що цукор бузиновий може стати досить популярною сировиною у виробництві харчових продуктів в якості барвника.

При збагаченні цукру горобиновим осмотичним розчином кольоровість зростає більше ніж в 10 раз. При цьому аналізуючи показники pH можна зробити висновки, що в розчин переходять ряд кислот та низькомолекулярні фенольні сполуки, такі, як біофлаваноїди, зокрема антоціани, які знаходяться в формі глікозидів та їх форм таких, як ціанідін-3-глюкозид, ціанідін-3,5-диглюкозид, ціанідін-3-галактозид, що зумовлює зниження рівня pH до 3,57 [29].

Рівень pH обліпихового цукру становив 3,30. Так кольоровість цукру-піску сягає 45 од. ICUMSA, а кольоровість збагаченого цукру 392 од. ICUMSA, що менше ніж в 10 раз більше звичайного цукру та має жовтий колір. Так, як саме каротин та ксантофіл надає цукру жовтуватий колір. Крім того, ще зафіксовано вміст флавоноїдів, такі як рутин і кверцетин, які також переходять в розчин осматовани. Крім них ще переходять антоціани, але не в великій кількості в порівняні з каротиноїдами [30].

Аналізуючи кольоровість цукру калинового, можна дійти до висновку, що барвні речовини калини включають антоціани, каротиноїди і флавоноїди переходять у достатній кількості за для надання цукру рожевого кольору. Так як антоціани відповідають за червоний та фіолетовий колір плодів, каротиноїди надають їм жовтий або помаранчевий відтінок, а флавоноїди також можуть впливати на їхню барву та характеристики. Крім того, у калини містяться вітаміни, мінерали та інші фітонутрієнти, які також переходять в цукор. Так, як в плодах калини вміст антоціанових пігментів знаходяться в межах 250…500 мг на 100 г не дивно, що сироп і цукор мають такий насичений колір [31].

На наступному етапі дослідження було розроблено схему виробництва карамелі на основі збагачених цукрів (рис. 2).

Схема виготовлення карамелі

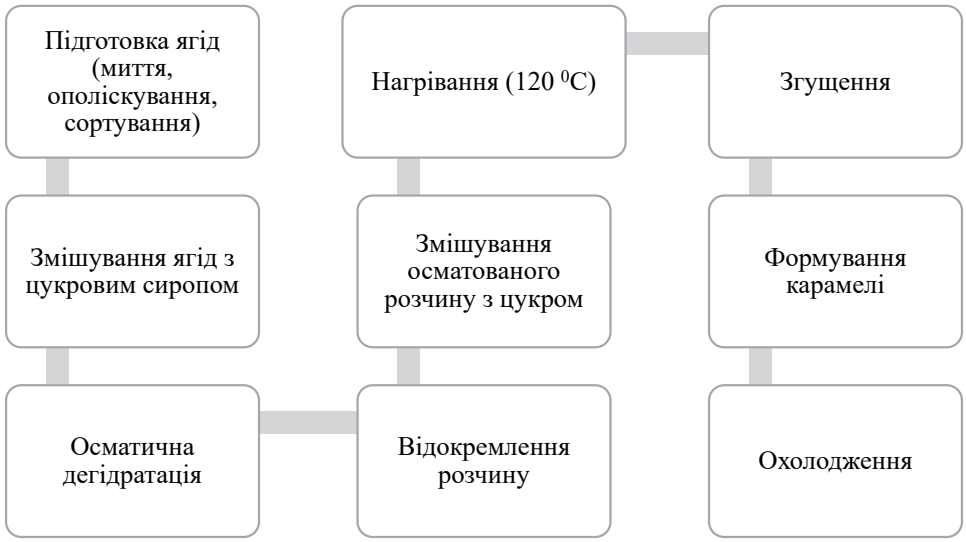


Рис. 2. Схема виготовлення карамелі

За даною схемою спочатку необхідно підготувати дикорослі ягоди(миття, ополіскування, сортування), далі до ягід додаємо попередньо підготовлений цукровий розчин. Після цього змішуємо розчин з ягодами, далі відбувається процес осматичної дегідратації, де відбувається перехід біологічно-активних компонентів. Отриманий осматований розчин після відокремлення від ягід в потрібній кількості змішуємо з цукром та нагріваємо до 120 ^{0}C до повного згущення. Далі дану суміш поміщаємо в форму для карамелі. Після цього охолоджуємо отриману карамель (рис. 3).

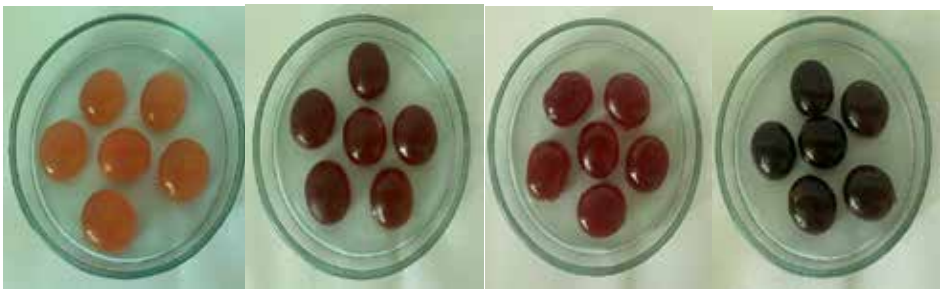


Рис. 3. Карамель зі збагаченого цукру
(a – обліпихова, b – горобинова, c – калинова, d – бузинова)

Органолептичну оцінку отриманої карамелі проводили за певною кількістю дескрипторів (табл. 2) з використанням десятибальної шкали за усередненими даними.

Таблиця 2

Органолептичні показники карамелі

Назва показника	Характеристика			
	обліпихова	**горобинова**	**калинова**	**бузинова**
Колір	оранжевий	темно-червоний	червоний	Темно-фіолетовий
Запах	чітко виражений запах обліпихи та карамелі	виражений запах горобини	чітко виражений запах калини	запах бузини
Смак	чіткий смак карамелі з нотками обліпихи	смак горобини з приємною кислинкою та гірчинкою та карамелі	чіткий смак, притаманний карамелі зі смаком калини	чітко виражений смак карамелі з бузиною
Поверхня	суха, без тріщин, гладка	суха, без тріщин, гладка	суха, без тріщин, гладка	суха, без тріщин, невеликі сколи

Згідно державного стандарту на карамель (ДСТУ 3893-2016) визначали карамель по даним 4 показників. Органолептичну оцінку проводили непрофесійні дегустатори різного віку та статі (10 чоловік). Кожне випробування проводилося у два різні дні з 9:30 до 10:30 (мінімум через 2 години після сніданку). Крім того, піддослідних проінструктували не палити і не пити каву за 60 хвилин до тесту. Усі органолептичні тести проводились у дегустаційній залі лабораторії технологій харчування Сумського національного аграрного університету та завершувалися до 11 години ранку. Результати дослідження представлено на рис. 4.

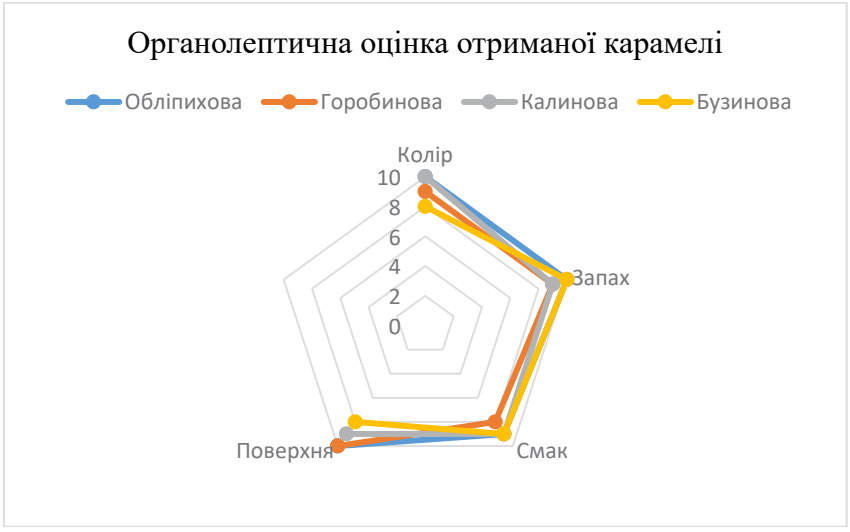


Рис. 4. Результати органолептичної оцінки

Так, як нам відомо, що обліпиха багата на каротиноїди, зокрема бета-каротин, що надає їй характерний оранжевий колір, під впливом високих температур ці пігменти можуть частково розкладатися або змінювати свій колір. Аналізуючи колір обліпихової карамелі каротиноїди проявились з більш насиченим відтінком, в свою чергу на це вплинуло нагрівання суміші до 120 ^{0}C і pH, середовища. А ароматичні сполуки в свою чергу під дією високої температури набули солодкого присмаку не зважаючи на високий вміст органічних кислот, у зв'язку з чим, ягода має кислий присмак.

Карамель з похідними горобини містить антоціани, які відповідають за червоний або пурпурний колір плодів. При нагріванні до високих температур ці пігменти змінили свій колір або частково розкладатися до оранжевого відтінку. Горобина має високий вміст органічних кислот, таких як яблучна та аскорбінова кислоти, що забезпечує кислуватий смак сиропу та сорбінову кислоту, що надає приємну гірчинку продукту.

Сироп калини може містити невелику кількість амінокислот, які взаємодіють з редукуючими цукрами в реакції Майяра. Ця реакція активізується при температурах близько 120°C і вище, і призводить до утворення складних ароматичних і кольорових сполук. Що в свою чергу надає карамелі насичений червоний колір та притаманний калині смак та запах.

В процесі карамелізації бузинового цукру відбувається декілька послідовних реакцій, включаючи дегідратацію (втрата води), розщеплення цукрових молекул, утворення органічних кислот, фуранових і піронових сполук, а також меланоїдинів, які надають карамелі характерний золотисто-коричневий колір і багатий смак. Бузинова карамель набула темно-фіолетового кольору з коричневим відтінком. Так, як сироп бузини багатий на антоціани, природні пігменти, які надають йому характерний темно-фіолетовий колір. Під впливом високої температури (120-160°C) антоціани можуть частково розкладатися або змінювати свій колір, особливо в залежності від pH середовища. Зміна pH в процесі приготування карамелі (зазвичай у кислий бік через утворення органічних кислот) може впливати на колір антоціанів. Під час карамелізації і реакції Майяра утворюється багато нових ароматичних сполук, які надають карамелі її характерний смак. Це включає фуранові сполуки, піронові сполуки, органічні кислоти, альдегіди і кетони. Ці сполуки відповідають за складний букет аромату, який включає солодкі, карамельні, фруктові та горіхові нотки.

Згідно аналізу даних, за всіма органолептичними показниками найвищу оцінку отримала карамель зі смаком обліпихи. Карамель зі смаком бузини мала виражений запах та смак ягоди, також відрізнялась дещо нижчою поверхнею. Калинова карамель мала гарний колір. Горобинова карамель дещо відрізнялась по оцінці смаку, запаху та кольору. Всі зразки мають чудовий вигляд та смак.

Висновки. Таким чином:

1) досліджено та проаналізовано вплив кольоровості та pH при високих температурах на процес утворення карамелі;

2) розроблено схему виготовлення карамелі на основі збагачених цукрів;

3) досліджено та проаналізовано органолептичні показники карамелі на основі цукрів.

Тож, аналізуючи результати дослідження можна дійти висновку, що цукор збагачений похідними дикорослих речовин доцільно використовувати як самостійний продукт, так в якості сировини для виробництва харчових продуктів, адже даний інгредієнт як має гарні органолептичні показники так і має корисні елементи в своєму складі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abrantes, T., Moura-Nunes N., & Perrone D. Gallic acid mitigates 5-hydroxymethylfurfural formation while enhancing or preserving browning and antioxidant activity development in glucose/arginine and sucrose/arginine Maillard model systems. 2022. *Molecules.* 27 (3). P.848. https://doi.org/10.3390/molecules27030848.

2. Ao Sun, Wei Wu, Olugbenga P. Soladoye, Rotimi E. Aluko, Kathrine H. Bak, Yu Fu, Yuhao Zhang. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review. *Food Research International*. 2022. 151.P. 110823. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110823

3. Appenteng M.K., Krueger R., Johnson M.C., Ingold H., Bell R., Thomas A.L., Greenlief C.M. Cyanogenic glycoside analysis in american elderberry. *Molecules*. 2021. *26*(5). P. 1384. https://doi.org/10.3390/molecules26051384

4. Boshan S., Xue G., Hongyan L., Kexin J., Lingyi L., Ning Y., Mohamed A. Farag, Lianliang L. Dissecting Maillard reaction production in fried foods: Formation mechanisms, sensory characteristic attribution, control strategy, and gut homeostasis regulation. *Food Chemistry*. 2023. 438. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137994

5. Bertrand, E., El Boustany, P., Faulds, C., Berdagué, J.-L. The Maillard Reaction in Food: An Introduction. Reference Module in Food Science. *Elsevier. 2018.* 17. P.54-70. https://www.researchgate.net/publication/324217579_The_Maillard_Reaction_in_Food_An_Introduction

6. Bozhuyuk M., Ercisli R., Fidan B., Ozkan H., Ibrahim G. Compositional diversity in fruits of rowanberry (Sorbus aucuparia L.) genotypes originating from seeds. Genetika. 2020. 52(1). P. 55-65. https://doi.org/10.2298/GENSR2001055B

7. Beth K., Erika L. Amino Assets: How Amino Acids Support Immunity. *Planck Institute for Immunobiology and Epigenetics.* 2020. 32(2). P.154-175. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2020.06.010

8. Ciesarov Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F., Tobolkova B., Koplik R., Belajova E., Kukurova K., Dasko L., Panovska Z., Revenco D., Burcova Z. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review. *Food Research International*. 2020. 132. P.7865.

9. Dominguez R., Pateiro M., Munekata P. E., Santos Lopez E. M., Rodriguez, J. A., Barros, L., & Lorenzo, J. M. Potential Use of Elderberry (Sambucus nigra L.) as Natural Colorant and Antioxidant in the Food Industry. *A Review. Foods*. 2021. 10(11). P.2713. https://doi.org/10.3390/foods10112713.

10. Deepika K., Hamid, Sunakshi G., Abhimanyu T. Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. *Food Control*. 2023. P. 153. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109911

11. Jia Xiang,Shipeng Chen, Tingting Hong, Yongju He, Weicheng Xu, Zhe Wang, Songwen Tan. Inhibitory effect of cyclodextrin on Maillard reaction and its mechanism. *International Journal of Pharmaceutics. 2023.* 645. P.35-47. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123371.

12. Hang, Y., Zhang, R., Yang, F., Xie, Y., Guo, Y., Yao, W., Zhou W. Control strategies of pyrazines generation from Maillard reaction. *Trends in Food Science & Technology*. 2021.112, P. 795-807

13. Han Z., Zhu M., Wan X., Zhai X., Ho C. & Zhang L. Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect and chemical mechanism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2022. 16. P. 1-17. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2146653

14. Samilyk M. M. Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business: Scientific monograph / Samilyk M. M. Korniienko D. A. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023. P. 724. ISBN 978-9934-26-328-6.

15. Kamei Y., Hatazawa Y., Uchitomi R., Yoshimura R., Miura S. Regulation of Skeletal Muscle Function by Amino Acids. *Swit Nutrients. 2020.* 12(1). P. 261. https://doi.org/10.3390/nu12010261.

16. Kajszczak D., Zaklos-Szyda M., Podsedek A Viburnum opulus L.–A Review of Phytochemistry and Biological Effects. *Nutrients. 2020.* 12(11). P. 3398.

