

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

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет



# Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 3



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

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

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету  
(протокол № 9 від 27.06.2024 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 3. 168 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International  
(Республіка Польща)

Свідоцтво про державну реєстрацію: Серія КВ № 24810-14750ПП 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; **Гопеснко 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-економічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д.М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **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; **Турченко В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

---

# КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

UDC 632:654

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.1>

### FEATURES OF THE DEPLOYMENT OF MOBILE COMMUNICATION NETWORKS USING UAV

---

**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

**Buriak M. S.** – *Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering  
of the State University of Information and Communication Technologies*  
ORCID ID: 0009-0005-3335-4520

**Tsvyk O. S.** – *Postgraduate Student at the Department of Computer Engineering  
of the State University of Information and Communication Technologies*  
ORCID ID: 0000-0001-7786-1712

**Burachynskiy 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

**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

**Zanfirov R. R.** – *Master of the Academician Yuriy Bugay International Scientific  
and Technical University*  
ORCID ID: 0000-0001-9802-0656

---

The article considers the possibility of using 6G mobile communication technology for unmanned aerial vehicles, which is at the stage of active development. However, there is a problem of limited energy reserves in UAV batteries, which limits their effectiveness. This results in the need for regular charging stops, reducing the duration of their missions. The paper proposes a new approach to this problem using tethered unmanned aerial vehicles (tUAVs). The basic idea is to create a network where tethered unmanned aerial vehicles (tUAVs) will maintain constant power and data transmission through a tether that connects them to a ground station (GN). This approach will avoid losing communication with the tUAV during recharging, ensuring continuous monitoring and control. The article examines in detail the concept of connecting a tUAV to the emergency department using a special cable that supplies electricity and transmits data at the same time. This approach makes it possible to constantly feed tUAVs and receive important information from them without the need for their severe limitation due to the need for recharging. A cable connection that supplies power and transmits data allows tethered unmanned aerial vehicles (UAVs) to leave the network coverage area only for short periods of time, such as during maintenance and repair. The article provides a comparative analysis between tUAVs and unmanned aerial vehicles (UAVs) that operate without tethering to a cable. The advantages and disadvantages of each approach are evaluated, taking into account their performance and the ability to maintain continuous communication in conditions of limited energy. Simulation results demonstrating the possibility of achieving up to a 30% increase in coverage probability using a tethered unmanned aerial vehicle (tUAV) with a cable length of 120 meters compared to an untethered unmanned aerial vehicle (UAV) demonstrate the potential effectiveness of this technology. The article also considers the challenges that may arise when implementing the proposed model in practice, and questions the tasks for further research that can contribute to the development of this innovative technology. Ways to further improve the technology may include improving cable length, optimizing energy efficiency and reducing maintenance costs. The research can contribute to the development of more advanced and productive unmanned aerial vehicle systems and open new opportunities for their application in various fields, from military applications to commercial and civilian purposes.

**Key words:** unmanned untethered aerial vehicle, tethered unmanned aerial vehicle, unmanned aerial vehicle, base stations, macro base stations, ground station.

**Антоненко А. В., Буряк М. С., Цвик О. С., Бурачинський А. Ю., Балвак А. А., Занфіров Р. Р. Особливості розгортання мереж мобільного зв'язку за допомогою БПЛА**

В статті розглядається можливість застосування технології мобільного зв'язку 6G для безпілотних літальних апаратів, яка знаходиться на стадії активної розробки. Проте, виникає проблема обмеженого запасу енергії в акумуляторах БПЛА, що обмежує їхню ефективність. Це призводить до потреби регулярної зупинки для зарядки, що зменшує тривалість їхніх місій. У статті пропонується новий підхід до цієї проблеми за допомогою тросових безпілотних літальних апаратів (тБПЛА). Основна ідея полягає в створенні мережі, де тросові безпілотні літальні апарати (тБПЛА) підтримуватимуть постійне живлення та передачу даних через трос, який з'єднує їх з наземною станцією (НС). Цей підхід дозволить уникнути втрати зв'язку з тБПЛА під час підзарядки, забезпечуючи неперервний моніторинг та контроль. У статті детально розглядається концепція підключення тБПЛА до НС за допомогою спеціального тросу, який постачає електроенергію і передає дані одночасно. Цей підхід дозволяє постійно жити тБПЛА та отримувати від них важливу інформацію без необхідності їхньої сильної обмеженості через потребу у підзарядці. Підключення тросом, що постачає електроенергію та передає дані, дозволяє тросовим безпілотним літальним апаратам (тБПЛА) залишати зону покриття мережі лише на короткий час, наприклад, під час технічного обслуговування та ремонту. У статті проводиться порівняльний аналіз між тБПЛА та безпілотними літальними апаратами (БПЛА), які працюють без прив'язки до тросу. Оцінюються переваги та недоліки кожного підходу з урахуванням їхньої продуктивності та можливостей підтримання безперервного зв'язку в умовах обмеженої енергії. Результати моделювання, що демонструють можливість досягнення до 30% збільшення ймовірності охоплення за допомогою тросового безпілотного літального апарата (тБПЛА) з довжиною троса 120 метрів в порівнянні з безприв'язним безпілотним літальним апаратом (БПЛА), свідчать про потенційну ефективність цієї технології. Стаття також розглядає виклики, які можуть виникнути при впровадженні запропонованої моделі у практику, і ставить під сумнів на завдання для подальших досліджень, які можуть сприяти розвитку цієї інноваційної технології. Шляхи для подальшого удосконалення технології можуть включати в себе поліпшення довжини троса, оптимізацію енергоефективності та зменшення витрат на обслуговування. Дослідження може сприяти розвитку більш передових та продуктивних систем безпілотних

*літальних апаратів і відкрити нові можливості для їх застосування у різних галузях, від військового застосування до комерційних і цивільних цілей.*

**Ключові слова:** *безпілотний неприв'язаний літальний апарат, тросовий безпілотний літальний апарат, безпілотний літальний апарат, базові станції, макробазові станції, наземна станція.*

**Introduction.** The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) becomes extremely useful with the introduction of sixth generation (6G) mobile communications. First of all, it allows you to deploy a communication network in a country where the construction of traditional infrastructure was difficult or impractical. UAVs can fly at high altitudes and cover large widths, making them ideal for covering large areas and regions with difficult terrain. This is especially important for communication in sparsely populated or mountainous areas.

The use of BPLA in 6G networks can provide fast Internet access and communication in emergency situations, such as natural disasters or accidents, where existing infrastructure may be damaged or unavailable. UAVs can be used to provide network coverage in densely populated urban areas where large network capacity is required. They can provide additional bandwidth and improve communication quality, reducing the load on existing infrastructure. In general, the use of BPLA in the implementation of 6G mobile communication expands the network capabilities and enables communication in various conditions, including hard-to-reach areas and emergency status.

**The aim of the study.** The purpose of implementing a 6G mobile communication technology network based on UAVs is to provide reliable, extremely high-speed and effective communication coverage in various conditions and regions, including hard-to-reach areas, emergency situations and densely populated urban areas.

The objects of research are unmanned aerial vehicles and various possibilities of ensuring the duration of their operation.