17. Murata M. Browning and pigmentation in food through the Maillard reaction. *Glycoconj J*. 2021. 38. P. 283–292. https://doi.org/10.1007/s10719-020-09943-x

18. Mlynarczyk K., Walkowiak-Tomczak D., Staniek, H., Kidon M., Lysiak G.P. The content of selected minerals, bioactive compounds, and the antioxidant properties of the flowers and fruit of selected cultivars and wildly growing plants of Sambucus nigra L. *Molecules*. 2020. *25* (4). P. 876; https://doi.org/10.3390/molecules25040876

19. Moschner J., Stulberg V., Fernandes R., Huhmann S., Leppkes J., Koksch B. Approaches to Obtaining Fluorinated α-Amino Acids. *Chemical Reviews*. 2019. 119 (18). P. 10718–10801. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00024

20. Kang H-J, Ko M-J, Chung M-S. Anthocyanin Structure and pH Dependent Extraction Characteristics from Blueberries (*Vaccinium corymbosum*) and Chokeberries (*Aronia melanocarpa*) in Subcritical Water State. *Foods*. 2021. 10(3). P. 527. https://doi.org/10.3390/foods10030527

21. Konarska, A., Domaciuk, M. Differences in the fruit structure and the location and content of bioactive substances in *Viburnum opulus* and *Viburnum lantana* fruits. *Protoplasma*. 2018. 255. P. 25–41 https://doi.org/10.1007/s00709-017-1130-z

22. Zorzi, M., Gai, F., Medana, C., Aigotti, R., Morello, S., & Peiretti, P. G. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Small Berries. *Foods*. 2020. 9(5). P. 623. https://doi.org/10.3390/FOODS9050623

23. Samilyk, M., Korniienko, D., Bolgova, N., Sokolenko, V., Boqomol, N. Using derivative products from processing wild berries to enrich pressed sugar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 117. P. 39–44 DOI:https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258127.

24. Ozrenk K., Ilhan G., Sagbas H., Karatas N., Ercisli S. & Colak A. Characterization of European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) genetic resources in Turkey. *Scientia Horticulturae*. 2020. 15. P. 45-76.

25. Rutkowska M., Kolodziejczyk-Czepas J., Owczarek A., Zakrzewska A., Magiera A., Olszewska M. Novel insight into biological activity and phytochemical composition of *Sorbus aucuparia* L. fruits: Fractionated extracts as inhibitors of protein glycation and oxidative/nitrative damage of human plasma components. *Food Research International*. 2021. 147. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110526

26. Salachna P., Pietrak A., Lopusiewicz L. Antioxidant Potential of Flower Extracts from Centaurea spp. Depends on Their Content of Phenolics, Flavonoids and Free Amino Acids. *Molecules*. 2021. *26* (24). P. 7465. https://doi.org/10.3390/molecules26247465

27. Сімахіна Г. О. Оздоровчі продукти – світовий тренд та основний об'єкт перспективних технологій: теорія і практика / Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко // Перспективні технологічні процеси виробництва оздоровчих продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2023.

28. Ingo Appelhagen, A. Wulff-Vester, M. Wendell, A. Hvoslef-Eide, J. Russell, A. Oertel, S. Martens, H. Mock, Cathie Martin, A. Matros less. Colour bio-factories: Towards scale-up production of anthocyanins in plant cell cultures. *Metabolic Engineering*. 2018. 1. https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.06.00

29. Vettore L., Westbrook R. & Tennant D. Institute of Metabolism and Systems Research. *British Journal of Cancer*. 2020. 122 (2). P. 150-156. https://doi.org/10.1038/s41416-019-0620-5.

30. Kjersti A., Berit K., Grethe I., Borge D, Roen D. Bioactive compounds and color of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) purees as affected by heat treatment and high-pressure homogenization. International Journal of Food Properties. 2020. 23(1). P. 651-664. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1752715

31. Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Hudina, M., Zorenc, Z., Koron, D., Senica, M. Fruit Quality Characteristics and Biochemical Composition of Fully Ripe Blackberries Harvested at Different Times. *Foods*. 2021. *10*. P. 1581. https://doi.org/10.3390/foods10071581

REFERENCES:

1. Abrantes, T., Moura-Nunes N., & Perrone D. Gallic acid mitigates 5-hydroxymethylfurfural formation while enhancing or preserving browning and antioxidant activity development in glucose/arginine and sucrose/arginine Maillard model systems. 2022. *Molecules.* 27 (3). P.848. https://doi.org/10.3390/molecules27030848.

2. Ao Sun, Wei Wu, Olugbenga P. Soladoye, Rotimi E. Aluko, Kathrine H. Bak, Yu Fu, Yuhao Zhang. Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review. *Food Research International*. 2022. 151.P. 110823. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110823

3. Appenteng M.K., Krueger R., Johnson M.C., Ingold H., Bell R., Thomas A.L., Greenlief C.M. Cyanogenic glycoside analysis in american elderberry. *Molecules*. 2021. *26*(5). P. 1384. https://doi.org/10.3390/molecules26051384

4. Boshan S., Xue G., Hongyan L., Kexin J., Lingyi L., Ning Y., Mohamed A. Farag, Lianliang L. Dissecting Maillard reaction production in fried foods: Formation mechanisms, sensory characteristic attribution, control strategy, and gut homeostasis regulation. *Food Chemistry*. 2023. 438. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137994

5. Bertrand, E., El Boustany, P., Faulds, C., Berdagué, J.-L. The Maillard Reaction in Food: An Introduction. Reference Module in Food Science. *Elsevier. 2018.* 17. P.54-70. https://www.researchgate.net/publication/324217579_The_Maillard_Reaction_in_Food_An_Introduction

6. Bozhuyuk M., Ercisli R., Fidan B., Ozkan H., Ibrahim G. Compositional diversity in fruits of rowanberry (Sorbus aucuparia L.) genotypes originating from seeds. Genetika. 2020. 52(1). P. 55-65. https://doi.org/10.2298/GENSR2001055B

7. Beth K., Erika L. Amino Assets: How Amino Acids Support Immunity. *Planck Institute for Immunobiology and Epigenetics.* 2020. 32(2). P.154-175. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2020.06.010

8. Ciesarov Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F., Tobolkova B., Koplik R., Belajova E., Kukurova K., Dasko L., Panovska Z., Revenco D., Burcova Z. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review. *Food Research International*. 2020. 132. P.7865.

9. Dominguez R., Pateiro M., Munekata P. E., Santos Lopez E. M., Rodriguez, J. A., Barros, L., & Lorenzo, J. M. Potential Use of Elderberry (Sambucus nigra L.) as Natural Colorant and Antioxidant in the Food Industry. *A Review. Foods*. 2021. 10(11). P.2713. https://doi.org/10.3390/foods10112713.

10. Deepika K., Hamid, Sunakshi G., Abhimanyu T. Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. *Food Control*. 2023. P. 153. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109911

11. Jia Xiang,Shipeng Chen, Tingting Hong, Yongju He, Weicheng Xu, Zhe Wang, Songwen Tan. Inhibitory effect of cyclodextrin on Maillard reaction and its mechanism. *International Journal of Pharmaceutics. 2023.* 645. P.35-47. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123371.

12. Hang, Y., Zhang, R., Yang, F., Xie, Y., Guo, Y., Yao, W., Zhou W. Control strategies of pyrazines generation from Maillard reaction. *Trends in Food Science & Technology*. 2021.112, P. 795-807

13. Han Z., Zhu M., Wan X., Zhai X., Ho C. & Zhang L. Food polyphenols and Maillard reaction: regulation effect and chemical mechanism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2022. 16. P. 1-17. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2146653

14. Samilyk M. M. Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business: Scientific monograph / Samilyk M. M. Korniienko D. A. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023. P. 724. ISBN 978-9934-26-328-6.

15. Kamei Y., Hatazawa Y., Uchitomi R., Yoshimura R., Miura S. Regulation of Skeletal Muscle Function by Amino Acids. *Swit Nutrients. 2020.* 12(1). P. 261. https://doi.org/10.3390/nu12010261.

16. Kajszczak D., Zaklos-Szyda M., Podsedek A Viburnum opulus L.–A Review of Phytochemistry and Biological Effects. *Nutrients. 2020.* 12(11). P. 3398.

17. Murata M. Browning and pigmentation in food through the Maillard reaction. *Glycoconj J*. 2021. 38. P. 283–292. https://doi.org/10.1007/s10719-020-09943-x

18. Mlynarczyk K., Walkowiak-Tomczak D., Staniek, H., Kidon M., Lysiak G.P. The content of selected minerals, bioactive compounds, and the antioxidant properties of the flowers and fruit of selected cultivars and wildly growing plants of Sambucus nigra L. *Molecules*. 2020. *25* (4). P. 876; https://doi.org/10.3390/molecules25040876

19. Moschner J., Stulberg V., Fernandes R., Huhmann S., Leppkes J., Koksch B. Approaches to Obtaining Fluorinated α-Amino Acids. *Chemical Reviews*. 2019. 119 (18). P. 10718–10801. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00024

20. Kang H-J, Ko M-J, Chung M-S. Anthocyanin Structure and pH Dependent Extraction Characteristics from Blueberries (*Vaccinium corymbosum*) and Chokeberries (*Aronia melanocarpa*) in Subcritical Water State. *Foods*. 2021. 10(3). P. 527. https://doi.org/10.3390/foods10030527

21. Konarska, A., Domaciuk, M. Differences in the fruit structure and the location and content of bioactive substances in *Viburnum opulus* and *Viburnum lantana* fruits. *Protoplasma*. 2018. 255. P. 25–41 https://doi.org/10.1007/s00709-017-1130-z

22. Zorzi, M., Gai, F., Medana, C., Aigotti, R., Morello, S., & Peiretti, P. G. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Small Berries. *Foods*. 2020. 9(5). P. 623. https://doi.org/10.3390/FOODS9050623

23. Samilyk, M., Korniienko, D., Bolgova, N., Sokolenko, V., Boqomol, N. Using derivative products from processing wild berries to enrich pressed sugar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 117. P. 39–44 DOI: https://doi.org /10.15587/1729-4061.2022.258127.

24. Ozrenk K., Ilhan G., Sagbas H., Karatas N., Ercisli S. & Colak A. Characterization of European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) genetic resources in Turkey. *Scientia Horticulturae*. 2020. 15. P. 45-76.

25. Rutkowska M., Kolodziejczyk-Czepas J., Owczarek A., Zakrzewska A., Magiera A., Olszewska M. Novel insight into biological activity and phytochemical composition of *Sorbus aucuparia* L. fruits: Fractionated extracts as inhibitors of protein glycation and oxidative/nitrative damage of human plasma components. *Food Research International*. 2021. 147. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110526

26. Salachna P., Pietrak A., Lopusiewicz L. Antioxidant Potential of Flower Extracts from Centaurea spp. Depends on Their Content of Phenolics, Flavonoids and Free Amino Acids. *Molecules*. 2021. *26* (24). P. 7465. https://doi.org/10.3390/molecules26247465

27. Simakhina, G.O., Naumenko, N.V. (2023). Health products are a global trend and the main object of promising technologies: theory and practice. [Promising technological processes for the production of health products]. *NUHT*. 23, 34-51 [in Ukraine]

28. Ingo Appelhagen, A. Wulff-Vester, M. Wendell, A. Hvoslef-Eide, J. Russell, A. Oertel, S. Martens, H. Mock, Cathie Martin, A. Matros less. Colour bio-factories: Towards scale-up production of anthocyanins in plant cell cultures. *Metabolic Engineering*. 2018. 1. https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.06.00

29. Vettore L., Westbrook R. & Tennant D. Institute of Metabolism and Systems Research. *British Journal of Cancer*. 2020. 122 (2). P. 150-156. https://doi.org/10.1038/s41416-019-0620-5.

30. Kjersti A., Berit K., Grethe I., Borge D, Roen D. Bioactive compounds and color of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) purees as affected by heat treatment and high-pressure homogenization. International Journal of Food Properties. 2020. 23(1). P. 651-664. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1752715

31. Mikulic-Petkovsek, M., Veberic, R., Hudina, M., Zorenc, Z., Koron, D., Senica, M. Fruit Quality Characteristics and Biochemical Composition of Fully Ripe Blackberries Harvested at Different Times. *Foods*. 2021. *10*. P. 1581. https://doi.org/10.3390/foods10071581

УДК 637.144:613.98
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.29

КИСЛОМОЛОЧНІ ПРОДУКТИ У СУЧАСНОМУ ХАРЧУВАННІ

Соломон А. М. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
Вінницького національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-2982-302X

В основі сучасних уявлень про харчування закладена концепція оптимального харчування, яка передбачає необхідність і обов'язковість повного забезпечення потреб організму не тільки в енергії, ессенціальних, мікро- і макронутрієнтах, але і в біологічно активних компонентах їжі. Лише таке харчування спроможне запобігти розвиткові хронічних захворювань.

Тенденцією сучасного ринку харчових продуктів є збільшення асортименту продуктів оздоровчого направлення. Поширення набувають ферментовані кисломолочні продукти з вмістом інгредієнтів (полісахаридів, вітамінів, макро- і мікроелементів, фенольних сполук), одним із джерел яких є рослинна сировина.

Впровадження нових технологій з використанням не молочної сировини є перспективним напрямом у молочній галузі. Створення продуктів нового покоління високої якості, в тому числі продуктів з рослинами, ґрунтується на виборі сировини у таких співвідношеннях, які забезпечують високу якість готового продукту, добрі органолептичні показники, споживчі та технологічні характеристики та мають функціональну спрямованість.

Крім того, забезпечення нормальної життєдіяльності організму можливе за умови дотримання доволі стабільних співвідношень між незамінними елементами їжі, кожному з яких в обміні речовин належить специфічна роль. В раціоні сучасної людини переважають рафіновані продукти і напівфабрикати, які після промислової переробки не мають багатьох незамінних компонентів. Це є причиною поширення і зростання захворювань уже в ранньому віці, як наслідок, зросла поширеність захворювань системи травлення серед школярів, що теж прямим наслідком з нераціонального і нездорового харчування.

Помітно збільшилася кількість «захворювань літнього віку», передумови до яких накопичуються протягом всього життя людини: серцево- судинні захворювання, рак, діабет, інсульт, катаракта і глаукома, остеопороз, хвороби мозку і нервової системи. Причиною цього є вміст у харчових продуктах речовин, що входять до числа факторів ризику.

Ключові слова: *кисломолочні продукти, біфідобактерії, пробіотики, пребіотики, симбіотики, оздоровче харчування.*

Solomon A. N. Fermented milk products in modern nutrition

The basis of modern ideas about nutrition is the concept of optimal nutrition, which assumes the necessity and obligation to fully meet the body's needs not only for energy, essential, micro- and macronutrients, but also for biologically active food components. Only such nutrition can prevent the development of chronic diseases.

The trend of the modern food market is to increase the range of health products. Functional fermented milk products containing ingredients (polysaccharides, vitamins, macro- and microelements, phenolic compounds), one of the sources of which is medicinal plant materials, are becoming widespread.

The introduction of new technologies using non-dairy raw materials is a promising direction in the dairy industry. The creation of new generation high-quality products, including products with medicinal plants, is based on the choice of raw materials in proportions that ensure high quality of the finished product, good organoleptic indicators, consumer and technological characteristics and have a functional focus. In addition, ensuring normal functioning of the body is possible with the observance of fairly stable ratios between essential food elements, each of which plays a specific role in metabolism. The diet of a modern person is dominated by refined products and semi-finished products, which after industrial processing do not have many essential components. This is the reason for the spread and growth of diseases already at an early age, as a result, the prevalence of diseases of the digestive system among schoolchildren has increased, which is also a direct consequence of irrational and unhealthy nutrition. The number of "diseases of old age" has noticeably increased, the prerequisites for which accumulate throughout a person's

life: cardiovascular diseases, cancer, diabetes, stroke, cataracts and glaucoma, osteoporosis, diseases of the brain and nervous system. The reason for this is the content of substances in food products that are among the risk factors.

Key words: *fermented milk products, bifidobacteria, probiotics, prebiotics, symbiotics, health food.*

Постановка проблеми. Серед продуктів функціонального харчування молочні продукти поширені найбільше, а їх асортимент дуже різноманітний. Молокопереробна галузь в Україні пропонує кілька видів кисломолочних продуктів, що мають пробіотичні властивості. Це передусім, кефір, йогурт та ін.

Позитивний вплив пробіотиків на здоров'я людей проявляється різноплановими позитивними ефектами, які в цілому характеризуються як пробіотична дія. Основними з них є такі: колонізація шлунково-кишкового тракту пробіотичними мікроорганізмами, що є антагоністами відносно умовно патогенної і патогенної мікрофлори, вірусів, грибів і дріжджів, поліпшення порушеного балансу мікроорганізмів в кишечнику і усунення дисбіозів у цілому, корисна і адекватна метаболічна активність – продукція вітамінів К, біотину, ніацину, піридоксину і фолієвої кислоти, гідроліз жовчних солей і холестерину та регуляція його рівня, оптимізація травлення і нормалізація моторної функції кишківника, детоксикаційна і захисна роль – запобігання негативному впливу іонізуючого випромінювання, хімічних забруднювачів продуктів харчування, канцерогенних чинників, токсичних ендогенних субстратів, незвичної і екзотичної їжі, забрудненої води, за рахунок стимулювання імунної відповіді і підвищення неспецифічної імунорезистентності – потенціювання продукції інтерферону, інтерлейкінів, збільшення фагоцитарної здатності макрофагів.

Останнім часом пробіотики застосовуються дуже широко, та джерела надходження їх в організм людини різноманітні. В першу чергу, це фармацевтичні форми медичних біологічних препаратів і біологічно активні добавки (БАД) до їжі. Це такі класичні пробіотики, як заквашувальні культури, або продукти, збагачені пробіотиками. Особливе місце серед них посідають кисломолочні продукти, що містять живі культури мікроорганізмів [1].

Формування цілей статті. Метою даної роботи є наукове обґрунтування виробництва ферментованого кисломолочного продукту з вмістом рослинної сировини, що дасть змогу підвищити біологічну цінність, розширити асортимент кисломолочної продукції та залучити вітчизняну рослинну сировину.

Виклад основного матеріалу. Одним з відомих пробіотиків, є кефір – продукт життєдіяльності унікального біологічного об'єкту кефірних грибків [2]. Кефір характеризується тонізуючим щипким кисломолочним смаком, в міру густою консистенцією, що злегка піниться. Маючи багатовікову історію, нині кефір залишається одним з найпопулярніших кисломолочних напоїв, та, зокрема, входить до переліку національних молочних продуктів України. Поживна цінність кефіру значною мірою залежить від таких факторів, як склад сировини, умови ферментування. Цей продукт характеризується вмістом молочної кислоти на рівні 0,8; 1,5 %, етанолу 0,05-2,00 %, вуглекислого газу 0,08; 0,2 %, а також містить оцтову, пропіонову, мурашину кислоти, інші смако-ароматичні сполуки (ацетоїн, діацетил, ацетальдегід, бутандіол, складні ефіри) [3]. Істотний рівень протеолітичної активності лактобацил призводить до накопичення у продукті вільних амінокислот, в тому числі й незамінних, а в результаті життєдіяльності дріжджів, кефір збагачується вітамінами В1, В2, К, фолієвою кислотою, біотином [3].

Наразі відомі функціональні властивості кисломолочних продуктів ферментованих кефірними грибками: антагоністична активність щодо широкого кола грампозитивних та грамнегативних бактерій, сприяння травленню, підсилення імунітету. Утворення дріжджами та молочнокислими бактеріями під час спільного культивування спирту та молочної кислоти, перешкоджає розвитку сторонніх мікроорганізмів. Сполучення цих двох та інших продуктів бродіння значно підсилює функціональні властивості кисломолочних продуктів, виготовлених зі застосуванням кефірних грибків, а утворення деякими мікроорганізмами бактеріоцинів, специфічних біологічно активних полісахаридів, дає змогу віднести такі продукти до комплексних пробіотиків. В таблиці 1 представлено основні пробіотичні властивості мікрофлори кефірних грибків.

Таблиця 1

Пробіотична дія мікрофлори кефірних грибків

Назва	Пробіотична дія
Молочнокислі бактерії: *Lactobacillus sp.*	– протеолітична активність; – антимікробна активність; – нейтралізація токсинів; – нормалізація кислотно-лужного балансу кишківника; – покращення засвоєння лактози; – імуномоделююча дія;
Streptococcus salivarus subsp. *thermophilus*	– стабілізація кислотно-лужного балансу;
Lactococcus lactis subsp. *lactis* biovar. *diacetilactis, Lactococcus lactis* subsp. *cremoris, Lactococcus lactis* subsp. *lactis*	– лактазна активність; – синтез антибіотика диплокцина, що є активним до золотистого стафілококу; – синтез антибіотика нізина, що знищує гнилісні мікроорганізми, стафілококи, бактерії групи кишкових паличок, мікрококи, стрептококи, клостридії, актиноміцети;
Leuconostoc sp.	– ліполітична активність;
Оцтовокислі бактерії: *Acetobacter aceti*	– антимікробна активність;
Дріжджі	– стимулювання росту корисної мікрофлори; – синтез антибіотиків, що пригнічують ріст збудників туберкульозу, бактерій групи кишкової палички; – синтезують ряд вітамінів – Ві, В2, К.

Згідно з чинною в Україні документацією [4], кефір визначається як кисломолочний продукт, який виробляють сквашуванням молока симбіотичною закваскою (у складі якої є не тільки молочнокислі бактерії, а й дріжджі) на кефірних грибках або концентратом грибкової кефірної закваски. Залежно від масової частки жиру кефір класифікують як нежирний та з масовою часткою жиру (м.ч.ж.) від 1% до 5%. Смак і запах у кефірів повинен бути чистим, кисломолочним, щипким, без сторонніх присмаків і запахів.

Традиційний спосіб виготовлення кефіру полягає у безпосередньому внесенні у пастеризоване та охолоджене до температури 20 – 25 °С молоко кефірних

грибків у кількості 2-10 %, ферментування упродовж 24 годин та відокремлення грибків фільтруванням. Промислове виробництво кефіру складається з таких технологічних операцій як попереднє приготування закваски на кефірних грибках та заквашування нею пастеризованого молока 1-5 %, інокуляту ферментування до утворення згустку впродовж 12-16 годин за температури 20-32 ˚С та подальше дозрівання продукту за поступового зниження температури [5].

Популярними кисломолочними продуктами, особливо серед дітей, є йогурти [6]. Виготовлення відбувається шляхом сквашування нормалізованого пастеризованого коров'ячого молока спеціальними заквасками із застосуванням або без застосування харчових добавок чи наповнювачів. Залежно від масової частки жиру йогурти поділяють на нежирні від 0,05 % до 1,0 %, жирні від 1,5 % до 6,0 % та вершкові більше 6,0 %. Йогурт містить у своєму складі молочнокислих бактерій не менше ніж 1×10^7 КУО/г, біойогурт – який містить, окрім молочнокислих бактерій, ще й ацидофільну паличку не менше ніж 1×10^7 КУО/г, біфідойогурти складаються як з молочнокислих бактерій, так і з біфідобактерій, які мають бути в наявності не менш як 1×10^7 КУО/г.

В останні роки значно розширилась сфера виробництва збагачених пробіотичних молочних продуктів масового призначення на основі культур біфідобактерій і лактобактерій, спеціально відібраних за синергічними властивостями та антагоністичною активністю до патогенної та умовно патогенної мікрофлори шлунково-кишкового тракту. Дуже важливо, що мікрофлора заквасок є характерною для нормального кишкового біоценозу населення, а отже, не має протипоказань та побічних ефектів. Функціональність даних продуктів зумовлена додаванням до них заквасковых препаратів, що мають у своєму складі пробіотичні компоненти.

Крім того, на ринку представлено велику кількість кисломолочних продуктів з використанням комплексних заквасок, що містять лактобактерії, термофільні стрептококи та інші молочнокислі бактерії. Цінність представляє нова генерація ферментованих кисломолочних продуктів − біопродукти (біопростокваша, біойогурт, біоряжанка, біокефір). Функціональні властивості біопродуктів підвищують шляхом додавання до їх складу пребіотиків – олігоцукридів, лактулози («Геролакт» і «Лактогеровіт»).

Виразні функціональні властивості мають кисломолочні продукти, що виготовляють із застосуванням бактерій *L. acidophilus,* які є постійними представниками мікрофлори кишечника людини. Ці бактерії вступають в антагоністичні відносини з небажаними мікроорганізмами, продукують антибіотичні речовини. З використанням цих бактерій розроблений функціональний продукт, який поновлює захисну мікрофлору шлунково-кишкового тракту, зміцнює імунну систему, ефективний у випадку дисбактеріозу, ентероколіту, дисфункцій кишківника.

Все частіше до технологій функціональних кисломолочних продуктів стали включати рослини або субстанції виготовлені з них, зокрема рідкі та сухі екстракти, ефірні олії, соки, настоянки ті інші [6].

На даний час у харчовій промисловості застосовують як класичні, вже добре вивчені сполуки, так і нові речовини, наприклад біологічно активні компоненти рослин. Основними видами пребіотиків є вуглеводи, багатоатомні спирти, амінокислоти і пептиди, органічні низькомолекулярні і ненасичені вищі жирні кислоти, антиоксиданти у вигляді ефірних олій, сухих та рідких екстрактів, настоянок**.**

Одними з найбільш досліджуваних і вивчених пребіотиків природного походження є розчинні фруктоолігосахариди. Їх розподіляють на два види:

– інулін, що входить до складу багатьох продуктів рослинного походження: артишоку, кульбаби, оману високого, ехінацеї пурпурової, цикорію звичайного, топінамбуру.

– інуліновий фруктан мікробного походження, що утворюється з сахарози і рафінози за рахунок інвертаз системи трансфруктолізування [7].

Інулін застосовують для нормалізації обміну вуглеводів, як імуномодулятор і ентеросорбент. Щодобове вживання інуліну сприяє розвитку біфідобактерій у кишечнику та знижує кількість патогенних та ентеропатогенних бактерій. Вважають, що імуномоделюючі властивості інуліну пов'язані з його біфідогенною активністю. В результаті його гідролізу утворюється фруктоза, яка підвищує всмоктування кальцію в товстому кишечнику, впливає на метаболізм ліпідів, зменшує ризик атеросклеротичних змін у серцево-судинній системі та попереджує розвиток цукрового діабету, є також дані про її антиканцерогенну дію [7]. Інулін позитивно впливає на організм у лікуванні вірусного гепатиту, ожиріння, дисбактеріозу, захворювань кишково-шлункового тракту та захворювань шкіри. Інулін має послаблюваний ефект, попереджає функціональні закрепи та знижує кількість ентерококів та ентеробактерій.

Інулін – це не лише пребіотичні волокна з безліччю корисних ефектів для організму. Це ще і важливий технологічний інгредієнт. Інулін може утворювати з водою гель з дуже короткою, жироподібною текстурою, імітуючи у такий спосіб присутність жиру в продуктах, забезпечуючи повноту текстури і смаку. Крім того, інулін проявляє структурувальну дію, покращує стабільність аерованих продуктів (морозива, мусів) і емульсій (спредів, соусів) [11].

У молочній промисловості знайшли своє застосування такі рослини, що містять у своєму складі флавоноїди та ефірні олії: шипшина, глід, меліса, амарант, ехінацея пурпурова.

Перспективною рослиною, що містить флавоноїди та ефірні олії, є м'ята перцева *Mentha piperita*. В офіційнійно використовують листя м'яти, яке багате на фенольні сполуки, вміст яких складає близько 1,7 %. Листя м'яти перцевої містить ефірну олію: 1,5-2,7 % залежно від гатунку, а інколи її вміст може досягати 3,5 %.

М'ята перцева та продукти її переробки мають виражену протизапальну дію. Підсилюють бактерицидні властивості слизової оболонки ротової порожнини, тобто зменшують мікробне забруднення патогенною мікрофлорою.

Завдяки антимікробним властивостям ефірної олії мяти, доцільним було б дослідити її вплив на ріст патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів, які можуть створювати потенційні ризики біологічного походження, зокрема, враховуючи наявність рослинної сировини у молочній основі у разі недотримання технологічних режимів і санітарних правил ймовірність присутності потенційно небезпечних мікроорганізмів у готовому продукті зростає.

Завдяки антимікробним компонентам, ефірна олія м'яти характеризувалася високою антагоністичною активністю (таблиця 2), незалежно від обраної концентрації та може сприяти стабілізації продукту впродовж зберігання.

При цьому концентрація цього інгредієнту у вибраних межах не мала значного впливу, тобто всі вибрані концентрації впливали однаковою мірою на взяті до досліду тест-культури.

Найчутливішими до неї були культури: *S. epidermis* – розмір зони був максимальним – 90 мм, *S. aureus* – розмір зони становив 72 мм, *P. vulgaris* – 49 мм, *E. coli* – 34 мм. Протягом 8 діб дослідження ефірна олія м'яти перцевої зберігала свої антагоністичні властивості, що є позитивною ознакою і може сприяти стабільності продукту під час зберігання.

Таблиця 2

Антагоністична дія ефірної олії м'яти перцевої протягом 8 діб

Тест-культура	Зони затримки росту тест-культури, мм, протягом, діб			
	1	4	6	8
Escherichia coli	34±3	34±3	33±3	34±3
Staphylococcus aureus	71,5±2	72±2	72±2	72±2
Enterobacter cloacae	26±4	25±4	24±4	24±4
Streptococus epidermis	90±1	90±1	88±1	88±1
Proteus morganii	17±2	18±2	18±2	17±2
Proteus vulgaris	49±3	48±3	47±3	47±3
Bacillus subtilis	18±3	17±3	18±3	17±3

Для створення ферментованих продуктів, необхідно щоб функціональні інгредієнти забезпечували терапевтичний ефект та поєднувались з кисломолочною основою за органолептичними показниками. Крім того, вміст інгредієнтів не повинен перевищувати дозволені дози [8].

Вибір оптимальних концентрацій ефірної олії м'яти перцевої здійснювали, керуючись дозволеною добовою дозою, що становить 6 г на 100 г продукту [10].

Відомо, що у складі добової порції ферментованих продуктів вміст функціональних інгредієнтів не повинен перевищувати 50-60 % та не бути меншим 10 % разової дози, доза м'яти перцевої становить 5 г та її ефірної олії 0,2 г відповідно [9].

Оцінку молочних сумішей проводили органолептично згідно за загально прийнятою методикою. Колір та консистенція не відрізнялися від контрольного зразку. Зразки з меншою концентрацією функціонального інгредієнта мали смак і аромат, що був слабо виражений і не відрізнявся від контролю.

Смак ефірної олії м'яти перцевої відчувався навіть за найменшої концентрації 0,001 г і посилювався до різко неприємного з гіркотою 0,0035 г, схожого на ліки. Із вибраних варіантів найкращим був зразок, що мав концентрацію ефірної олії 0,0025 г.

Висновки. Однак, незважаючи на значний попит, асортимент таких продуктів ринок України недостатньо представлений. Тому перспективним є розробка нових ферментованих продуктів харчування зокрема зі застосуванням та комбінуванням про- і пребіотиків. У таких продуктах як пробіотичну складову найкраще застосовувати закваски прямого внесення, тобто культури без попередньої активації чи будь-якої підготовки, що є гарантією чистоти та стабільності ферментації. Крім того, для підвищення функціональності продуктів до їх складу необхідно вводити інгредієнти з високою біологічною активністю, зокрема різні екстракти, ефірні олії. Створення нових синбіотичних комплексів дозволить отримувати продукти високої біологічної активної та направленої функціональності, що надасть змогу коригувати та підтримувати здоров'я людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Соломон А.М., Новгородська Н.В., Бондар М.М. Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання: Монографія. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2019. 155 с.

2. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.

3. Капрельянц Л.В., Іоргачова К.Г. Функціональні продукти. Одеса, 2003. 312 с.
4. Соломон А.М., Полєвода Ю.А. Кисломолочні десерти збагачені біфідобактеріями. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 2 (105). С. 66-74.
5. Власенко В.В., Соломон А.М., Паулина Я.Б. Сучасний стан та перспективи виробництва кисломолочних продуктів функціонального призначення. *Харчова наука і технологія. Харчова наука і технол*. № 4 (9). 2009. С. 21-23.
6. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. *Продовольчі ресурси*. 2016 № 2. С. 204-214.
7. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. Substantiation of the technology for fermented sour-milk desserts with bifidogenic properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. Vol. 1/11 (97). P.6-16.
8. Соломон А.М., Полєвода Ю.А. Пробіотики і їх роль у виробництві кисломолочних продуктів спеціального призначення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 3 (106). С. 56-65.
9. Олійніченко О. В., Жукова Я. Ф., Копилова К. В. Класифікації харчових полісахаридів за хімічною природою та функціональним призначенням у молочних продуктах. *Продовольчі ресурси*. 2016. № 6. С. 181–193.
10. Semko T., Palamarchuk V., Ivanishcheva O., Vasylyshyna O., Andrusenko N., Kryzhak L., Pahomska O., Solomon A. The production of the innovative craft cheese «Anchan». *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2022. Vol. 16. P. 705-720.
11. Соломон А.М. Нові аспекти виробництва кисломолочних продуктів з пробіотичними властивостями. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2022. Т. 24. № 98. С. 50-56.