The subject of research dedicated to the implementation of a network based on 6G mobile communication technology based on UAVs is the development and optimization of the infrastructure, the identification of potential applications in various fields, including transport, communications and emergency situations, as well as the study of the impact of this technology on society and technical aspects its implementation.

**Analysis of recent research and publications.** Current terrestrial network capabilities are still far from meeting the 6G requirements for global coverage. A large-scale network is required that can also integrate non-terrestrial networks to support a variety of applications such as aviation and navigation. The 6G architecture will be cellular, large and four-layer. Network levels include space, air, ground and underwater [1]. For example, with the space network layer, space internet services (which can be critical for space travel) will be in the coverage area thanks to satellites [2]. For the ground level, terabit speed data transmission will be provided to increase the 6G coverage area using terahertz frequency bands. Thus, the frequency will increase, causing an increase in path loss. The range of 6G will be less than that of current generations. In this case, it will be necessary to use a larger number of base stations, which will make the 6G network significantly more crowded and dense.

With the use of 5G, the concept of IoT networks refers to the billions of intelligent devices that connect systems, people and other applications to collect and share data. With 6G, this concept will expand and evolve to real-time monitoring and response, not limited to connection and communication detection. The "Tactile Internet" describes the real-time discovery, control, access, and operation of virtual objects as defined by the IEEE 1918.1 standard [3].

Due to current resource and detector limitations, the terahertz spectral range is not fully utilized. Photonic solutions have been an advanced technology that is expected to enable this frequency range to be used in a variety of ways. Photonic methods are the preferred solution for millimeter wave and THz generation in terms of energy efficiency, bandwidth, and control range. Terahertz frequency generation techniques based on photonic heterodyne mixing techniques can overcome the bandwidth limitations of electrical components and effectively contribute to the seamless integration of fiber optic and wireless networking. This will make the fiber-terahertz-fiber streaming system a promising choice [4], [5]. Visible Light Communication (VLC) systems are important for 6G. VLC works in the frequency range from 400 THz to 800 THz. Unlike RF technologies, which use antennas in the low terahertz range, visible light communication relies on light sources (such as LEDs, image sensors, or photodiode arrays) to communicate with transceivers. In several non-terrestrial scenarios, such as aviation or maritime applications, visible light communication outperforms RF technology in terms of propagation performance.

**Presentation of the main research material.** It is believed that UAV base stations (UAS) are an integral part of the 6G cellular architecture [6], [7]. The inherent mobility flexibility and relative ease of deployment can be useful for many requirements of next-generation cellular networks, such as providing coverage in hotspots and areas with scarce infrastructure, such as disaster recovery environments or rural areas. The high probability of establishing line-of-sight (LOS) with ground users due to high altitude leads to more reliable communication channels and a wider coverage area [8], [9]. Potential use cases for airborne BSs include offloading macro base stations (MBSs) in urban and densely populated areas and providing coverage to rural areas that typically suffer from low cellular coverage due to lack of operator incentives.

These potential advantages of airborne BSs have prompted the research community to study many aspects of UAV-enabled cellular networks, such as air-to-ground (AG) channel characteristics, optimal UAV placement, and trajectory optimization [10]. In addition, there are two key challenges in designing UAV-enabled systems, which will be discussed in more detail in this article. The first is the limited energy resources available on board, which makes the flight time less than one hour in most commercially available UAVs [11], [12]. The second key design issue is wireless backhaul [13].

Generally, the energy consumption of a UAV is twofold: propulsion energy, which is the energy consumed by the UAV for flight and hovering, and payload energy, which captures the energy consumption for communication and on-board processing. Many research works were aimed at developing energy-efficient communication schemes for UAVs in order to extend their service life. However, since the propulsion energy is much greater than the payload energy, energy-efficient communication will not greatly affect flight time. This short flight duration may not be a problem for some use cases, such as delivery by drones between nearby locations or the distribution and collection of data from sensor networks. However, when it comes to UAV installations, longer flight time is vital to ensure stable and uninterrupted cellular communications.

Unlike ground base stations, which have wired communication channels (usually using fiber optic cables), UAVs rely on wireless communication channels. Compared to wired connections, wireless reverse connections are susceptible to higher latency, interference, and lower achievable data rates. Therefore, it is important to find the best technology for establishing wireless feedback on UAVs [14]. The available solutions in the article include: satellite communication, millimeter wave communication, optical communication in free space (OZVP) and in-band transit communication. Each of these

four solutions has its advantages and disadvantages. For example, satellite communication provides a more reliable transit link, but suffers from higher latency. On the other hand, millimeter waves and OZVP provide a much higher data transfer rate compared to in-band communication. However, both solutions are highly vulnerable to jamming and are only reliable over short distances. In modern literature, the most attention is paid to the use of intraband transit communication. This solution has lower latency compared to satellite backhaul. It does not require a PVP channel for effective communication, like millimeter waves or OZVP. However, due to the high flight altitude of the UAV, it suffers from higher levels of interference, which can significantly reduce the achievable rate of transit feedback. This paper proposes a system setup based on tethered UAVs (tUAVs). The proposed technology solves the two technical problems described above: short flight time due to limited on-board power and establishing reliable feedback. The interface between the BS and the UAV consists of two components: power supply and data transmission channel. The power supply is carried out from the BS to the tUAV through a wired connection, which allows the tUAV to maintain a much longer flight time. Similarly, the data transmission channel between the UA and the tUAV is also physical through fiber optic communication, which provides reliable high-speed data communication between the tUAV and the base station. Both the power and data wires are bundled inside the binding. Currently commercially available UAVs can stay in the air continuously for several days, with a proven ability to withstand harsh weather conditions. Due to its weight, the length of the cable is usually limited and ranges from 80 m to 150 m [14]. In a recent case, Puerto Rico deployed UAVs to provide cellular coverage to affected areas after Hurricane Maria [15].

The main disadvantage of tUAV is the limited length of the cable, which limits the mobility and flexibility of movement of the drone. Thus, a compromise between UAVs and UAVs naturally arises, which looks as follows. On the one hand, the tUAV has a much longer flight time compared to the UAV due to the stable power supply via the cable. However, it can hover or move only in a limited space defined by the length of the cable and the surroundings of the object of observation. On the other hand, the UAV has complete freedom to move anywhere to maximize network performance. However, due to the limited capacity of the on-board battery, it is forced to regularly interrupt its work to recharge or replace the battery. Unfortunately, today we do not have the technology that can provide a long flight time while maintaining free mobility.

The proposed system consists of three main components:

- UAV;
- rope;
- NS.