REFERENCES:

1. Solomon A.M., Novgorodska N.V., Bondar M.M. (2019). Kyslomolochni deserty z podovzhenym terminom zberihannya. [Sour milk desserts with extended shelf life] [Monograph]. Vinnytsia: RVV VNAU, 155 p. [in Ukrainian].
2. Bernyk I. M., Novgorodska N. V., Solomon A. M., Ovsienko S. M., Bondar M. M. (2022). Innovatsiyni tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv. [Innovative technologies of food production]. Monohrafiya. [Monograph]. Vinnytsia: Yu.V. Kushnir Publishing House. 300 p. [in Ukrainian].
3. Kapreliants L.V., Iorhachova K.H. (2003). Funktsionalni produkty. [Functional products]. 312 s. [in Ukrainian].
4. Solomon A.M, Polevoda Yu. A. (2019). Kyslomolochni deserty zbahacheni bifidobakteriyamy.[Sour-milk desserts enriched with bifidobacteria]. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. [Technics, energy, transport of the agro-industrial complex]. No. 2 (105). P. 66-74. [in Ukrainian].
5. Vlasenko V.V., Solomon A.M, Paulina Ya.B. (2009). Suchasnyy stan ta perspektyvy vyrobnytstva kyslomolochnykh produktiv funktsional′noho pryznachennya [Current state and prospects of production of functional dairy products.]. Kharchova nauka i tekhnol. [Food science and technology]. № 4 (9). P. 21-23. [in Ukrainian].
6. Simakhina G. O., Naumenko N. V. (2016). Kharchuvannya yak osnovnyy chynnyk zberezhennya stanu zdorov″ya naselennya. [Nutrition as the main factor in maintaining the state of health of the population]. Prodovol′chi resursy. [Food resources] № 2. S. 204-214. [in Ukrainian].
7. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. (2019). Obgruntuvannya tekhnolohiyi pryhotuvannya kyslomolochnykh desertiv iz bifidohennymy vlastyvostyamy. [Substantiation of the technology for fermented sourmilk desserts with bifidogenic properties]. Vol. 1/11 (97). P.6-16. [in Ukrainian].
8. Solomon AM, Polevoda Yu. A. (2019). Probiotyky i yikh rol′ u vyrobnytstvi kyslomolochnykh produktiv spetsial′noho pryznachennya. [Probiotics and their role in the production of fermented milk products for special purposes]. Tekhnika, enerhetyka,

transport APK. [Technics, energy, transport of the agro-industrial complex]. No. 3 (106). P. 56-65. [in Ukrainian].

9. Oleynichenko O.V., Zhukova Ya.F., Kopylova K.V. (2016). Klassifikatsii pishchevykh polisakharidov po khimicheskoy prirode i funktsional'nomu naznacheniyu v molochnykh produktakh. [Classification of food polysaccharides by chemical nature and functional purpose in dairy products]. Prodovol'stvennyye resursy. [Food resources]. 2016. No. 6. P. 181-193.

10. Semko T., Palamarchuk V., Ivanishcheva O., Vasylyshyna O., Andrusenko N., Kryzhak L., Pahomska O., Solomon A. (2022). The production of the innovative craft cheese «Anchan». [The production of the innovative craft cheese «Anchan»]. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. [Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences]. Vol. 16. P. 705-720.

11. Solomon A.M. (2022). Novi aspekty vyrobnytstva kyslomolochnykh produktiv z probiotychnymy vlastyvostyamy. [New aspects of the production of fermented milk products with probiotic properties]. Naukovyy visnyk L′vivs′koho natsional′noho universytetu veterynarnoyi medytsyny ta biotekhnolohiy imeni S.Z. Gzhyts′koho. Seriya: Sil′s′kohospodars′ki nauky. [Scientific Bulletin of S.Z. Gzhitsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Series: Agricultural sciences]. Vol. 24. No. 98. P. 50-56.

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 628.3:614.7
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.30

ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ПОЛІВ ФІЛЬТРАЦІЇ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ПІСЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

Кравченко В. І. *– кандидат технічних наук, доцент,*
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-2245-7194

Пошук безпечних шляхів утилізації осадів стічних вод, що утворюються на очисних спорудах, є одною з головних проблем для експлуатаційних організацій. Поля фільтрації комунальних очисних споруд міста Кропивницький, що розташовані біля села Первозванівка, вийшли з експлуатації у 2004 році. Територія споруд, частина якої перебуває у сухому стані, а інша вкрита водою, не використовується, накопичений шар мулових осадів забруднює навколишнє середовище, виділяючи шкідливі речовини. Для визначення шляхів відновлення території полів фільтрації з використанням її у господарській діяльності, буровим методом були взяті проби ґрунту в інтервалі 0-0,5 м та 1-1,5м. Аналіз фізико-хімічних показників проб ґрунту показав, що елементи живлення рослин (азот, фосфор, калій) представлені у достатній кількості, а верхній муловий шар може використовуватися як добриво. Однак перевищення на деяких ділянках у 2-5 разів гранично допустимих концентрацій кадмію, свинцю, цинку та міді, унеможливлює використання території для вирощування сільськогосподарської продукції. Аналіз ситуації показав, що вилучення верхнього мулового шару ґрунту з подальшою утилізацією його на звалищі економічно недоцільно. Запропоновано два найбільш ефективних варіанти відновлення сухої території полів фільтрації разом з накопиченим мулом: вирощування енергетичних культур для виготовлення біопалива (верби, тополі, міскантуса тощо) та створення розплідника саджанців лісових порід дерев та рослин для озеленення міст. Для зневоднення та очищення від важких металів ділянок, що вкриті водою, з метою подальшого їх використання, запропоновано засаджувати їх вищими водяними рослинами, зокрема очеретом. Запропоновані шляхи відновлення території полів фільтрації після рекультивації дозволять забезпечити від діяльності економічний ефект та створять додаткові робочі місця для місцевого населення.

Ключові слова: *поля фільтрації, осади стічних вод, важкі метали, рекультивація, біоенергетичні культури, розплідник саджанців, вищі водяні рослини.*

Kravchenko V. I. Ways of restoration of the territories of filtration fields of communal sewage treatment plants after reconstruction

Finding safe ways to dispose of sewage sludge generated at treatment facilities is one of the main problems for operating organizations. The filtration fields of the communal treatment facilities of the city of Kropyvnytskyi, located near the village of Pervozvanivka, were decommissioned in 2004. The territory of buildings, part of which is in a dry state, and the other is covered with water, is not used, the accumulated layer of silt deposits pollutes the environment, releasing harmful substances. To determine ways to restore the territory of the filtration fields using it in economic activities, soil samples were taken in the interval 0-0.5 m and 1-1.5 m using the drilling method. Analysis of the physical and chemical parameters of the soil samples showed that plant nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) are present in sufficient quantities, and the upper sludge layer can be used as fertilizer. However, in some areas, 2-5 times the maximum permissible concentration of cadmium, lead, zinc, and copper, makes it impossible to use the territory for growing agricultural products. The analysis of the situation showed that the removal of the upper silt layer of the soil with its further disposal at the landfill is economically impractical. The two most effective options for restoring the dry area of the filtration fields together with the accumulated sludge are proposed: the cultivation of bioenergy crops for the production of biofuel (willow, poplar, miscanthus, etc.) and the creation of a nursery for seedlings of forest species of trees and plants for landscaping cities. In order to dewater and clean the areas covered with water from heavy metals, for the purpose of their further use, it is proposed to plant them with higher aquatic plants, in particular reeds. The proposed ways of restoring the territory of the filtration fields after reclamation will ensure the economic effect of the activity and create additional jobs for the local population.

Key words: *filtration fields, sewage sludge, heavy metals, reclamation, bioenergy crops, seedling nursery, higher aquatic plants.*

Вступ. Відходи міського комунального господарства у тому числі і осади стічних вод (ОСВ) населених пунктах породжують масу проблем їх утилізації. Вони утворюються в ході багатоступінчастої обробки міських стічних вод та накопичуються на мулових майданчиках очисних споруд міст [1]. Також при недостатньому ступеню очистки стічних вод на очисних спорудах за визначеною технологією, перед скидом їх у природне водоймище використовують доочищення від речовин-забруднювачів, наприклад у біоставках або на полях фільтрації, які є завершальним етапом ланцюга очистки.

Полями фільтрації є сплановані горизонтально або з ухилом ділянки землі, поділені на карти земляними огороджувальними валиками [2, с. 65]. Стічні води розподіляються по картах за допомогою зрошувальної мережі, а очищена профільтрована через шар ґрунту вода відводиться з використанням дренажної осушувальної мережі.

Використання полів фільтрації на сьогодні є контраверсійним питанням. Так у деяких промислово розвинених країнах майже повністю відмовились від очищення комунальних стічних вод на полях фільтрації, що зумовлено: великими площами земельних ділянок і невисокою інтенсивністю природних біохімічних процесів, особливо у холодний період року; надходженням у ґрунти зі стічними водами речовин, які згубно впливають на флору і фауну територій; складностями технологічного контролю і управління процесами очищення стічних вод у ґрунті; поступовим накопичуванням у ґрунтах біологічно неокислюваних забруднень тощо [2]. Також відмову від використання полів фільтрації можна пояснити впровадженням на очисних підприємствах сучасних ефективних споруд і обладнання. Вилучення з ланцюжка очистки стічних вод полів фільтрації призводить до деградації таких земель, оскільки вони не можуть використовуватися у господарствах через значне забруднення.

Метою роботи є пошук безпечних шляхів утилізації осадів стічних вод полів фільтрації на території поблизу с. Первозванівка Кіровоградської області з оптимальним їх використанням.

Каналізаційні очисні споруди міста Кропивницький були побудовані та введені в експлуатацію ще у 60-х роках. Складовою частиною очисних споруд були поля фільтрації, які розташовані на лівому березі річки Інгул на території біля с. Первозванівка (рис. 1). Всі каналізаційні стоки міста перекачувалися з головної насосної станції на поля фільтрації, які складаються з 16 карт, обвалованими земляним валом, загальною площею 48 га. У 2004 році, після введення в експлуатацію комплексу гідротехнічних споруд з біоставками біля с. Клинці, використання полів фільтрації біля с. Первозванівка було припинено.

Поля фільтрації мають вигляд прямокутних карт, на які системою підвідних каналів надходила стічна вода після очисних споруд. Мережею відвідних каналів вода скидалася до магістрального каналу і далі до р. Інгул.

На сьогоднішній день поля фільтрації не експлуатуються і за останні роки на їх території через вміст осадів стічних вод, як основного забруднювача навколишнього середовища (ґрунту, води і повітря), виділяються такі небезпечні речовини як метан, аміак, фенол та інші.



Рис. 1. Загальний вигляд території полів фільтрації в районі с. Первозванівка

Проведене обстеження території полів фільтрації показало, що на даний час одна частина території має суху поверхню, на якій сформувалися умови, що характерні для лук з майже газонним шаром трави. Інша частина – залита водою та вкрита заростями рослин (рис. 2). Канал для підведення стічної води на карти не експлуатується. Система скидання води знаходиться у зруйнованому стані (рис. 3). Місцями в каналі залишилися ділянки, вкриті водою.

Для визначення варіантів рекультивації Первозванівських полів фільтрації з подальшим їх використанням, було пробурено 32 свердловини та відібрано проби води та ґрунту. Проби стічної води відбиралися на вході та виходів з полів фільтрації та визначався їх хімічний склад за основними компонентами забруднення. Проби ґрунту відбиралися у кожній муловій карті в інтервалі 0-0,5 м та 1-1,5м. Відібрані проби направлялися до лабораторії для дослідження якісного складу води та ґрунту.

Аналіз води показав, що очищення стічних вод на полях фільтрації відбувається досить успішно. Очищена стічна вода на скиді відповідає нормам гранично допустимих концентрацій (ГДК) для рибогосподарських водних об’єктів (табл. 1).



Рис. 2. Загальний вигляд карт полів фільтрації, що не експлуатуються



Рис. 3. Залишки зруйнованої системи скидання води на карти

Таблиця 1

Хімічний склад стічної води з полів фільтрації біля с. Первозванівка

№ проби	Концентрація забруднень, мг/дм^3		
	pH	Завислі речовини	ХСК
Вхід на поля фільтрації	6,78	8662	9500
Вихід з полів фільтрації	6,93	Менше 0,5	61,75

У відібраних пробах ґрунту визначався вміст основних елементів живлення рослин (N, P, K) та найбільш поширені важкі метали: цинк, кадмій, ртуть, марганець, свинець, мідь. Результати досліджень проб ґрунту показали, що азот, фосфор і калій представлені у достатній кількості, а верхній муловий шар потенційно може використовуватися як добриво. Так, вміст калію на деяких картах перевищено у 1,3-5,5 разів (табл. 2).

Таблиця 2

Значення фізико-хімічних показників проб ґрунту полів фільтрації біля с. Первозванівка

№ з/п	Глибина, м	Вміст, мг/кг							
		K	P	N	Cd	Hg	Pb	Zn	Cu
1	0-0,5	864	69	11,3	10,1	0,9	13,4	389	74,6
2	1-1,5	606	28	10,5	0,3	0,1	15,4	63	7,0
3	0-0,5	807	42	0,2	8,3	0,8	13,5	289	18,9
4	1-1,5	899	21	75,9	0,2	0,07	13,7	111	5,8
5	0-0,5	451	45	8,8	11,8	1,2	71,6	531	85,1
6	1-1,5	785	57	52,4	3,5	0,2	53,9	166	79,4
7	0-0,5	1266	194	16,3	3,5	1,4	65,1	192	149,2
8	1-1,5	411	41	19,5	1,8	0,3	15,1	78	12,3
9	0-0,5	451	53	5,8	1,9	1,1	76,5	276	40,2
10	1-1,5	159	11	2,6	0,0	0,2	11,7	15	0,2
11	0-0,5	257	101	6,2	3,4	0,4	14,0	73	23,3
12	1-1,5	910	78	7,9	1,8	0,1	9,4	62	11,6
13	0-0,5	255	40	5,0	0,2	0,2	1,1	18	5,6
14	1-1,5	513	40	7,8	2,4	0,3	8,5	165	21,0
15	0-0,5	541	20	2,5	0,3	0,09	1,8	100	11,5
16	1-1,5	251	59	11,9	5,2	1,0	9,8	197	51,9
ГДК		360,0	-	-	2,5	2,1	32,0	110	32

Найбільш забруднений виявився поверхневий шар (0-0,5 м) мулових карт (табл 2). У цьому горизонті тільки показники азоту, фосфору, ртуті і марганцю не перевищені значення ГДК. Так, вміст калію і кадмію у деяких картах перевищував ГДК у 4 рази, свинцю у два рази і цинку у 5 разів.

У горизонті 0,5-1,5 м на деяких картах відзначено перевищення значень ГДК по калію, кадмію, свинцю, цинку та міді у два рази.

Таким чином, аналіз результатів хімічного аналізу ґрунту на полях фільтрації біля с. Первозванівка показав, що використовувати верхній муловий шар як добрива, вирощувати на території сільськогосподарську продукцію або здійснювати випас тварин неможливо через вміст важких металів. Зрізати і виймати муловий осад з карт та вивозити його для утилізації на звалища недоцільно з економічної точки зору. Крім того, у цьому випадку постане питання рекультивації самих мулових карт, що також призведе до значних економічних витрат.

Найбільш оптимальним варіантом є використання сухих територій карт полів фільтрації разом з накопиченим мулом. У цьому випадку відбувається депонування накопиченого забруднення в горизонтах мулових карт і припиняється його розповсюдження у навколишнє середовище.

При проведенні рекультивації сухих ділянок полів фільтрації, як один з ефективних варіантів використання зазначеної території разом з накопиченим мулом є вирощування біоенергетичних технічних культур для виготовлення біопалива.

До енергетичних рослин європейської кліматичної зони відносять швидкорослі дерева (плантації різних видів верби і тополі), олійні культури (ріпак, рапс, льон), інші види рослин, наприклад, Копайфера Лангсдорфа, або трави (сорго, міскантус, топінамбур та ін.) Вони можуть використовуватися для спалювання

і виробництва тепла та електроенергії. Пріоритетом таких рослин є можливість вирощування їх на непридатних та забруднених ґрунтах.