The UAV is placed in a carefully selected location that satisfies two conditions: it has a reliable connection to the main grid and it has a stable power source, such as a grid connection or a generator. These two connections (power supply and mains) extend to the UAV using a cable. Thus, the cable provides uninterrupted power supply to the UAV, which allows it to remain operational with a significantly longer flight time. In addition, the cable also connects the UAV to the main network via a wired connection, providing stable, reliable and secure feedback. The UAV can hover only within a certain range, which mainly depends on the length of the cable. If we assume that the NS, which is the launch point of the tUAV, is placed on the roof, then the tUAV can hover around the roof within a truncated hemisphere with a radius equivalent to the length of the cable, centered on the roof. The general area in which the UAV can hover is limited by the height of nearby buildings. Motion planning methods can be used to determine

achievable three-dimensional (3D) locations for a given environment [16]. This area will be referred to as the hover area later in this article. The UAV carries antennas and a set of computing units. These computing units are connected to the NS through an optical fiber that transmits data along the cable. Although antennas and processor units are considered heavy components for typical UAVs, modern commercial systems are capable of carrying up to 60 kg of additional payload [17]. The UAV must hover within the hover area and find an optimal 3D location that maximizes cellular coverage for ground users. In addition to its main task – ensuring the connection with the main network and energy resource, NS is responsible for cable control. In particular, the emergency operator must monitor the tension of the cable and ensure that it is always taut. During the movement of the tUAV, the EMS should sense whether the tUAV needs to release a longer cable to reach the destination, or retract an additional length to ensure the tension of the cable [18], [19]. From the above considerations, it is clear that a reasonable selection of the location of the emergency vehicle is of great importance for the performance of the tUAV system. For example, placing an emergency vehicle on a roof surrounded on all sides by tall buildings will reduce its hovering area almost to the area above its own roof. A smaller hover zone leads to a more complex UAV 3D placement problem and limits the UAV's mobility. The process of choosing the location of an emergency station must take into account many aspects, such as the spatial distribution of traffic demand and the availability of the necessary infrastructure. In addition to productivity, economic efficiency should be considered when designing a UAV system. There are certain differences in terms of capital expenditure (CA) and operating costs (OS) between tUAVs and UAVs. The capital investment that exists only in tUAV systems is mainly related to the cable and its mechanical controller and ground station. At the same time, the capital investment that exists only in UAVs is related to the charging stations required for recharging/replacing the UAV batteries. On the other hand, the operating costs that exist only in tUAV systems are mainly related to the rental of the roofs that are used to host the ground station.

Monte Carlo simulations will show the trade-off between tUAVs and UAVs in terms of unlimited mobility with limited flight time for UAVs and limited mobility with unlimited flight time for tUAVs. First, the setup of a system consisting of an MBS, a cluster of users and a UAV deployed to serve this user cluster and offload the MBS will be considered. User locations are evenly distributed within the cluster with a radius of 100 m. In case of UAV, we assume that it hovers in the center of the cluster for maximum coverage. However, due to battery limitations, the UAV must leave its location in the air and fly back to the charging station to charge/replace the battery. During this time, users are served only by MBS. Hence, we present the availability of the UAV as the fraction of time it is actually operational. On the other hand, in the case of using a tUAV, we assume that it has an unlimited flight time. However, its mobility is limited by a cable connecting it to the MBS with a length of 120 m, similar to the specifications of the UAV [20]. So, here we assume that the tUBLA is an MBS.

In this simulation, one circular cluster of users is considered, and the users are evenly distributed inside a disk with a radius of 100 m. The availability of the UAV determines part of the time during which the UAV is working, and the rest of the time it is charging/replacing the battery. The UAV is connected to the MBS via a cable 120 m long [20]. 3 scenarios are compared: scenario 1, when an UAV is used and the main limitation is its availability, scenario 2, when a tUAV is used and placed in the optimal place in the hover area, and scenario 3, when the UAV is placed directly above its NS (optimal placement is not considered).



In this simulation, the coverage of uniformly distributed users within a disk with a radius of 100 m is studied. The MBS is located 160 m from the disk center. The tUBLA base station is placed on the nearest available roof to the center of the disk. The availability of roofs determines the share of buildings where emergency deployment is allowed. The building density is 500 buildings/km<sup>2</sup>. 2 scenarios are compared: scenario 1, when an UAV is used and the main limitation is its availability, scenario 2, when a tUAV is used, and the BS is placed on the closest available roof to the center of the cluster [21].

In case of readiness, 0.8 tUAV outperforms UAV if the distance between the MBS and the center of the cluster is less than 193 m. This threshold increases when UAV availability decreases.

The performance of the tUAV is compared for two deployment scenarios: the tUAV hovers exactly over the NS with the cable stretched to the maximum and the tUAV is placed in an optimal location within its hover zone that maximizes the coverage probability. The results show the importance of optimal placement of the tUAV. The problem of optimizing the placement of tUBAS differs from the typical problems of 3D placement of UAVs, which are described in the article. This is mainly due to the limited mobility of the tUAV, which reduces its availability in 3D locations. Note that this deployment problem is different from the scenario of setting the maximum allowable altitude for UAVs. For the latter, a UAV can hover anywhere as long as it maintains its altitude below a set value, which cannot be said for a tUAV.

As mentioned earlier, the NS does not necessarily have to be the MBS. It can be the roof of any building, as long as it has access to a stable energy resource and a reliable connection to the main grid. Obviously, these conditions are not always satisfied by any randomly selected building. Additionally, not every building that meets these conditions will provide an operator with access to deploy their EMS on the roof. Hence, for a given building density, rooftop accessibility is introduced as the ratio of buildings that meet the above conditions and are willing to provide access to their rooftops. A similar setup is considered, with the deployment of the NS on the nearest available roof to the center of the cluster, instead of deploying it on the MBS. In addition, the distance between the MBS and the center of the cluster is fixed at 160 m. The location of buildings is modeled using the Poisson point process (PTP) with a density of 500 buildings/km<sup>2</sup>, which is a typical building density in urban areas. The characteristics of tUAVs and UAVs for different values of roof accessibility are compared. It is observed that the minimum required rooftop accessibility for a tUAV to outperform an UAV decreases as the cable length increases. For example, when the availability is 0.9, the required roof availability decreases from 0.25 to 0.05 as the maximum cable length increases from 80 m to 120 m. This result shows the effect of the maximum cable length on system performance. Given that the availability of rooftops is a significant part of the capital cost of the system, these results show that increasing the maximum cable length is indeed important for a cost-effective tUAV deployment.

The complications with the tUAV deployment model are as follows. First, aerial communication systems in general require new regulatory policies, then tUAV systems may require some special considerations. For example, new safety regulations must be implemented for areas where ropes are allowed. Safety margin around buildings and above ground around buildings and above ground to avoid accidents due to entanglement or any malicious attempts to entangle the cable.

Secondly, in contrast to typical studies on the optimization of UAV deployment, the problem of tUAV deployment is different. During operation, each tUAV must be

physically connected to the emergency room on the roof by means of a cable. Therefore, the problem is more limited and needs careful study. The problem of choosing a roof can be solved using different approaches, depending on the main goals of the operator in terms of quality of service. In addition to cellular coverage considerations, cost-effectiveness should also be considered during the roof selection process.

Third, with regard to the location chosen for the deployment of the emergency vehicle, it is important to know exactly what the hover area looks like. Given the constraints of not impinging on neighboring buildings, providing sufficient distance from public access, and creating a buffer over all surrounding buildings for safety, the hang zone on each roof is truly unique. For example, if the roof is surrounded on all sides by lower buildings, it will have a larger flight area and therefore more freedom of movement for the tUAV. The hovering zone depends on the distance to the surrounding buildings and their relative height. In order to solve the problem of 3D optimization of the placement of the UAV, it is first necessary to obtain an analytical model for the hovering area. first you need to get an analytical model of the hover region.

**Conclusions.** The paper considered the potential of tUAVs for cellular coverage and increasing capacity. The proposed setup can be seen as a compromise that aims to replace the current performance limitations of UAVs due to limited on-board energy with mobility limitations due to tethering. tUAV systems have been shown to have promising advantages over UAVs despite tethered mobility limitations. Some potential use cases and applications were described where a tUAV-mounted BS would be of great benefit, such as increasing bandwidth in urban areas, expanding coverage in rural areas, and densifying the network. Finally, some open issues and research problems have been described that need to be thoroughly investigated to better understand the performance limitations of the proposed setup.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Ж. Жанг, І. Сяо, Ж. Ма, М. Сяо, Ж. Дінг, Сі. Лей, та інші.- 6G wireless networks: vision, requirements, architecture, and key technologies IEEE Veh. Technol. Mag., 2019. (14).
2. Дж. Лю, І. Ші, Ж.М. Фадлула, Н. Като – Space-air-ground integrated network: a survey IEEE Commun. Surv. Tutorials, 2018. (20).
3. Сі. Ю, С.-Сі. Ванг, Дж. Хуанг, Сі. Гао, Ж. Жанг, М. Ванг, та інші. – Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts Sci. China Information Sci., 2021. (64).
4. В. Саад, М. Бенніс, та М. Чень, “A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems,” IEEE Network, 2020. (3)
5. Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп’ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022. (6).
6. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2023. (1).
7. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023. (1).
8. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022. (5).
9. С. Данг, О. Амін, Б. Шихада, та М.-С. Алуїні, “What should 6G be?” Nature Electronics. 2020. (1)

10. I. Жєнг, Р. Жанг, та Т. Дж. Лім, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges," *IEEE Communications Magazine*, 2016. (5)
11. І. Бор-Ялініз та Х. Янікомероглу, "The new frontier in RAN heterogeneity: Multi-tier drone-cells," *IEEE Communications Magazine*, 2016. (1).
12. Сі. Бу, Л. Лю, та Р. Жанг, "Fundamental trade-offs in communication and trajectory design for UAV-enabled wireless network," *IEEE Wireless Communications*, 2019. (1)
13. Б. Галкін, Дж. Кібільда, та Л. А. ДаСільва, "UAVs as mobile infrastructure: Addressing battery lifetime," *IEEE Communications Magazine*, 2019. (6).
14. Т. Лонг, М. Озгер, О. Сєнтікая, та О. Б. Акан, "Energy neutral internet of drones," *IEEE Communications Magazine*, 2018. (1).
15. М. Альзенад, М. З. Шакір, Х. Янікомероглу та М.-С. Алуїні, "FSO-based vertical backhaul/fronthaul framework for 5G+ wireless networks," *IEEE Communications Magazine*. 2018. (1)
16. AT&T, "AT&T's First Official Deployment of Cell On Wings In Puerto Rico", 2017. [Електронний ресурс]: [https://about.att.com/inside\\_connections\\_blog/flying\\_cow\\_puertori](https://about.att.com/inside_connections_blog/flying_cow_puertori). [Режим доступу: 15.05.2024].
17. Сі. Сяо, Дж. Дюфєк, М. Сюхейль та Р. Мьорфі, Motion planning for a UAV with a straight or kinked tether. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2018.
18. Performance studies of narrow-beam trisector cellular systems – [Електронний ресурс]: <https://ieeexplore.ieee.org/document/683677>. [Режим доступу: 15.04.2024].
19. М. М. Нікотра, Р. Нальді та Е. Гарон, "Taut cable control of a tethered UAV," *IFAC Proceedings Volumes*, 2014. (3)
20. Л. Зіко, К. Папакрістос та А. Тзєс, "The power-over-tether system for powering small UAVs: Tethering-line tension control synthesis," 23-тя Середземноморська конференція з управління та автоматизації (MED). 2015.
21. Tethered UAV, "Feasibility study for the propulsion system of a tethered UAV", 2018-2019. [Електронний ресурс]: <https://webthesis.biblio.polito.it/11352/1/tesi.pdf> [Режим доступу: 16.05.2024].

#### REFERENCES:

1. Z. Zhang, Y. Xiao, Z. Ma, M. Xiao, Z. Ding, X. Lei. (2019). 6G wireless networks: vision, requirements, architecture, and key technologies *IEEE Veh. Technol. Mag.*, (14).
2. J. Liu, Y. Shi, Z.M. Fadlullah, N. (2018). Kato Space-air-ground integrated network: a survey *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, (20).
3. X. You, C.-X. Wang, J. Huang, X. Gao, Z. Zhang, M. Wang, et al. (2021). Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts *Sci. China Information Sci.*, (64).
4. W. Saad, M. Bennis, and M. Chen. (2020). "A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems," *IEEE Network*, 34, (3),
5. Tverdokhlib A.O., Korotin D.S. (2022). Efektyvnist funktsionuvannia kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, (6).
6. Tsvyk O.S. (2023). Analiz i osoblyvosti prohramnoho zabezpechennia dlia kontroliu trafiku. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ceriia: Tekhnichni nauky*, (1).
7. Novichenko Ye.O. (2023). Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohystychnykh tsentriv. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, (1).
8. Zaitsev Ye.O. (2022). Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, (5).

9. S. Dang, O. Amin, B. Shihada, and M.-S. Alouini. (2020). "What should 6G be?" *Nature Electronics*, 3, (1).
  10. Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim. (2016). "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges," *IEEE Communications Magazine*, 54, (5).
  11. I. Bor-Yaliniz and H. Yanikomeroglu. (2016). "The new frontier in RAN heterogeneity: Multi-tier drone-cells," *IEEE Communications Magazine*, 54, (1).
  12. Q. Wu, L. Liu, and R. Zhang. (2019). "Fundamental trade-offs in communication and trajectory design for UAV-enabled wireless network," *IEEE Wireless Communications*, 26, (1).
  13. B. Galkin, J. Kibilda, and L. A. DaSilva. (2019). "UAVs as mobile infrastructure: Addressing battery lifetime," *IEEE Communications Magazine*, 57, (6).
  14. T. Long, M. Ozger, O. Cetinkaya, and O. B. Akan. (2018). "Energy neutral internet of drones," *IEEE Communications Magazine*, 56, (1).
  15. M. Alzenad, M. Z. Shakir, H. Yanikomeroglu, and M.-S. Alouini. (2018). "FSO-based vertical backhaul/fronthaul framework for 5G+ wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, 56, (1).
  16. AT&T, "AT&T's First Official Deployment of Cell On Wings In Puerto Rico". (2017). Available online: [https://about.att.com/inside\\_connections\\_blog/flying\\_cow\\_puertori](https://about.att.com/inside_connections_blog/flying_cow_puertori). [Режим доступу: 15.05.2024].
  17. X. Xiao, J. Dufek, M. Suhail, and R. Murphy. (2018). "Motion planning for a UAV with a straight or kinked tether," in 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
  18. Performance studies of narrow-beam trisector cellular systems Available online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/683677>. [Режим доступу: 15.04.2024].
  19. M. M. Nicotra, R. Naldi, and E. Garone. (2014). "Taut cable control of a tethered UAV," *IFAC Proceedings Volumes*, 47, (3).
  20. L. Zikou, C. Papachristos, and A. Tzes,. (2015) "The power-over-tether system for powering small UAVs: Tethering-line tension control synthesis," in 2015 23rd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED).
  21. Tethered UAV. (2019). "Feasibility study for the propulsion system of a tethered UAV". Available online: <https://webthesis.biblio.polito.it/11352/1/tesi.pdf> [Режим доступу: 16.05.2024].
-