Одним з найперспективніших серед групи трав'янистих енергетичних культур вважається miscanthus giganteus, який добре росте на деградованих ґрунтах. За сезон рослина досягає чотирьох метрів заввишки, містить 64-71% целюлози і досягає урожайності 35 т/га. Такі значення урожайності міскантуса при спалюванні виділяють стільки ж теплоти, скільки утворюється при спалюванні 15-20 тис. м^3 газу. Крім того, вирощування міскантуса забезпечує зменшення рівня токсичних речовин у ґрунті та підвищує його родючість [3].

Враховуючи хімічний склад мулів, що накопичилися на полях фільтрації очисних споруд с. Первозванівка, ще одним перспективним варіантом використання цієї території є створення розплідника саджанців лісових порід дерев (сосни, ялин тощо) та рослин, що використовуються для озеленення міст. Вирощування лісотехнічного матеріалу на полях фільтрації та використання мулових осадів як добрива для заліснення техногенних територій, не спричинить негативної дії саджанцям лісових культур та трав'яним клітковим рослинам, що використовуються для озеленення.

Для зневоднення ділянок полів фільтрації, що залиті водою, доцільно засаджувати їх вищими водяними рослинами (ВВР)[4]. До широко поширених ВВР в українських водоймах відносяться очерет звичайний, комиш озерний, рогоза та інші [5].

Умови життя ВВР тісно пов'язані з водним середовищем, тому інтенсивність транспірації у них дуже висока, а їх здатність створювати щільні зарості вздовж водоймищ дозволяє рослинам випаровувати значну кількість вологи. Так, інтенсивність транспірації в очерета складає 81-110 г/м^2 (160 т/га добу). При такому фільтруванні здійснюється інтенсивне зневоднення середовища та накопичення рослинами різноманітних сполук, які знаходяться у ґрунті або мулі. Крім того, відбувається не тільки зневоднення та очищення мулу, а і його знезараження.

Важливим для ефективності зневоднення полів фільтрації є вибір рослин. Вони повинні залишатися життєздатними у забрудненому стічними водами середовищі та виконувати фільтраційну, поглинальну та накопичувальну функції.

Обстеження території, що досліджувалась, виявило наявність на ній очерету, який добре прижився. Враховуючи таку особливість, доцільно збільшити площі насаджень цієї рослини, оскільки умови, що склалися на мулових картах будуть сприяти її розповсюдженню. Так, підвищений вміст органічних речовин використовується рослиною для інтенсивного вирощування надземної та підземної фітомаси. Розростаючись на картах, залитих водою, очерет забезпечуватиме їх зневоднення, а його коріння та мікроорганізми, що розвиваються у великій кількості в зоні кореневої системи, будуть сприяти перетворенню активного мулу на гумус, який за своїм складом наближається до добрива [6].

У процесі росту очерету мінеральні органічні речовини та важкі метали разом з током води надходять до фітомаси рослин, де зв'язуються і накопичуються як у надземній так і в підземній їх частинах. У такий спосіб шкідливі елементи вилучаються з колообігу, що перешкоджає надходженню їх до навколишнього повітряного та водного середовища [7]. Всі речовини, що накопичуються у підземній частині рослин, ідуть на відновлення фітоценозу у наступному вегетаційному циклі, а надземна фітомаса може видалятися зі споруд взимку і вивозитися на звалища твердих побутових відходів. При цьому буде відбуватися зменшення вмісту важких металів у мулових осадах, що сприятиме їх використанню як добрива при вирощуванні біоенергетичних рослин або саджанців лісових рослин.

Висновки. 1. Мулові осади полів фільтрації, що розташовані поблизу с. Первозванівка Кіровоградської області і не використовувалися з 2004 р року, є якісною сировиною для виготовлення органічних добрив. Механічний та хімічний склад зневоднених осадів близький до гумусу. Однак їх використання як добриво для вирощування сільськогосподарської продукції неможливе через наявність у них важких металів.

2. Найбільш економічно доцільним варіантом є використання території полів фільтрації разом з накопиченим мулом. У цьому випадку відбувається депонування накопиченого забруднення в горизонтах мулових карт і припиняється його розповсюдження у навколишнє середовище.

3. Хімічний склад накопичених мулових осадів допускає вирощування на території полів фільтрації культур не сільськогосподарського напряму, зокрема енергетичних культур для виготовлення біопалива або створення розплідника саджанців лісових порід дерев, які використовуються для озеленення територій.

4. Вирощування енергетичних рослин на рекультивованих полях фільтрації або створення розплідника для вирощування лісових порід дерев дозволить забезпечити від діяльності економічний ефект та створити додаткові робочі місця для місцевого населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кравченко В.І., Білоус Ю.В., Кравченко В.П. Створення та обгрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. *Технічні науки.* Херсон: ХДАЕУ. 2023. Вип. 3. С. 88-94. URL: http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403

2. Айрапетян Т.С. Очистка побутових стічних вод та споруди і обладнання. Харків. ХНУМГ, 2017. 121 с. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/33754521.pdf

3. Міскантус – перспективи і проблеми. Агроеліта Всеукраїнський аграрний журнал 05.06.2022 м. Тернопіль URL: https://agroelita.info/miskantus-perspektyvy-i-problemy/

4. Василюк Т. П. Ефект очищення стічних вод біологічним методом з використанням рослин виду eichornia crassipes martius за різного гідравлічного навантаження. Біотехнологія, Т. 2, № 1, 2009.с.99-106. URL: https://biotechnology.kiev.ua/images/BTA/2009/1_2009/Vasil1_2009.pdf

5. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. Київ: Обереги, 2001. 728 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/Підручник_6.pdf

6. Маджд С. М., Панченко А. О., Бондар А. М. Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів в біоінженерних гідрофітних спорудах. Наукоємні технології № 1 (33), 2017. С. 89-93. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2017_1_14

7. Глибоке очищення води. Компанія ТОВ «НВП ЕКОПОД», м. Київ URL: http://ecopod.com.ua/ua/ochisni-sporudi/gliboke-ochishchennya-vodi.html

REFERENCES:

1. Kravchenko V. I., Bilous Yu. V., Kravchenko V. P. (2023) Stvorennia ta obhruntuvannia kompozytnoho palyva na osnovi osadu stichnykh vod. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauk, 3, 88-94. Available at: http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403

2. Airapetian T.S. (2017) Ochystka pobutovykh stichnykh vod ta sporudy i obladnannia. Kharkiv. KhNUMH, 121 s. Available at: https://core.ac.uk/download/pdf/33754521.pdf.

3. Miskantus – perspektyvy i problemy. Ahroelita Vseukrainskyi ahrarnyi zhurnal 05.06.2022 m. Ternopil Available at: https://agroelita.info/miskantus-perspektyvy-i-problemy/

4. Vasyliuk T. P. (2009) Efekt ochyshchennia stichnykh vod biolohichnym metodom z vykorystanniam roslyn vydu eichornia crassipes martius za riznoho hidravlichnoho navantazhennia. BIOTEKhNOLOHIIa, T. 2, № 1, 99-106. Available at: https://biotechnology.kiev.ua/images/BTA/2009/1_2009/Vasil1_2009.pdf

5. Romanenko V.D. (2017) Osnovy hidroekolohii: pidruchnyk. Kyiv: Oberehy, 728 s. Available at: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/Підручник_6.pdf

6. Madzhd S. M., Panchenko A. O., Bondar A. M. (2017) Rol vyshchykh vodnykh roslyn u destruktsii zabrudniuvachiv v bioinzhenernykh hidrofitnykh sporudakh. Naukoiemni tekhnolohii № 1 (33), 89-93. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2017_1_14

7. Hlyboke ochyshchennia vody. Kompaniia TOV «NVP EKOPOD», m. Kyiv Available at: http://ecopod.com.ua/ua/ochisni-sporudi/gliboke-ochishchennya-vodi.html

УДК 621.382
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.31

РОЗРОБКА МЕТОДУ ГЕТЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЛАСНОГО ГЕТЕРА В ТЕХНОЛОГІЇ КРЕМНІЄВИХ ДІОДІВ

Литвиненко В. М. *– кандидат технічних наук,*
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9425-5551

Варикапи – напівпровідникові діоди, які широко використовуються в радіоелектроніці в якості змінної ємності, величина якої управляється напругою. Варикапи включені в схеми радіоприймачів і бездротових модулів для передачі даних, застосовуються в пристроях, де задіяні частотно-залежні ланцюги. Робота варикапа актуальна при перебудові частоти вузлів в електроапаратурі. Також варикапи використовуються в частотно-задавальних ланцюгах, оскільки дозволяють швидко і просто змінювати робочу частоту.

Однак слід зазначити, що вартість варикапів залишається порівняно високою, що пов'язано з низьким виходом придатних приладів. Це пояснюється високим рівнем зворотних струмів і низькими пробивними напругами варикапів, що визначається істотною залежністю зворотних характеристик варикапів від щільності структурних дефектів і домішок важких металів в їх активних областях. Робота присвячена виясненню причин та механізмів деградації зворотних характеристик кремнієвих варикапів з омічним контактом на основі нікелю в процесі відпалу плівки нікелю при формуванні омічного контакту та визначення можливості застосування операцій гетерування для запобігання деградації зворотних характеристик варикапів і підвищення виходу придатних приладів. Проведені експериментальні дослідження показали, що причиною деградації зворотних характеристик варикапів при формуванні омічного контакту на основі нікелю є проникнення в процесі відпалу плівки нікелю надлишкових атомів нікелю, які не були задіяні в утворені силіциду NiSi, в область об'ємного заряду p-n переходу. Докладно розглянута запропонована технологія виготовлення структур варикапів з омічним контактом на основі нікелю із застосуванням гетерування надлишкових атомів нікелю шляхом проведення додаткового низькотемпературного відпалу варикапних структур з використанням уже готового «власного гетера» – кордону розділу Si – NiSi. Показано, що розроблена технологія виготовлення структур варикапів із застосуванням гетерування дозволяє очистити активні області варикапів від атомів нікелю, що забезпечує суттєве зниження рівня зворотних струмів варикапів і підвищення виходу придатних приладів.

Ключові слова: *атоми нікелю, омічний контакт, гетерування, варикап, структурні дефекти, зворотний струм.*

Litvinenko V. M. Development of a hetering method using a proprietary heter in silicon diode technology

Varicaps are semiconductor diodes that are widely used in radio electronics as a variable capacitance, the value of which is controlled by voltage. Varicaps are included in the circuits of radio receivers and wireless modules for data transmission, used in devices where frequency-dependent circuits are involved. The operation of the varicap is relevant when adjusting the frequency of nodes in electrical equipment. Also, varicaps are used in frequency-setting circuits, as they allow you to quickly and easily change the operating frequency.

However, it should be noted that the cost of varicaps remains relatively high, which is due to the low output of suitable devices. This is explained by the high level of reverse currents and low breakdown voltages of varicaps, which is determined by the significant dependence of the reverse characteristics of varicaps on the density of structural defects and heavy metal impurities in their active areas. The work is devoted to elucidating the causes and mechanisms of the degradation of the reverse characteristics of silicon varicaps with an ohmic contact based on nickel in the process of annealing the nickel film during the formation of the ohmic contact and determining the possibility of applying heterization operations to prevent the degradation of the reverse characteristics of the varicaps and increase the output of suitable devices. Conducted experimental studies showed that the reason for the degradation of the reverse characteristics of

varicaps when forming an ohmic contact based on nickel is the penetration during the annealing of the nickel film of excess nickel atoms that were not involved in the formed NiSi silicide into the region of the volume charge of the p-n junction. The proposed technology for manufacturing varicap structures with ohmic contact based on nickel using heterization of excess nickel atoms by conducting additional low-temperature annealing of varicap structures using a ready-made «own getter» – Si – NiSi interface is considered in detail. It is shown that the developed technology for manufacturing varicap structures with the use of hetering allows to clean the active regions of varicaps from nickel atoms, which ensures a significant reduction in the level of reverse currents of varicaps and an increase in the output of suitable devices.

Key words: *nickel atoms, ohmic contact, heterization, varicap, structural defects, reverse current.*

Постановка проблеми. В технології кремнієвих діодів для виготовлення омічного контакту широко використовується нікель. У порівнянні з іншими металами (алюміній, молібден), нікель добре змочується припоєм і допускає приєднання провідників пайкою, утворює з кремнієм силіциди, стабільні в широкому діапазоні температур, допускає електролітичне формування локальних контактів. Перечисленні переваги дають можливість застосовувати простіші методи складання напівпровідникових приладів, виключити з технологічного процесу операції фотолітографії по металізації і підвищити, таким чином, ефективність виробництва приладів, понизити їх собівартість. З іншого боку використання нікелю в якості омічного контакту викликає проблеми, пов'язані з деградацією зворотної гілки ВАХ варикапів в процесі формування контакту. Як показали дослідження, основною причиною високого рівня зворотних струмів діодів являються структурні дефекти і домішки важких металів в активних областях діодів [1, 2]. З метою запобігання утворення структурних дефектів в кремнії та зменшення щільності уже утворених дефектів застосовуються різноманітні методи гетерування [2 – 4]. Але, як показала практика, використання операцій гетерування на початкових стадіях виготовлення діода не дозволяють повністю позбутися структурних дефектів і суттєво збільшити відсоток виходу придатних діодів. Зазвичай, біля 10% діодних структур, мають збільшені рівні зворотних струмів.

Метою даної роботи є дослідження причин деградації зворотних характеристик діода в процесі формування нікелевого омічного контакту, а також можливості застосування гетерування з використанням «власного» гетера для поліпшення його зворотних характеристик та підвищення виходу придатних приладів.

Експериментальні зразки. Досліджувані діодні структури виготовлялися за стандартною планарно-епітаксіальною технологією [5] на легованих фосфором кремнієвих епітаксіальних структурах n-типу провідності з питомим опором 1,8 Ом·см і товщиною 12 мкм, вирощених на кремнієвій підкладці, орієнтованій в кристалографічному напрямку (111). Для виготовлення діодних структур проводилися такі основні технологічні операції: – термічне окислення пластин за температури T = 1050°C з наступним чергуванням циклів окислювального середовища: сухий O_2 (15 хв) – пари води (100 хв) – сухий O_2 (20 хв) з послідуючим відпалом в середовищі аргону при температурі процесу окислення; – (I) фотолітографія для відкривання вікон у шарі діоксиду кремнію під дифузію бору; – (I) загонка бору методом відкритої труби з джерела домішки B_2O_3 за температури 1100°C протягом 35 хв у суміші аргону (90 л/год) і сухого кисню (3 л/год); – видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; – розгонку бору за температури 1150°C з наступним чергуванням циклів: розгонка в середовищі сухого кисню (15 хв) – розгонка в середовищі вологого кисню (5 год) – розгонка в середовищі сухого кисню (30 хв); – (II) фотолітографія для відкривання вікон у шарі діоксиду

кремнію для проведення загонки бору; – (II) загонка бору за температури 1050°С протягом 25 хв у суміші аргону (100 л/год) і кисню (5 л/год); – видалення шару боросилікатного скла з використанням розчину плавикової кислоти; – шліфування тильної сторони пластин до товщини 190-200мкм; – формування омічних контактів: хімічне осадження нікелю (Ni) з двох сторін пластини з подальшим відпалом плівки нікелю за температури 700°С у середовищі аргону (180 л/год) протягом 25 хв (в результаті взаємодії Ni з Si в процесі відпалу утворюється силіцид нікелю NiSi). Осаджена плівка нікелю має товщину порядку 1мкм.

Примітка. II загонка бору проводиться з метою ліквідації структурних дефектів, типу окислювальних дефектів упакування (ОДУ), в активних областях діодних структур. Застосування цього методу гетерування в технології діодів з омічним контактом на основі нікелю докладно розглянуто в роботі [6].

Дослідження структурних дефектів. Для вияснення причин низького відсотка виходу придатних діодів були проведені металографічні дослідження. Виявлення структурних дефектів проводили з використанням травника Сіртла. Вид структурних дефектів і їх щільність оцінювалися за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-Р1.