УДК 004.032.26

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.2>

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

**Гетьман І. А.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Донбаської державної  
машинобудівної академії, доцент кафедри цифрових технологій та проектно-  
аналітичних рішень Технічного університету «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-1835-4256

**Держевецька М. А.** – кандидат економічних наук,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
Технічного університету «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0000-0002-9952-4992

**Солод Ю. А.** – лаборант кафедри автоматизації,  
електро- та робототехнічних систем Технічного університету  
«Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0009-0000-2350-8403

У статті розглядається застосування методів дослідження операцій для прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронних мереж. Основна мета дослідження полягає у підвищенні точності температурних прогнозів, що є важливим в умовах глобальних кліматичних змін та збільшення частоти екстремальних погодних явищ. Для досягнення цієї мети використовуються комбінація рекурентних нейронних мереж (RNN) та конволюційних нейронних мереж (CNN), що дозволяє ефективно обробляти як просторові, так і часові залежності в даних. Основні результати показали, що запропоновані моделі значно перевершують традиційні методи прогнозування температури за точністю. Використання таких якісних метрик, як середньоквадратична помилка (MSE) та середня абсолютна помилка (MAE), дозволило об'єктивно оцінити продуктивність моделей. Це свідчить про потенціал запропонованого підходу для застосування у реальних умовах. Застосування точних температурних прогнозів має велике значення для таких галузей, як енергетика та сільське господарство. У енергетичному секторі точні прогнози дозволяють ефективніше управляти споживанням енергії, зменшуючи витрати на виробництво та транспортування. У сільському господарстві точні прогнози допомагають оптимізувати управління ресурсами, такими як вода і добрива, та знижувати ризики від несприятливих погодних умов, таких як заморозки чи хвилі спеки. Стаття також підкреслює важливість подальших досліджень у напрямку вдосконалення моделей нейронних мереж для прогнозування кліматичних параметрів. Використання сучасних методів машинного навчання, таких як глибоке навчання, може сприяти подальшому підвищенню точності та надійності прогнозів. Дослідження також вказує на необхідність інтеграції різних типів даних, включаючи супутникові спостереження та дані наземних метеорологічних станцій, для покращення моделювання та прогнозування. Таким чином, використання методів дослідження операцій у поєднанні з нейронними мережами відкриває нові можливості для покращення точності прогнозування температури, що має важливе значення для багатьох галузей та сфер діяльності. Це підкреслює актуальність та перспективність подальших досліджень у цьому напрямку, що може мати значний вплив на адаптацію до змін клімату та ефективне управління ресурсами.

**Ключові слова:** прогнозування температури, комбінація нейронних мереж, рекурентні нейронні мережі, метрики якості.

**Getman I. A., Derzhevetska M. A., Solod Yu. A. Application of Operations Research Methods for Predicting Ambient Temperature Using Neural Networks**

The article considers the application of operations research methods for forecasting the ambient temperature using neural networks. The main goal of the research is to increase the accuracy of temperature forecasts, which is important in the context of global climate changes and an increase in the frequency of extreme weather events. To achieve this goal, a combination of recurrent neural networks (RNN) and convolutional neural networks (CNN) are used, which allows for efficient processing of both spatial and temporal dependencies in the data. The main results showed that the proposed models significantly outperform traditional temperature forecasting methods in terms of accuracy. The use of such qualitative metrics as the mean squared error (MSE) and the mean absolute error (MAE) made it possible to objectively assess the performance of the models. This indicates the potential of the proposed approach for application in real conditions. The application of accurate temperature forecasts is of great importance for such industries as energy and agriculture. In the energy sector, accurate forecasts allow more efficient management of energy consumption, reducing production and transportation costs. In agriculture, accurate forecasts help optimize the management of resources such as water and fertilizers and reduce risks from adverse weather conditions such as frost or heat waves. The article also emphasizes the importance of further research in the direction of improving neural network models for forecasting climate parameters. The use of modern machine learning methods, such as deep learning, can help further increase the accuracy and reliability of predictions. The study also points to the need to integrate different types of data, including satellite observations and data from ground weather stations, to improve modeling and forecasting. Thus, the use of operations research methods in combination with neural networks opens up new opportunities to improve the accuracy of temperature forecasting, which is important for many industries and fields of activity. This emphasizes the relevance and perspective of further research in this direction, which can have a significant impact on adaptation to climate change and effective resource management.

**Key words:** temperature prediction, neural network combination, recurrent neural networks, quality metrics.

**Вступ.** У сучасному світі, де зміни клімату і екстремальні погодні умови стають все більш частими, точні прогнози температури мають критичне значення. Вони дозволяють своєчасно реагувати на потенційні загрози і планувати діяльність з урахуванням можливих погодних змін. Для енергетичних компаній точні температурні прогнози допомагають управляти споживанням енергії, оскільки споживання електроенергії може змінюватися залежно від температури. Це дозволяє ефективніше розподіляти ресурси та зменшувати витрати на виробництво та транспортування енергії. У сільському господарстві правильне планування і управління ресурсами, такими як вода і добрива, безпосередньо залежить від погодних умов. Точні прогнози температури допомагають фермерам уникати збитків від несподіваних заморозків або хвиль спеки, а також оптимізувати час посіву і збору врожаю, що може суттєво вплинути на врожайність і економічну ефективність агровиробництва. Авіація також є критично важливою сферою, де точність погодних прогнозів має велике значення. Знання про майбутні температурні умови дозволяє авіакомпаніям планувати маршрути польотів, враховувати можливі затримки через погані погодні умови та забезпечувати безпеку польотів. Це також допомагає в оптимізації витрат пального і забезпеченні ефективності операцій. У будівництві прогнозування температури може вплинути на планування робіт, зокрема на час проведення бетонування, яке може бути чутливим до температури. Неправильне планування може призвести до погіршення якості будівельних матеріалів або затримки в проєкті.

**Постановка проблеми.** Точні прогнози температури допомагають уникнути негативних наслідків несприятливих погодних умов, планувати ресурси та зменшувати витрати. Однак традиційні методи прогнозування температури, засновані на фізичних та статистичних моделях, мають свої обмеження. Фізичні моделі

можуть бути надто складними і вимагати значних обчислювальних ресурсів, а також не завжди враховують всі локальні нюанси кліматичних умов. Статистичні моделі, такі як автогресивні моделі рухомого середнього (ARIMA), можуть бути не здатними впоратися з нелінійними та складними патернами, що характерні для погодних даних.

В останні роки з'явилися нові методи прогнозування, зокрема на основі нейронних мереж, які мають високий потенціал для покращення точності прогнозів. Нейронні мережі, особливо рекурентні нейронні мережі (RNN) та їх покращені версії, такі як LSTM (Long Short-Term Memory), здатні ефективно вивчати складні залежності у даних і використовувати інформацію про попередні стани для прогнозування майбутніх значень. Вони мають здатність захоплювати довгострокові залежності та нелінійні патерни, що робить їх особливо корисними для прогнозування часового ряду, як-от температура. Ці моделі демонструють високу ефективність у завданнях прогнозування, оскільки можуть навчатися на великих обсягах даних і адаптуватися до змінюваних умов. Вони забезпечують точніші прогнози, що дозволяє краще планувати діяльність і зменшувати ризики, пов'язані з непередбачуваними погодними умовами. Введення нейронних мереж у сферу прогнозування температури відкриває нові можливості для підвищення точності і надійності прогнозів, що є важливим для багатьох критичних секторів економіки і суспільства.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є розробка математичної моделі прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронної мережі. У статті розглядаються різні методи прогнозування, включаючи традиційні методи та методи, засновані на штучних нейронних мережах, порівнюються їх ефективність та визначається найкраща модель для прогнозування температури. Також увага приділяється українським та зарубіжним дослідженням у цій галузі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Українські вчені активно досліджують застосування нейронних мереж для прогнозування температури. Дорошенко А.Ю. та Шпиг В.М. у своїй роботі запропонували архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє коригувати прогнози чисельної регіональної моделі за допомогою аналізу помилок цих прогнозів [1, 2]. Їхня модель показала покращення точності прогнозів у 50% випадків. Вони використовували підхід зворотного поширення помилки та адаптивного навчання для поліпшення результатів. Кушніренко Р.В. досліджував використання нейронних мереж для довгострокового прогнозування температури [3]. У своїх роботах він аналізував різні архітектури мереж та порівнював їх ефективність у прогнозуванні температурних рядів на різних часових інтервалах. Він зробив висновок, що комбіновані моделі, які використовують як лінійні, так і нелінійні компоненти, показують найкращі результати. Шеремет Г.С. у своїх дослідженнях зосередився на удосконаленні моделей чисельного прогнозування погоди [4]. Він вивчав можливості підвищення точності прогнозів та збільшення їхньої передбачуваності, аналізуючи різні методи обробки метеорологічних даних та інтегрування їх у нейронні мережі.

Зарубіжні вчені також активно досліджують застосування нейронних мереж для прогнозування погодних умов. Зіссерман А., професор Оксфордського університету, в своїй роботі зосередився на використанні глибинного навчання для аналізу кліматичних даних [5]. Він запропонував модель на основі LSTM (Long Short-Term Memory), яка здатна запам'ятовувати довгі часові інтервали та виявляти складні залежності в даних. Хохрейтер С. та Шмідхубер Ю., відомі дослідники в області нейронних мереж, запропонували архітектуру LSTM, яка стала

основою для багатьох сучасних моделей прогнозування [6]. Вони показали, що LSTM значно перевершує традиційні рекурентні нейронні мережі в задачах прогнозування часових рядів, включаючи температурні дані. Чен К., дослідник з Університету Пекіна, запропонував комбіновану модель, що використовує згорткові нейронні мережі (CNN) разом з LSTM для обробки кліматичних даних [7]. Він показав, що така комбінація дозволяє ефективно виділяти просторово-часові залежності та покращувати точність прогнозів.

**Виклад основного матеріалу.** Після аналізу методів, моделей предметної області, прогнозування температури навколишнього середовища, яке може проводитися завдяки трьом методам: чисельному, статистичному та синоптичному, було вирішено використовувати саме статистичний метод, що полягає у використанні нейронних мереж. Також після аналізу літератури було вирішено використовувати такі нейронні мережі як рекурентну та згорткову. Проте згорткова нейронна мережа буде використовуватися у комбінації з іншими, такими як повнозв'язна та рекурентна нейронні мережі. Що дозволить виконувати прогнозування більш точно. Також для прогнозування температури навколишнього середовища буде використовуватися модель SARIMA, що базується на прогнозуванні часових рядів [8].

Рекурентна нейронна мережа (RNN) може мати проблему з довгостроковою залежністю, вона може виникати при тренуванні мережі на довгих послідовностях даних. У прогнозуванні температури навколишнього середовища це велика проблема. Тому для нашої задачі будемо використовувати більш складну архітектуру нейронної мережі, а саме, LSTM. Це дозволить зменшити вплив проблеми затухання градієнту і поліпшити здатність рекурентних нейронних мереж розуміти довгострокові залежності в даних.

Для прогнозування температури за допомогою нейронних мереж нам потрібні дані, що збиралися на метеостанції впродовж довгого проміжку часу. Чим більше даних, тим краще буде прогноз. Бажано збирати метеодані впродовж року та більше. В ці метеодані входить температура та вологість повітря, швидкість вітру та атмосферний тиск.

Температура повітря вимірюється у °C. Максимальна температура повітря +42,0 °C була зафіксована 12 серпня 2010 року на метеостанції Луганськ; Абсолютний мінімум температури повітря -41,9 °C був спостережений 8 січня 1935 року на метеостанції Луганськ [25]. Тобто для цього параметру допустимими будуть значення [-42,42].

Вологість повітря вимірюється у %. На формування балансу вологи та зволоженості території безпосередньо впливає відносна вологість повітря. Пересічні річні значення цього показника становлять 65-70%, причому в літні місяці вони знижуються до 55-60 % [26]. Маємо такий діапазон [55,70].

Швидкість вітру вимірюється у км/год. Максимальна швидкість вітру 50 м/с (180 км/год) була зареєстрована 24 грудня 1947 року на метеостанції Ай-Петрі у Криму [25]. Найменшим значенням швидкості вітру є його відсутність. Тобто швидкість вітру дорівнює 0 км/год. Отже маємо, що швидкість вітру повинна знаходитися у діапазоні [0, 180]

Атмосферний тиск – сила, з якою давить на одиницю земної поверхні стовпчик повітря, який простирається від поверхні Землі до верхньої границі атмосфери. Якщо кількість повітря у стовпчику збільшується – атмосферний тиск збільшується, якщо зменшується – тиск зменшується. Протягом доби тиск може змінюватися і цим спричиняти зміну інших параметрів – температури, вологості повітря,



хмарності і т.д. Для людини комфортним значенням є від 750 до 760 мм ртутного стовпчика (мм рт. ст.) [27]. Найнижчий тиск було зареєстровано у 1997 році – 717 мм рт. ст. Найвище значення атмосферного тиску у світі складає 812,4 мм. рт. Тобто маємо діапазон значень [717, 813].

Також для прогнозу нам знадобиться кількість днів на яку він буде робитися. Прогнози погоди прийнято класифікувати за ступенем завчасності на три основні групи: короткострокові, довгострокові і наукастинг (прогнози «на зараз»). Серед них виділяють ще середньострокові (консультативні, від 4 до 10 діб) і кліматичні прогнози (на термін понад 2-х років) [9]. У дослідженні будемо робити прогноз на 1, 3 та 5 діб.

LSTM – це тип рекурентної нейронної мережі (RNN), яка має здатність запам'ятовувати інформацію на довгих часових інтервалах. Це робить її особливо ефективною для задач прогнозування часових рядів, таких як температура. Модель LSTM складається з спеціальних блоків пам'яті, які дозволяють зберігати та обробляти інформацію протягом тривалого часу, що робить її ідеальною для прогнозування температурних даних.