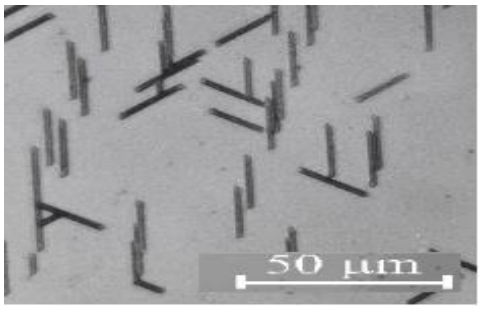


Рис. 1. Мікрофотографія поверхні епітаксіальної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення

На пластинах після проведення технологічної операції «термічне окислення» були виявлені окислювальні дефекти упакування (ОДУ) щільністю до $5 \cdot 10^5$ см$^{-2}$, при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 20 с (рис. 1).

Вибір технології гетерування. Для запобігання утворенню та ліквідації структурних дефектів у структурах кремнієвих діодів, зазвичай, застосовують гетерування – технологічний процес, що широко використовується у сучасному виробництві напівпровідникових приладів та інтегральних схем, які виготовляються на основі кремнію. З метою одержання високої ефективності гетерування дефектів необхідно забезпечити високу рухливість точкових дефектів в напівпровідниковому матеріалі, тому будь – який метод гетерування включає термообробку, температура і тривалість якої повинні бути достатні для дифузії домішок з областей формування приладів в область гетера [2]. Гетерування дозволяє накопичувати небажані домішки в неробочих ділянках пластин і повністю ліквідувати структурні дефекти або значно зменшити щільність дефектів в їх активних областях. Існують різні методи гетерування, які відрізняються: місцем розміщення гетера, гетеруючою фазою та способом створення гетера.

При виготовлені досліджуваного діода за базовою технологією з метою ліквідації ОДУ застосовується метод гетерування шляхом проведення додаткової

дифузії бору в робочу сторону пластин після розгонки бору (див. розділ «Експериментальні зразки», технологічна операція: «ІІ загонка бору») [6]. Проведені перед формуванням омічних контактів металографічні дослідження на варикапних структурах, що виготовлені із застосуванням додаткової дифузії бору, показали відсутність в них окислювальних дефектів упакування (рис. 2). Також, слід відмітити, що використання додаткової дифузії бору дало можливість підвищити вихід придатних діодних структур на 12-16%. Але, як показали дослідження, незважаючи на відсутність ОДУ, процес формування нікелевого омічного контакту негативно впливає на вихід придатних діодних структур, тобто призводить до його зниження на операції контролю варикапних структур за зворотним струмом.

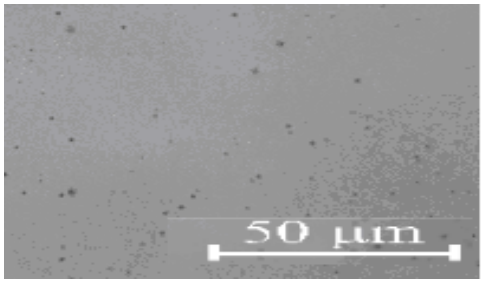


Рис. 2. Поверхня варикапної структури, виготовленої з використанням гетерування, перед хімічним осадженням нікелю

Для підтвердження того факту, що за збільшення рівня зворотних струмів відповідальний нікель, на діодних структурах, відбракованих за контролем зворотного струму, було проведено дослідження енергетичного спектру носіїв заряду методом нестаціонарної ємнісної спектроскопії глибоких рівнів (DLTS) [7], яке показало наявність глибоких центрів в забороненій зоні кремнію, які відповідають нікелю. Вплив процесу формування нікелевого омічного контакту на рівень зворотних струмів варикапу при відсутності ОДУ можна представити наступним чином. Відомо [8], що при термічному відпалі кремнієвих пластин з нанесеною плівкою нікелю утворюються силіциди. В загальному випадку, в залежності від температури відпалу, мають місце послідовні стадії зростання трьох фаз силіцидів: Ni_2Si, NiSi і $NiSi_2$. Процес відпалу плівки нікелю і зростання силіциду нікелю супроводжуються відривом атомів кремнію від поверхні і генерацією вакансій на кордоні розділу кремній – силіцид. Тому в процесі відпалу плівки нікелю (T=700°C) і зростання силіциду нікелю на кордоні розділу кремній силіцид підтримується висока концентрація вакансій. Не всі атоми нікелю можуть бути задіяні в утворені силіциду нікелю NiSi, що є кінцевою фазою відпалу плівки нікелю в атмосфері аргону у діапазоні температур 350-750°C [27]. Значна кількість надлишкових атомів нікелю, які не були задіяні в утворені силіциду NiSi, з урахуванням високої концентрації вакансій, знаходяться в узлах кристалічної структури кремнію біля кордону розділу Si – NiSi. Поява надлишкових атомів нікелю і рівень їх концентрації можуть залежати від концентрації точкових дефектів (типу дефектів за Френкелем), під осадженою плівкою нікелю, механічних напружень на кордоні Si – NiSi, флуктуації товщини осадженої плівки нікелю по площі пластини та між окремими процессами осадження плівки нікелю тощо. В процесі зростання силіциду нікелю надлишкові атоми нікелю переходять із вузлів кристалічної решітки кремнію в міжвузля і по ним дифундують в область об′ємного заряду p^+-n

переходу, де за рахунок високої концентрації вакансій знову переходять в узли кристалічної решітки кремнію і стають електрично активними. Вплив нікеля на зворотний струм p-n переходу пов′язаний з утворенням ним в забороненій зоні кремнію двох акцепторних рівнів, які викликають додаткову генерацію носіїв струму в області об′ємного заряду p-n переходу [9].

Для вирішення проблеми деградації зворотних характеристик варикапа в процесі формування омічного контакту на основі нікелю були випробувані декілька методів низькотемпературного гетерування дефектів (методи гетерування з використанням високотемпературного відпалу застосувати в нашому випадку неможливо із-за деградації деяких параметрів варикапу, порушення структури омічного контакту, тощо). На основі аналізу проведених експериментальних досліджень, був запропонований в якості гетеруючого процесу додатковий відпал пластин, який проводиться після завершення формування омічного контакту на основі нікелю, з наступними допустимими межами режимів відпалу: T=260-360°C протягом 25-60хв; атмосфера проведення відпалу: аргон. При цьому в якості уже готового «власного гетера» використовується кордон розділу Si – NiSi.

Для випробування запропонованої технології виготовлення структур варикапа були сформовані дослідні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена за базовою технологією, інша частина – за розробленою технологією з використанням низькотемпературного гетерування. Додатковий відпал пластин після закінчення формування нікелевого омічного контакту проводився за температури 300°C протягом 45 хв у атмосфері аргону (150 л/год).

Ефективність використання низькотемпературного відпалу оцінювалася за відсотком виходу придатних діодних структур за контролем зворотного струму ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 0,5$ мкА при зворотній напрузі 40 В.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики базової і розробленої технологій за значенням зворотного струму

Технологія виготовлення діодних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних діодних структур за значенням зворотного струму, %
Базова (без використання додаткового відпалу)	1	82,6
	2	84,9
	3	87,5
Розроблена (з додатковим відпалом в атмосфері аргону за температури 300°C протягом 45 хв)	4	91,8
	5	92,3
	6	93,7

У таблиці 1 наведені порівняльні результати розбраковки за зворотним струмом діодних структур, що виготовлені за базовою (партії № 1-3) і розробленою (партії № 4-6) технологіями. Видно, що використання запропонованої технології дає можливість підвищити вихід придатних діодних структур у середньому на 7,6%.

Зворотні ВАХ досліджуваних діодних структур, виготовлених з використанням низькотемпературного гетерування (крива 2 на рис. 3), є типовою для кремнієвого діода, в активних областях якого відсутні структурні дефекти та небажані домішки. І навпаки, діодна структура, виготовлена за базовою технологією, має

так звану «м'яку» ВАХ (крива 1), вигляд якої може вказувати на наявність в активних областях діода домішок важких металів.

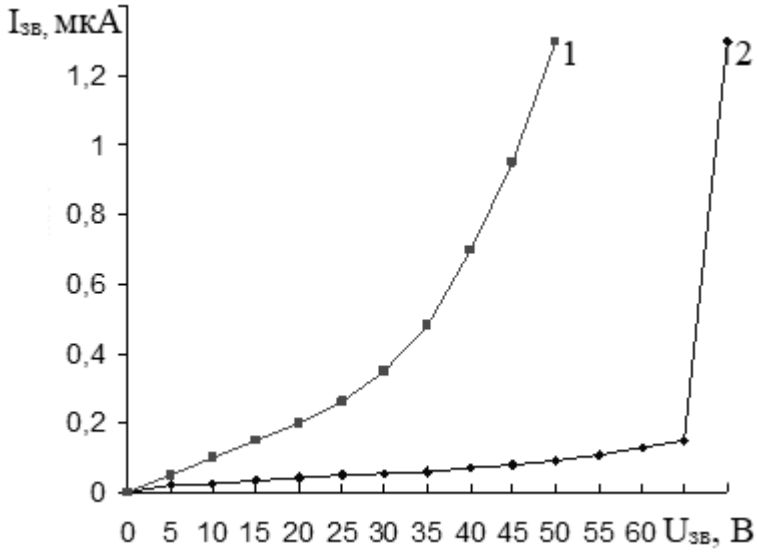


Рис. 3. Типові зворотні ВАХ діодних структур, виготовлених за базовою технологією (1) та з використанням низькотемпературного гетерування (2)

З порівняння кривих 1 і 2 видно, що діодні структури, виготовлені за базовою технологією (крива 1), мають рівень зворотних струмів при $U_{зв}$ = 40В у порівняні з діодними структурами, виготовленими з використанням низькотемпературного гетерування (крива 2) вищий приблизно в 9 разів.

Вплив проведеного додаткового відпалу діодних структур після закінчення формування нікелевого омічного контакту в середовищі аргону на параметри діода можна пояснити наступним чином. Додатковий відпал проводиться після завершення формування силіциду нікелю NiSi і, тому не супроводжується додатковою генерацією вакансій. При порівняно низькій температурі відпалу (T=300°C) суттєво знижується гранична розчинність міжвузольних атомів нікелю і рівноважна концентрація вакансій в p^+ – області діодів. Кордон розділу Si – NiSi служить стоком (гетером) для атомів нікелю і надлишкові атоми нікелю переходять з вузлів в міжвузля і по ним дифундують до області гетера і, таким чином, видаляються з області об'ємного заряду p^+ – n переходу (тут треба врахувати, що нікель має в кремнії високий коефіцієнт дифузії, який перевищує на декілька порядків коефіцієнт дифузії в кремнії атомів легуючих домішок, таких як бор і фосфор).

Висновки. Спираючись на проведені експериментальні дослідження можна зробити висновок, що причина деградації зворотних характеристик діодних структур в процесі формування омічного контакту на основі нікелю при відсутності структурних дефектів, типу ОДУ, в активних областях діода пов'язана з проникненням надлишкових атомів нікелю, що не були задіяні в утворені силіциду нікелю NiSi, в область об'ємного заряду p^+ – n переходу. Застосування розробленої технології виготовлення структур діодів з використанням гетерування за допомогою

проведення низькотемпературного відпалу діодних структур в атмосфері аргону після завершення формування омічного контакту на основі нікелю дозволяє вивести з області об′ємного заряду p^+ – n переходу атоми нікелю, у результаті чого знижується рівень зворотних струмів діодів і, як наслідок, підвищується відсоток виходу придатних приладів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. Impurities and defects in silicon single crystal //Progress Crystal Growth and Characterization, 1987. Vol. 15. № 2. P. 97-131.

2. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.

3. Lecrosnler D., Paugam J., Richou F. et al. Influence of phosphuuuorus-induced point defects on a gold- gettering mechanism in silicon // J. Appl. Phys., 1980. Vol. 51. № 2. P. 1036-1040.

4. Литвиненко В.М., Богач М.В. Моделювання процесів гетерування швидкодифундуючих домішок в технології діодів Шотткі. Вісник ХНТУ, 2019. Т.68. № 1. С. 25-33.

5. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224 с.

6. Литвиненко В.М., Волос О.О., Шутов С.В., Самойлов М.О. Оптимізація технології виготовлення варикапів з омічними контактами на основі Ni та Al // Біомедична інженерія та електроніка. № 5, 2017. С. 120-131.

7. Мельник П.І., Новосядлий С.П., Бережанський В.М., Вівчарук В.М. Спектрометрія в субмікронній технології ВІС // Фізика і хімія твердого тіла, 2007. Т. 8. № 4. С. 791-800.

8. Murarka S.P. Silicides for VLSI Applications. Academic Press. 1983. 200 p.

9. Milnes A. G. Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 1973. 526 p.

REFERENCES:

1. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. (1987) Impurities and defects in silicon single crystal //Progress Crystal Growth and Characterization, 15(2), 97-131.

2. Ravi K.V. (1981) Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 379 p.

3. Lecrosnler D., Paugam J., Richou F. et al. (1980) Influence of phosphuuuorus-induced point defects on a gold- gettering mechanism in silicon // J. Appl. Phys, 51(2), 1036-1040.

4. Litvinenko V. N., Bohach N. V. (2019) Modeling of heterization processes of fast-diffusing impurities in Schottky diode technology. Visnyk of KhNTU, iss. 68(1), pp. 25–33. [in Ukrainian]

5. Pavlov S. M. (2010) Fundamentals of microelectronics. Tutorial. Vinnytsia: VNTU, 224p. [in Ukrainian]

6. Litvinenko V. N., Volos O.O., Shutov S.V., Samoilov M.O. (2017) Optimization of the manufacturing technology of varicaps with ohmic contacts based on Ni and Al // Biomedical engineering and electronics, iss. 5, pp.120-131. [in Ukrainian]

7. Melnyk P.I., Novosyadlyi S.P., Berezhanskyi V.M., Vivcharuk V.M. (2007) Spectrometry in submicron VIS technology // Physics and chemistry of solid state, vol. 8, iss. 3, pp. 791–800. [in Ukrainian]

8. Murarka S.P. (1983) Silicides for VLSI Applications. Academic Press, 200 p.

9. Milnes A. G. (1973) Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 526 p.

УДК 355.58
DOI https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.32

АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Рашкевич Н. В. *– доктор філософії, доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України*
ORCID ID: 0000-0001-5124-6068

Плотников І. В. *– директор ТОВ «ТЕЛЕКОМ КОМПЛЕКС»*
ORCID ID: 0009-0009-0764-3192

Отрош Ю. А. *– доктор технічних наук, професор, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України*
ORCID ID: 0000-0003-0698-2888

Чучмай О. М. *– кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури*
ORCID ID: 0000-0002-5856-623X

В роботі проведений аналіз стану забезпечення безпеки гідроакумулювальних електростанцій (ГАЕС) в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру. Виділені основні компоненти та системи гідротехнічних споруд, серед яких водосховища, водоводи, гідротурбіни та генератори, трансформатори, насоси, допоміжне обладнання, системи керування та автоматизації, інженерні споруди, що забезпечують стійкість та надійність ГАЕС під час їхньої експлуатації та в умовах надзвичайних ситуацій. Особливу увагу приділено аналізу режимів роботи автоматизованих систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення (АСРВО). Визначено, що основною метою АСРВО є своєчасне виявлення ознак потенційної надзвичайної ситуації, таких як пожежі, природні катастрофи, техногенні аварії або військові загрози, з метою мінімізації ризиків для населення та забезпечення ефективного проведення евакуаційних заходів. АСРВО функціонує в двох ключових режимах: передаварійному і аварійному. Передаварійний режим дозволяє готуватися до можливих надзвичайних ситуацій та попереджати їх, тоді як аварійний режим забезпечує швидке та ефективне реагування в разі виникнення аварій. Надано рекомендації щодо вдосконалення заходів безпеки та управління ризиками на ГАЕС, що пов'язані з модернізацією АСРВО, підвищення рівня стійкості споруд, постійним оновленням планів евакуацій, проведенням навчань для персоналу та місцевого населення, посилення профілактичного обслуговування, застосування інноваційних технологій моніторингу, поліпшення систем управління ризиками. Стаття також підкреслює важливість подальших досліджень у напрямку розробки більш інтегрованих і адаптивних підходів до забезпечення стійкості основних конструктивних елементів об'єктів критичної інфраструктури в умовах підвищеного ризику.