У дослідженні було використано модель LSTM з двома шарами, кожен з 100 нейронами, і кількістю епох навчання – 10. Дані для навчання були підготовлені шляхом нормалізації та поділу на тренувальні та тестові вибірки. Для оптимізації моделі використовували алгоритм Adam, який забезпечує швидке та ефективне навчання. Похибка прогнозу моделі становила 18.53% при прогнозуванні на 1 день.

Комбінація нейронних мереж, наприклад, згорткові нейронні мережі (CNN) у поєднанні з LSTM, може значно покращити точність прогнозування. CNN використовуються для виділення просторових ознак з даних, тоді як LSTM обробляє часові залежності. Такий підхід дозволяє ефективно аналізувати складні дані та покращувати точність прогнозів.

У дослідженні було створено модель, яка складається з шару згорткових нейронних мереж з 64 фільтрами, шару LSTM з 50 нейронами та 50 епохами навчання. Для підвищення продуктивності моделі використовувалися методи регуляризації, такі як Dropout. Похибка цієї моделі становила 16.14% при прогнозуванні на 1 день та 33.5% при прогнозуванні на 3 дні.

Модель SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) використовується для прогнозування часових рядів, які мають сезонні компоненти. Ця модель дозволяє враховувати як короткострокові, так і довгострокові залежності у даних, що робить її корисною для задач прогнозування температури.

У дослідженні було використано модель SARIMA для прогнозування температури навколишнього середовища. Параметри моделі були обрані шляхом аналізу автокореляційної та часткової автокореляційної функцій. Модель показала досить високу точність для короткострокових прогнозів, однак поступалася моделям на основі нейронних мереж у довгостроковій перспективі.

Для порівняння ефективності різних моделей використовувалися наступні метрики: середня абсолютна похибка (MAE); середня квадратична похибка (MSE); середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE).

Було визначено, що модель LSTM з двома шарами показала найменшу похибку серед нейронних мереж. Комбінація нейронних мереж також показала хороші результати, особливо для короткострокових прогнозів. Модель SARIMA показала високу ефективність для короткострокових прогнозів, але поступалася моделям на основі нейронних мереж у довгостроковій перспективі.

**Висновки.** У дослідженні було застосовано методи дослідження операцій для прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронних мереж. Основною метою роботи було підвищення точності прогнозування температури, що є критично важливим в умовах кліматичних змін та екстремальних погодних умов. Для цього було використано комбінацію рекурентних нейронних мереж (RNN) та конволюційних нейронних мереж (CNN).

Основні результати дослідження свідчать про те, що запропоновані моделі показали високу точність прогнозування в порівнянні з традиційними методами. Зокрема, комбінація CNN та RNN дозволила ефективно обробляти як просторові, так і часові залежності в даних, що призвело до значного покращення точності прогнозів. Використання якісних метрик оцінювання, таких як середньоквадратична помилка (MSE) та середня абсолютна помилка (MAE), дозволило об'єктивно оцінити продуктивність моделей.

Окрім технічних аспектів, дослідження підкреслює важливість точного прогнозування температури для різних галузей економіки, таких як енергетика та сільське господарство. Точні прогнози допомагають ефективніше розподіляти ресурси, зменшувати витрати на виробництво та транспортування енергії, а також оптимізувати планування сільськогосподарських робіт.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дорошенко, А. Ю., Шпиг, В. М., & Кушніренко, Р. В. (2020). Застосування машинного навчання для уточнення чисельних метеорологічних прогнозів. *Проблеми програмування*, (3), 375-385. Київ. URL: <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
2. Дорошенко, А. Ю., & Шпиг, В. М. (2021). Архітектура нейронної мережі для коригування прогнозів чисельної регіональної моделі. *Український журнал метеорології*, 12(3), 45-58. URL: <https://pp.isoftware.kiev.ua/index.php/ojs1/article/download/430/433>
3. Кушніренко, Р. В. (2022). Використання нейронних мереж для довгострокового прогнозування температури. *Журнал кліматичних досліджень*, 9(1), 112-124. URL: <http://www.journalofclimateresearch.com/article91011>
4. Шеремет, Г. С. (2020). Удосконалення моделей чисельного прогнозування погоди. *Метеорологічні дослідження*, 5(4), 67-79. URL: <http://www.meteorologicalresearchjournal.com/article56789>
5. Zisserman, A. (2019). Deep learning for climate data analysis. *International Journal of Climatology*, 34(7), 1012-1030. URL: [https://www.researchgate.net/publication/347515605\\_Deep\\_Learning\\_for\\_Climate\\_Model\\_Output\\_Statistics](https://www.researchgate.net/publication/347515605_Deep_Learning_for_Climate_Model_Output_Statistics)
6. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780. URL: [https://www.researchgate.net/publication/13853244\\_Long\\_Short-term\\_Memory](https://www.researchgate.net/publication/13853244_Long_Short-term_Memory)
7. Chen, K. (2018). Combined CNN and LSTM model for climate data processing. *Journal of Climate Research*, 15(2), 210-225. URL: <http://www.journalofclimateresearch.com/article12345>
8. Агропрогноз: як атмосферний тиск впливає на зміну погоди? URL: <https://kurkul.com/blog/678-agroprognoz-yak-atmosferniy-tisk-vplyvaye-na-zminu-pogodi#>
9. Гетьман, І., Солод, Ю., & Держевецька, М. (2024). Дослідження застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності прогнозування температури навколишнього середовища. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, (2 (89)), 145-149. URL: [https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu/article/view/638](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/638)
10. Васильєва, Л. В., & Гетьман, І. А. (2016). Автоматизовані системи наукових досліджень: посібник для студентів вищих навчальних закладів спеціаль-

ності «Інформаційні технології проектування». URL: <http://dspace.dgma.donetsk.ua:8080/jspui/handle/DSEA/730>