Ключові слова: *надзвичайна ситуація, виявлення загрози, оповіщення населення, моніторинг, гідроакумулювальні електростанції.*

Rashkevich N. V., Plotnykov I. V., Otrosh Yu. A., Chuchmai O. M. Analysis of the status of security ensurement of hydrotechnical structures

The paper analyzes the state of ensuring the safety of hydroelectric power plants (HAPP) in the conditions of man-made or natural emergency situations. The main components and systems of hydrotechnical structures are highlighted, including reservoirs, water pipes, hydro turbines and generators, transformers, pumps, auxiliary equipment, control and automation systems, engineering structures that ensure the stability and reliability of HPPs during their operation and in emergency situations. Special attention was paid to the analysis of the modes of operation

of automated systems for early detection of the threat of emergency situations and population notification (ASRVO). It was determined that the main goal of ASRVO is the timely detection of signs of a potential emergency situation, such as fires, natural disasters, man-made accidents or military threats, in order to minimize risks for the population and ensure effective evacuation measures. ASRVO functions in two key modes: pre-emergency and emergency. Pre-emergency mode allows you to prepare for possible emergency situations and prevent them, while emergency mode ensures a quick and effective response in the event of accidents. Recommendations were made on improving safety measures and risk management at the gas power plant, related to the modernization of ASRVO, increasing the level of stability of structures, constantly updating evacuation plans, conducting training for staff and the local population, strengthening preventive maintenance, applying innovative monitoring technologies, improving management systems risks. The article also emphasizes the importance of further research in the direction of developing more integrated and adaptive approaches to ensuring the stability of the main structural elements of critical infrastructure objects in conditions of increased risk.

Key words: *emergency, detection threat, notification public, monitoring, hydroelectric power plants.*

Вступ. Надзвичайні ситуації (НС) на гідротехнічних спорудах, таких як греблі, водосховища, канали та інші водні об'єкти, можуть представляти серйозну загрозу для населення та довкілля.

Ефективне управління безпекою гідротехнічних споруд потребує комплексного підходу, який включає постійний моніторинг, профілактичне обслуговування, сучасні методи прогнозування можливих аварій та швидке реагування на НС.

Важливим елементом забезпечення стійкості енергетичної інфраструктури є автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення НС та оповіщення населення (АСРВО).

Мета дослідження. Метою роботи є проаналізувати стан забезпечення безпеки гідроакумулювальних електростанцій внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або природнього характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Здебільшого наукові роботи присвячені прогнозуванню ризиків виникнення аварій на гідротехнічних спорудах [1, 2], аналізу основними причин [3, 4]. Дослідниками розглядаються конструктивні дефекти через помилки у проектуванні або будівництві, що призводять до структурних слабкостей [5]. Природні фактори, такі як землетруси, повені та зсуви ґрунту, можуть завдати серйозних пошкоджень або навіть зруйнувати споруди [6]. Зношення та корозія матеріалів з часом погіршують міцність і надійність гідротехнічних споруд. Недостатнє обслуговування та несвоєчасний ремонт, помилки персоналу або умисні дії, можуть призвести до катастрофічних наслідків [7].

Науковці підкреслюють наслідки небезпеки при проривах (руйнувань) [8, 9]. Прорив греблі або водосховища може спричинити раптове і сильне затоплення великих територій, що створює пряму загрозу для мешканців, які проживають у зоні ризику. Це часто ускладнює евакуацію населення через обмежений час для реагування. Такі аварії також призводять до руйнування інфраструктури, зокрема житлових будинків, доріг, мостів та інших важливих об'єктів [10]. Потоки води можуть переносити токсичні або забруднювальні речовини у водойми, негативно впливаючи на флору і фауну, а також на якість води, яка використовується для пиття та зрошення.

Основними регламентуючими документами щодо забезпечення безпеки на гідротехнічних спорудах є Кодекс цивільного захисту України [11], ДБН В.2.5-76:2014 Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення [12]. Для зниження ризиків виникнення аварій на гідротехнічних спорудах, усунення причин небезпеки, обмеження поширення

наслідків необхідний ефективний моніторинг з використанням сучасних технологій для постійного контролю за станом споруд в режимі реального часу з різних джерел.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо основні компоненти та системи, які використовуються для накопичення, транспортування, перетворення та управління енергією води з метою виробництва електроенергії.

1. Водосховища. Верхнє водосховище використовується для зберігання води, яка буде скинута для генерації електроенергії під час пікових навантажень. Нижнє – приймає воду, яка скидається з верхнього водосховища, і зберігає її для зворотного перекачування в періоди низького навантаження.

2. Водоводи. Підвідні водоводи транспортують воду з верхнього водосховища до турбін. Відвідні – відводять воду від турбін до нижнього водосховища.

3. Гідротурбіни. Турбіни перетворюють енергію води в механічну енергію, яка потім передається на генератори. Вода з верхнього водосховища через підвідні тунелі спрямовується на турбіни під великим тиском. Потрапляючи на лопатки турбіни, вода передає їм свою кінетичну та потенційну енергію, що призводить до обертання лопаток. Це обертання перетворює енергію потоку води в механічну енергію, яка через вал турбіни передається на ротор генератора.

Ефективність турбін залежить від конструкції, матеріалів, оптимізації режимів роботи та регулярного обслуговування. Використання високоякісних матеріалів та сучасних технологій забезпечує мінімальні втрати енергії. Оптимізація режимів роботи дозволяє турбінам працювати у найбільш ефективному режимі для даних умов потоку води. Регулярне обслуговування та своєчасний ремонт дозволяють підтримувати високу ефективність турбін.

4. Генератори. Пристрої, які перетворюють механічну енергію обертових турбін на електричну енергію.

5. Трансформатори. Використовуються для перетворення напруги виробленої електроенергії на рівень, придатний для передачі по електричних мережах.

6. Насоси. Пристрої, які забезпечують перекачування води з нижнього водосховища назад у верхнє під час періодів низького навантаження. Це дозволяє накопичувати потенційну енергію води для подальшого використання під час пікових навантажень. У періоди низького енергоспоживання, коли вартість електроенергії нижча, насоси використовують надлишкову електроенергію для перекачування води з нижнього водосховища у верхнє, що дозволяє акумулювати енергію у вигляді потенціальної енергії води в верхньому водосховищі. На ГАЕС часто використовуються реверсивні насоси-турбіни, які можуть працювати як в режимі насосу, так і в режимі турбіни. У режимі насосу вони перекачують воду вверх, а в режимі турбіни використовують її для генерації електроенергії. Також використовуються насоси зворотної дії, які спеціально розроблені для роботи в режимі зворотного потоку, забезпечуючи ефективне перекачування води. Вони можуть швидко переключатися між режимами насосу і турбіни залежно від потреб енергосистеми.

7. Системи керування та автоматизації. Використовуються для дистанційного моніторингу та управління різними компонентами ГАЕС.

8. Допоміжне обладнання, а саме клапани та затвори, системи охолодження, тощо.

9. Інфраструктура. Включає машинні зали, диспетчерські пункти, тунелі, канали, греблі та інші інженерні споруди, необхідні для функціонування ГАЕС.

Кожен з розглянутих компонентів та систем відіграє важливу роль у забезпеченні ефективної та надійної роботи ГАЕС, дозволяючи зберігати енергію у вигляді потенціальної енергії води та використовувати її для виробництва електроенергії.

АСРВО впроваджується для виявлення ознак загрози виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті шляхом контролю значень параметрів джерел первинної інформації та визначення можливих сценаріїв її розвитку, а також, у разі необхідності, оповіщення працівників та керівників об'єкту, відповідальних за стан техногенної безпеки, посадових осіб органів виконавчої влади та місцевого самоврядування і населення.

АСРВО можуть працювати як в передаварійному режимі, так й в аварійному режимі (рис. 1) [13].

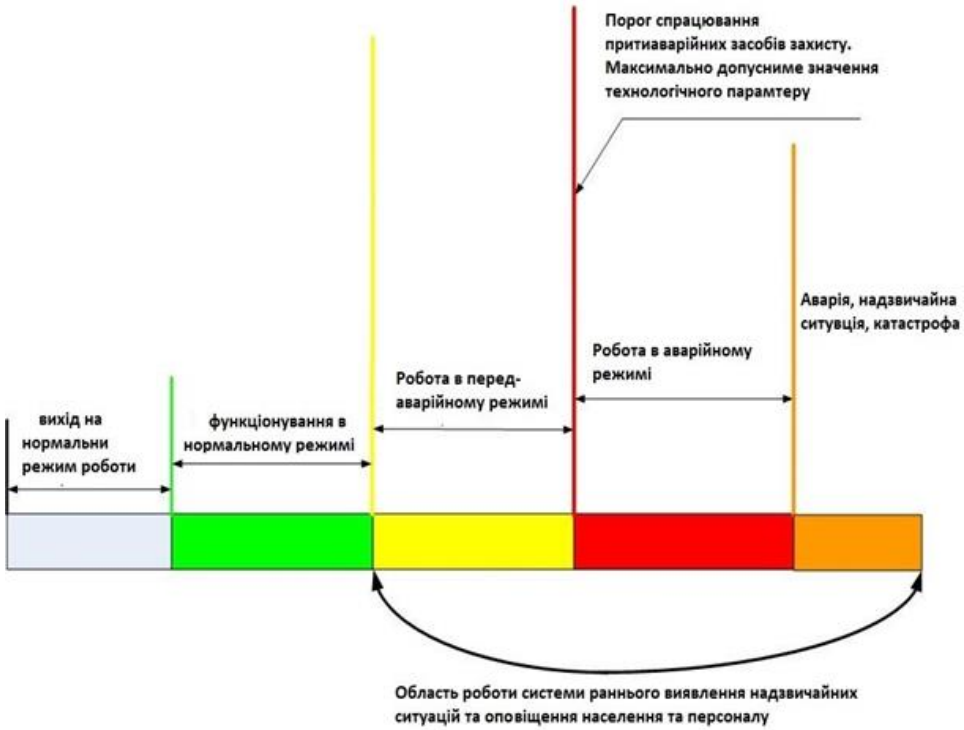


Рис. 1. Можливі режими роботи АСРВО

У передаварійному режимі АСРВО здійснюють моніторинг параметрів та умов, які можуть свідчити про можливі НС. Це включає:

1) збір та аналіз даних (системи збирають інформацію з різних датчиків та сенсорів, які фіксують зміни в параметрах середовища, таких як температура, тиск, рівень газів, вологість тощо);

2) прогнозування та моделювання (на основі зібраних даних АСРВО можуть прогнозувати розвиток подій і моделювати можливі сценарії аварій);

3) попередження та оповіщення (у разі виявлення потенційно небезпечних змін, система автоматично генерує попередження для персоналу та керівництва об'єкта, а також може передавати інформацію до відповідних служб).

Коли виникає аварійна ситуація, АСРВО переходять в аварійний режим, який характеризується діями:

1) швидка реакція (система автоматично виявляє аварію та активує протоколи реагування. Це включає негайне оповіщення всіх відповідних осіб та служб);

2) координація дій (АСРВО допомагають координувати дії підрозділів аварійного реагування, надаючи їм актуальну інформацію про стан об'єкта та масштаби аварії);

3) мінімізація наслідків (завдяки оперативному втручанню можна швидко локалізувати аварію, зменшити ризики для людей та навколишнього середовища, а також мінімізувати матеріальні збитки);

4) документування події (система автоматично фіксує всі дані про аварію та дії, що були вжиті, що дозволяє надалі аналізувати ситуацію та вдосконалювати протоколи безпеки).

Ефективність АСРВО базуються на сенсорах та датчиках, які надійно моніторять такі параметри, як рівень води, тиск, температура, вібрація, віддаленість від потенційно небезпечних зон, тощо (таблиця 1). Зібрані дані періодично аналізуються з використанням спеціальних алгоритмів та моделей, що дозволяють виявляти аномалії та відхилення від нормального режиму роботи. На основі результатів аналізу системи визначають можливі загрози та НС.

Таблиця 1

Основні об'єкти та параметри контролю

Об'єкт контролю	**Параметр контролю**			**Спосіб контролю**
	Докритичний рівень	**Критичний рівень**	**Аварія**	
Затоплення приміщень	Поява води (рівень 1)	Рівень 2	Рівень 3	Рівнемір
Загазованість приміщень	10% НКПВ	20% НКПВ	–	Газоаналізатор
Рівень води (верхній б'єф)	Номінальний рівень + 0.5 м (230 м)	Верхня відмітка дамби – 2 м (231 м)	–	Рівнемір
Рівень води (нижній б'єф)	Номінальний рівень + 0.8 м (75.2 м)	Верхня відмітка дамби – 1 м (76.0 м)	–	Рівнемір
Швидкість обертів валу генератора	Номінальна частота обертання + 20 об./хв (170 об./хв)	Розгінна частота обертання (210 об./хв)	Максимальна розгінна частота обертання протягом > 3-х хвилин (240 об./хв)	Тахометр
Стан гідротехнічної споруди	Загрожуючий рівень (інтегральний параметр)	Критичний рівень (встановлене значення	Руйнування споруди (фіксація факту)	Дані від автоматизованої системи контролю

Серед небезпек на гідроагрегаті можна виділити загрози:

а) пов'язаних з аваріями, що зумовили затоплення у інших спорудах гідроелектростанції;

б) пов'язаних із аваріями та затопленнями, що виникли внаслідок переповнення водосховищ (рівні води у верхньому та нижньому б'єфах);

в) пов'язаних із руйнуванням гідротехнічних споруд нагірно-станційного вузла та захисних споруд населених пунктів;

г) пов'язаних із аваріями, що виникли внаслідок небезпечної (руйнівної для гідроагрегата) частоти обертання вала;

д) пов'язаних із вибухами у приміщеннях зберігання балонів під тиском з пропан-бутаном та киснем, а також у акумуляторах.

У разі виявлення потенційно небезпечних ситуацій АСРВО автоматично генерують попередження та активують сигналізацію, щоб сповістити операторів та відповідні служби про небезпеку. Після виявлення загрози системи можуть автоматично виконувати певні заходи для мінімізації ризиків, наприклад, запускати аварійні засуви, вимикати обладнання, активувати системи аварійного затримання чи розпочинати евакуаційні процедури.

АСРВО будуються на базі сучасних апаратно-програмних засобів контролю, управління та зв'язку, яка працює цілодобово у режимі реального часу. Інформація про характер та рівень подій на об'єкті й навколо нього відображується на моніторі пульта управління автоматизованим комплексом виявлення та оповіщення (ПУ АКВО).

Інформація про технологічні (фізичні) параметри, що нагромаджується на ГАЕС, а також копії мовних та формалізованих повідомлень записуються в електронну пам'ять базового блоку (ББ) ПУ АКВО, де й зберігаються (архівуються).

Вмонтовані у ББ ПУ АКВО засоби взаємодії з мережами зв'язку дають змогу передавати інформацію телефонною мережею загального користування (мережами мобільного зв'язку та провідного зв'язку), а також каналами VPN, організованими у мережі TCP/IP.

До рекомендацій щодо вдосконалення заходів безпеки та управління ризиками на ГАЕС можна віднести: впровадження більш чутливих та надійних датчиків для моніторингу стану гідротехнічних споруд; інтеграцію АСРВО з національними та регіональними системами оповіщення; постійне оновлення і адаптацію планів евакуації населення в залежності від можливих НС, регулярне проведення навчань для персоналу та місцевого населення, що проживає поблизу ГАЕС, для покращення навичок реагування у разі аварійних ситуацій; впровадження дистанційного моніторингу стану споруд за допомогою супутникових технологій, що дозволить своєчасно виявляти потенційні загрози, такі як зсуви чи тріщини у дамбах, використання дронів для регулярної перевірки важкодоступних ділянок гідротехнічних споруд; підвищення взаємодії між операторами ГАЕС, місцевими органами влади та підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій для ефективної координації дій у разі НС.

Особливу увагу слід приділити підвищенню рівня стійкості гідротехнічних споруд за рахунок впровадження комплексу заходів, що сприятимуть зменшенню ризиків та підвищенню надійності конструкцій під час експлуатації і в умовах надзвичайних ситуацій. Перш за все, слід регулярно проводити модернізацію ключових конструктивних елементів, таких як дамби, водосховища, водоводи та гідротурбіни, з використанням новітніх будівельних матеріалів, що мають підвищену стійкість до фізичних і хімічних навантажень. Це допоможе забезпечити

стійкість споруд до таких факторів, як ерозія, зсуви, коливання температур та агресивний вплив водних потоків.

Також, важливо розробити та впровадити нові стандарти будівництва та обслуговування гідротехнічних споруд, що враховують сучасні виклики, пов'язані з кліматичними змінами і збільшенням частоти природних катастроф. Важливим кроком є перехід на використання сейсмостійких технологій, які забезпечують збереження цілісності споруд у разі землетрусів.

Крім того, необхідно враховувати стійкість інженерних споруд до водних ударів, що можуть виникнути в разі аварій або прориву дамб. Для цього розробляти резервні системи відведення води та захисні бар'єри, що здатні локалізувати масштабні викиди води і зменшити потенційні руйнування. Такі заходи допоможуть мінімізувати ризик розповсюдження негативних наслідків аварій і захистити прилеглі території від катастрофічних затоплень.

Висновки. Функціонування об'єктів критичної інфраструктури, що мають специфіку технологічного процесу, до яких належать гідротехнічні споруди, потребує комплексного підходу до забезпечення безпеки.

Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення являють собою системи класу «людина-машина», що будуються із використанням сучасних засобів контрольно-вимірювальної та обчислювальної техніки. Впровадження даних систем з урахуванням інновацій дозволить попередити виникнення небезпеки, а вразі її настання – суттєво підвищить рівень реагування оперативна-диспетчерського персоналу гідротехнічних об'єктів на можливість виникнення передумов, обмежить подальший розвиток аварійних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Taranov R., Lebskaia T. Methods and principles of forecasting risks of accidents on hazardous hydrotechnical objects. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 492. № 1. 012010.

2. Stefanyshyn D., Benatov D. Application of a logical-probabilistic method of failure and fault trees for predicting emergency situations at pressure hydraulic facilities (the case of Kakhovka hydroelectric complex). *Eastern European journal of advanced technologies*. 2020. № 4/2 (106). P. 55–69.

3. Прощин І. Аналіз факторів та фізико-географічних умов що впливають на причини виникнення аварій на гідротехнічних спорудах. *Social Development and Security.* 2023. № 13(3). С. 196–205.

4. Barliba L., Eles G., Barliba C., Barliba C. Monitoring the behavior of hydrotechnical constructions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. 2017. № 17. P. 275–282.

5. Medved I., Otrosh Yu., Rashkevich N. Optimization of building structures. *Mechanics and mathematical methods*. VI/1/2024. С. 17–25. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-17-25

6. Пурденко Р.Р., Отрош Ю.А., Рашкевич Н.В., Сур'янінов М.Г. Моделювання стійкості та надійності системи грунт-фундамент-будівля при дії силових та високотемпературних впливів. *Механіка та математичні методи*. VI/1/2024. С. 36–48. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-36-48

7. Romin A., Rashkevich N., Otrosh Yu. *Overview of the modeling approaches of the technical condition of used building structures under force, deformation and high-temperature influences*. Exploring the digital landscape: interdisciplinary perspectives. Monograph. Copyright by Academy of Silesia, Katowice, 2024. P. 582–592. DOI: 10.54264/M036

8. Мурасов Р., Тертишний Б. Методика розрахунку наслідків при проривах (руйнування) гідротехнічних споруд критичної інфраструктури. *Social Development and Security*. 2022. № 12(6). С. 140–152.

9. Wang T., Li Z., Ge W., Zhang H., Zhang Y., Sun H., Jiao Y. Risk consequence assessment of dam breach in cascade reservoirs considering risk transmission and superposition. *Energy*. 2023. № 265. 126315.

10. Отрош Ю.А., Майборода Р.І., Рашкевич Н.В., Ромін А.В. Дослідження методик розрахунку прогресуючого обвалення. *Механіка та математичні методи*. V/2/2023. С. 25–40. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40

11. Кодекс цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст. 458. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text

12. ДБН В.2.5-76:2014 Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення. Зі Зміною № 1. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=57710

13. Плотников І.В., Рашкевич Н.В. Область роботи автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій на гідроакумульованих електростанціях. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Problems of Emergency Situations».* Харків: НУЦЗ України, 2024 р. С. 85–86.

REFERENCES:

1. Taranov, R., Lebskaia, T. (2019). Methods and principles of forecasting risks of accidents on hazardous hydrotechnical objects. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 492, 1, 012010.

2. Stefanyshyn, D., Benatov, D. (2020). Application of a logical-probabilistic method of failure and fault trees for predicting emergency situations at pressure hydraulic facilities (the case of Kakhovka hydroelectric complex). *Eastern European journal of advanced technologies*, 4(2-106), 55–69.

3. Proshchyn, I. (2023). Analysis of factors and physical and geographical conditions that influence the causes of accidents at hydrotechnical structures. *Social Development and Security*, 13(3), 196–205.

4. Barliba, L., Eles, G., Barliba, C., Barliba, C. (2017). Monitoring the behavior of hydrotechnical constructions. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17, 275–282.

5. Medved, I., Otrosh, Yu., Rashkevich, N. (2024). Optimization of building structures. *Mechanics and mathematical methods*, VI/1/2024, 17–25. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-17-25

6. Purdenko, R., Otrosh, Yu., Rashkevich, N., Suryaninov, S. (2024). Simulation of stability and reliability of the soilfoundation-building system under force and hightemperature influences. *Mechanics and mathematical methods,* VI/1/2024, 36–48. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2024-6-1-36-48

7. Romin, A., Rashkevich, N., Otrosh, Yu. *Overview of the modeling approaches of the technical condition of used building structures under force, deformation and high-temperature influences*. Exploring the digital landscape: interdisciplinary perspectives. Monograph. Copyright by Academy of Silesia, Katowice, 2024. P. 582–592. DOI: 10.54264/M036

8. Murasov, R., Tertyshnyy, B. (2022). Method of calculating the consequences of breaking (destruction) of hydrotechnical structures of critical infrastructure. *Social Development and Security*, 12(6), 140–152 [in Ukrainian].

9. Wang, T., Li, Z., Ge, W., Zhang, H., Zhang, Y., Sun, H., Jiao, Y. (2023). Risk consequence assessment of dam breach in cascade reservoirs considering risk transmission and superposition. *Energy*, 265, 126315.

10. Otrosh, Yu., Maiboroda, R., Rashkevich, N., Romin, A. (2023). Research of progressive collapsing calculation methods. *Mechanics and mathematical methods*, V/2/2023, 25–40. URL: https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40 [in Ukrainian].

11. Kodeks tsyvil′noho zakhystu Ukrayiny. Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2013, 34-35, st.458. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text [in Ukrainian].

12. DBN V.2.5-76:2014 Avtomatyzovani systemy rann′oho vyyavlennya zahrozy vynyknennya nadzvychaynykh sytuatsiy ta opovishchennya naselennya. Zi Zminoyu № 1. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=57710 [in Ukrainian].

13. Plotnikov, I.V., Rashkevich, N.V. (2024). Oblast′ roboty avtomatyzovanykh system rann′oho nalashtuvannya nadzvychaynykh sytuatsiy na hidroakumul′ovanykh elektrostantsiyakh [The field of operation of automated systems for early detection of emergency situations at hydroaccumulated power plants]. Materials of the International Scientific and Practical Conference «Problems of Emergency Situations». Kharkiv: NUTSZ of Ukraine, 85–86 [in Ukrainian].

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....3

Antonenko A. V., Vostrikov S. O., Burachynskyi A. Yu., Tverdokhlib A. O., Balvak A. A., Slobodian O. A. Features of automated testing using frameworks 3

Antonenko A. V., Mishkur Yu. V., Solskyi D. Ya., Solobaiev S. H., Poduran D. V., Sarafaniuk R. O. Apache web server performance optimization 15

Бондарчук О. І., Науменко Т. С., Товт Б. М. Розробка та впровадження інноваційних методів кібербезпеки у комп'ютерних системах.....31

Вітковський В. Б., Потапова К. Р., Мартинова О. П. Ефективність застосування шарів нейронної мережі LSTM для задачі класифікації емоцій на обличчі людини 41

Гамор І. М., Новіков Ю. Л., Поперешняк С. В. Покращення якості інтерфейсів додатків з урахуванням поведінки користувачів 54

Завгородній В. В., Завгородня Г. А., Яськов Н. В. Проєктування та розробка вебсистеми для побудови фрактальних зображень.....67

Ковтун В. В., Ворона М. В., Михелєв І. Л., Беркунський Є. Ю., Павленко А. Ю. Алгоритм управління асортиментом та прогнозування рівня товарних запасів.....75

Loboda O. M. Defining focus areas for expert assessments on the implementation of digital technologies in the agro-industrial sector.....92

Марчук Г. В., Левківський В. Л., Харченко А. В., Марчук Д. К. Огляд і аналіз алгоритмів процедурної генерації ігрових світів.....101

Palazhchenko Y. V., Shendryk V. V. Digital twin data storage for industrial robot kinematics.....111

Педченко Н. М., Лактіонов О. І., Янко А. С., Боряк Б. Р. Практичні кейси розробки системи відеоспостереження робототехнічної платформи.....119

Рибалочка М. С., Ільїн С. А., Новіков Ю. Л. Оптимізація процесу функціонування комп'ютерних мереж із використанням хмарних сервісів.....126

Савчук Т. О., Пастух І. П. Розпізнавання емоцій учасників відеоконференцій з використанням мультимодального аналізу.....138

Свічко Т. О., Гордєєв А. С. Розробка мультимедійних інформаційних веббазованих навчальних систем із застосуванням технології великих баз даних ...147

Тузова І. А., Тузов О. В., Панченко Т. Д., Чумак О. А. Створення об'єктної моделі системи «інтернет-бронювання готелю» в середовищі StarUML.....160

Янко А. С., Михайліченко О. В., Крук О. О. Конструктивний аналіз бюджетних рішень для керування робототехнічними платформами.....170

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ.....179

Bilousova T. P. Models of economic equilibrium: comparative analysis and search for balance.....179

Михайлов Н. О. Методи високоефективного планування проєктів: традиційні підходи та машинне навчання 186

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ 193

Борбенчук В. В., Неіленко С. М., Криворучко М. Ю., Михайлик В. С. Застосування технології розпізнавання облич у готелях 193

Валько М. І., Стоянова О. В., Зубкова К. В., Мамай О. І., Яковенко Т. О. Особливості впровадження системи якості НАССР у діяльність підприємств харчової промисловості 203

Горач О. О., Головенко Т. М., Істоміна Ю. В. Дослідження технологічних особливостей виробництва фруктового пюре для дитячого харчування 215

Дзюндзя О. В., Воєвода Н. В., Ковдрин В. І. Розробка рецептурної композиції консервів функціонального призначення «варення з кульбаби» 222

Кравець О. І., Шинкарик М. М., Кравець В. І., Стадницький М. А. Дослідження компресійно-фільтраційних властивостей казеїну-сирцю 227

Крамаренко Д. П., Гіренко Н. І., Новікова Н. В. Дослідження впливу типу обладнання та способів теплової обробки на технологічні показники якості продуктів тваринного походження у ресторанному господарстві 237

Кривохижа Є. М., Соломон А. М., Козлов О. В. Безпека харчових продуктів: стандарти та методи контролю якості 251

Паламарек К. В., Вдовічена О. Г. Інноваційні технології зефіру на основі рослинного піноутворювача 260

Приліпко Т. М., Коваль Т. В. Канцерогенні N-нітрозаміни в харчових продуктах 271

Самілик М. М., Корнієнко Д. А. Дослідження впливу високих температур на збагачений цукор та продукти його переробки 278

Соломон А. М. Кисломолочні продукти у сучасному харчуванні 291

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ 299

Кравченко В. І. Шляхи відновлення територій полів фільтрації комунальних очисних споруд після рекультивації 299

Литвиненко В. М. Розробка методу гетерування з використанням власного гетера в технології кремнієвих діодів 307

Рашкевич Н. В., Плотников І. В., Отрош Ю. А., Чучмай О. М. Аналіз стану забезпечення безпеки гідротехнічних споруд 314

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY 3

Antonenko A. V., Vostrikov S. O., Burachynskyi A. Yu., Tverdokhlib A. O., Balvak A. A., Slobodian O. A. Features of automated testing using frameworks 3

Antonenko A. V., Mishkur Yu. V., Solskyi D. Ya., Solobaiev S. H., Poduran D. V., Sarafaniuk R. O. Apache web server performance optimization 15

Bondarchuk O. I., Naumenko T. S., Tovt B. M. Development and implementation of innovative cybersecurity methods in computer systems 31

Vitkovskyi V. B., Potapova K. R., Martynova O. P. Efficiency of application of LSTM neural network layers for the problem of classification of emotions on human face 41

Hamor I. M., Novikov Y. L., Popereshnyak S. V. Improving the quality of application interfaces taking user behavior into account 54

Zavgorodnii V. V., Zavgorodnya A. A., Yaskov N. V. Design and development of a web system for creating fractal images 67

Kovtun V. V., Vorona M. V., Mykheliev I. L., Berkunskyi Ye. Yu., Pavlenko A. Yu. Algorithm for assortment management and inventory level forecasting 75

Loboda O. M. Defining focus areas for expert assessments on the implementation of digital technologies in the agro-industrial sector 92

Marchuk G. V., Levkivskyi V. L., Kharchenko A. V., Marchuk D. K. Review and analysis of procedural game world generation algorithms 101

Palazhchenko Y. V., Shendryk V. V. Digital twin data storage for industrial robot kinematics 111

Pedchenko N. M., Laktionov O. I., Yanko A. S., Boryak B. R. Practical cases of developing a video surveillance system for a robotic platform 119

Rybalochka M. S., Ilin S. A., Novikov Yu. L. Optimization of computer network functioning process using cloud services 126

Savchuk T. O., Pastukh I. P. Participants emotion recognition in video conferences using multimodal analysis 138

Svichko T. O., Hordieiev A. S. Development of multimedia information web-based educational systems using big data technology 147

Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Chumak O. A. Creation of the object model of the system “internet hotel reservation” in the StarUML environment 160

Yanko A. S., Mykhailichenko O. V., Kruk O. O. Constructive analysis of budget decisions for managing robots to determine the optimum criteria for improving functional capabilities and constructive features of robotic platforms 170

SYSTEM ANALYSIS 179

Bilousova T. P. Models of economic equilibrium: comparative analysis and search for balance 179

Mykhailov N. O. Methods of high-efficiency project planning: traditional approaches and machine learning 186

FOOD TECHNOLOGY 193

Borbenchuk V. V., Neilenko S. M., Kryvoruchko M. Yu., Mihailik V. S. Application of facial recognition technology in hotels 193

Valko M. I., Stoianova O. V., Zubkova K. V., Mamai O. I., Yakovenko T. O. Features of implementation of the HACCP quality system in the activities of food industry enterprises 203

Horach O. O., Holovenko T. M., Istomina Yu. V. Research of the technological features of the production of fruit puree for child food 215

Dzyundzya O. V., Voievoda N. V., Kovdrin V. I. Development of the recipe composition of cans for the functional purpose "Dandelion jam" 222

Kravers O. I., Shynkaryk M. M., Kravers V. I., Stadnytskyi M. A. Research of compression and filtration properties of raw casein 227

Kramarenko D. P., Hirenko N. I., Novikova N. V. Investigation of the influence of equipment type and thermal processing methods on technological quality indicators of animal products in the restaurant industry 237

Kryvokhyzha Ye. M., Solomon A. M., Kozlov O. V. Food safety: quality control standards and methods 251

Palamarek K. V., Vdovichena O. H. Innovative zephyr technologies based on vegetable foaming form 260

Prylipko T. M., Koval T. V. Carcinogenic N-nitrosamines in food products 271

Samilyk M. M., Korniienko D. A. Study of the effect of high temperature on the quality indicators of enriched sugar and its products 278

Solomon A. N. Fermented milk products in modern nutrition 291

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES 299

Kravchenko V. I. Ways of restoration of the territories of filtration fields of communal sewage treatment plants after reconstruction 299

Litvinenko V. M. Development of a hetering method using a proprietary heter in silicon diode technology 307

Rashkevich N. V., Plotnykov I. V., Otrosh Yu. A., Chuchmai O. M. Analysis of the status of security ensurement of hydrotechnical structures 314

НОТАТКИ

Таврійський науковий вісник

Випуск 4

Технічні науки

Підписано до друку 04.10.2024 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 26,65. Зам. № 1124/766

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
Україна, м. Одеса, 65101, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.