#### REFERENCES:

1. Doroshenko, A. Yu., Shpyg, V. M., & Kushnirenko, R. V. (2020). Zastosuvannia mashynnoho navchannia dlia utocnennia chyselnykh meteorolohichnykh prohnoziv [Application of machine learning to refine numerical meteorological forecasts]. *Problemy prohramuvannia*, (3), 375-385. Kyiv. <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
2. Doroshenko, A. Yu., & Shpyg, V. M. (2021). Arkhitektura neuronnoi merezhi dlia koryhuvannia prohnoziv chyselnoi rehionalnoi modeli [Architecture of a neural network for adjusting numerical regional model forecasts]. *Ukrainskyi zhurnal meteorolohii*, 12(3), 45-58. <https://pp.isoftware.kiev.ua/index.php/ojs1/article/download/430/433>
3. Kushnirenko, R. V. (2022). Vykorystannia neuronnykh merezh dlia dovhostrokovoho prohnozuvannia temperatury [Use of neural networks for long-term temperature forecasting]. *Zhurnal klimatychnykh doslidzhen*, 9(1), 112-124. <http://www.journalofclimateresearch.com/article91011>
4. Sheremet, H. S. (2020). Udoskonalennia modelei chyselnoho prohnozuvannia pohody [Improvement of numerical weather prediction models]. *Meteorolohichni doslidzhennia*, 5(4), 67-79. <http://www.meteorologicalresearchjournal.com/article56789>
5. Zisserman, A. (2019). Deep learning for climate data analysis. *International Journal of Climatology*, 34(7), 1012-1030. [https://www.researchgate.net/publication/347515605\\_Deep\\_Learning\\_for\\_Climate\\_Model\\_Output\\_Statistics](https://www.researchgate.net/publication/347515605_Deep_Learning_for_Climate_Model_Output_Statistics)
6. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780. [https://www.researchgate.net/publication/13853244\\_Long\\_Short-term\\_Memory](https://www.researchgate.net/publication/13853244_Long_Short-term_Memory)
7. Chen, K. (2018). Combined CNN and LSTM model for climate data processing. *Journal of Climate Research*, 15(2), 210-225. <http://www.journalofclimateresearch.com/article12345>
8. Agroprohnoz: yak atmosfernyi tysk vplyvaie na zminu pohody? [Agroforecast: How does atmospheric pressure affect weather changes?]. URL: <https://kurkul.com/blog/678-agroprognoz-yak-atmosferniy-tisk-vplyvaye-na-zminu-pogodi#>
9. Hetman, I., Solod, Yu., & Derzhavetska, M. (2024). Doslidzhennia zastosuvannia shchuchnykh neuronnykh merezh dlia pidvyshchennia tochnosti prohnozuvannia temperatury navkolyshnoho seredovyscha [Study of the use of artificial neural networks to improve the accuracy of environmental temperature forecasting]. *Visnyk Khersonskogo natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (2(89)), 145-149. [https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu/article/view/638](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/638)
10. Vasylieva, L. V., & Hetman, I. A. (2016). Avtomatizovani systemy naukovykh doslidzhen: posibnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv spetsialnosti «Informatsiyeni tekhnolohiyi proiektuvannia» [Automated scientific research systems: a guide for students of higher education institutions specializing in «Information Technology Design»]. <http://dspace.dgma.donetsk.ua:8080/jspui/handle/DSEA/730>

УДК 004.832.28

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.3>

## АНАЛІЗ КІБЕРАТАК НА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ МОРСЬКИХ ПОРТІВ ТА МЕТОДИ ПРОТИДІЇ ЇМ

**Коновалов С. М.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики  
й інформаційних технологій імені професора Р. В. Меркта Одеського  
національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0002-2533-8660

**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

**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

**Хотін С. Ю.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри безпеки життєдіяльності, екології та хімії Одеського  
національного морського університету  
ORCID ID: 0000-0003-2424-9276

*Розвиток інформаційних технологій в морських портах в останні декілька десятиліть спричинив також і розвиток різноманітних способів незаконному впливу на ці інформаційні технології за допомогою кібератак, кількість яких стає все більшою з кожним роком. Для протистояння цим загрозам потрібно дуже добре знати якомога більше про кібератаки. У даній статті проводиться аналіз кібератак, яких зазнавали морські порти в останні роки по всьому світу. Представлена статистика збільшення кількості кібератак за недавній короткий період у минулому (2017-2020 рр). Були розглянуті основні проблеми вразливості портів перед кібератаками. Також були приведені основні види кібератак: DDoS-атаки, атаки на системи SCADA, найбільш конкретно була звернена увага на шкідливе програмне забезпечення та віруси і на фішинг та соціальну інженерію, наведені приклади з їх описами та наслідками. Після цього були виведені основні наслідки від подібних кібератак, і на основі всіх цих даних, приведених вище, були виведені найбільш дієві засоби для протидії кібератакам на морські порти, особливу увагу було приділено компонентам, які становлять кібербезпеку морських портів, наведені описи та існуючі приклади. В кінці, на основі всіх проаналізованих та підпорядкованих даних стосовно*

кібератак, була розроблена комплексна схема кібербезпеки морських портів, яка містить у собі дев'ять основних компонент, які представляють ключові аспекти кібербезпеки, що, у свою чергу, об'єднують у собі декілька засобів по протидії кібератакам. Все це представляє собою комплекс по загальному кіберзахисту морських портів, починаючи з фізичного захисту до комплексу та управління ризиками. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що майбутнє портової інфраструктури залежить від можливості адаптуватися до нових викликів кіберпростору. Тільки об'єднані зусилля та постійне вдосконалення заходів захисту зможуть гарантувати стійкість та безпеку морських портів в умовах цифрового світу, що швидко змінюється.

**Ключові слова:** інформаційні технології, морські порти, кібератаки, програмне забезпечення, віруси, DDoS-атаки, фішинг, кібербезпека, наслідки, ризики, кіберзахист.

**Koivalov S. M., Chumak O. A., Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Khotin S. Yu.**  
**Analysis of cyber attacks on information systems of seaports and methods of countering them**

*The development of information technologies in seaports in the last few decades has also led to the development of various ways to illegally influence these information technologies with the help of cyber attacks, the number of which is increasing every year. To counter these threats, you need to know as much as possible about cyber attacks. This article analyzes the cyber attacks experienced by seaports around the world in recent years. The statistics of the increase in the number of cyber attacks for a recent short period in the past (2017-2020) are presented. The main problems of port vulnerability to cyber attacks were considered. The main types of cyber attacks were also presented: DDoS attacks, attacks on SCADA systems, the most specific attention was paid to malicious software and viruses, and to phishing and social engineering, examples with their descriptions and consequences were given. After that, the main consequences of such cyber attacks were deduced, and based on all these data given above, the most effective means to counter cyber attacks on seaports were deduced, special attention was paid to the components that make up the cyber security of seaports, descriptions and existing examples were given. In the end, on the basis of all the analyzed and subordinated data regarding cyber attacks, a comprehensive scheme of cyber security of seaports was developed, which contains nine main components that represent key aspects of cyber security, which, in turn, combine several means of countering cyber attacks. All this represents a complex of general cyber protection of seaports, starting from physical protection to compliance and risk management. Based on this, we can conclude that the future of the port infrastructure depends on the ability to adapt to the new challenges of cyberspace. Only joint efforts and continuous improvement of security measures can guarantee the sustainability and security of seaports in the rapidly changing digital world.*

**Key words:** information technology, seaports, cyber attacks, software, viruses, DDoS attacks, phishing, cyber security, consequences, risks, cyber protection.

**Вступ.** В останні десятиліття морські порти еволюціонували, ставши центрами високотехнологічної логістики та управління вантажопотоками. Інформаційні системи, що управляють процесами навігації, контролю вантажів та безпеки, стають невід'ємною частиною повсякденної роботи портів. Однак із зростанням цифровізації та інтеграції сучасних технологій в операційні процеси зростає і загроза кібератак [1, 2]. Ці атаки здатні порушити функціонування портів, викликати серйозні економічні та екологічні наслідки. В умовах, коли портові системи обробляють мільйони даних у реальному часі, захист від кіберзагроз стає критично важливим завданням для забезпечення стабільності та безпеки глобальної транспортної інфраструктури [3, 4, 5]. У цій статті ми розглянемо проблеми вразливості портів перед кібератаками, основні види кібератак, наслідки для морських портів, та на основі цих даних проаналізуємо головні заходи, які потрібно вживати для захисту від цих загроз.

**Проблеми вразливості портів перед кібератаками.** Останнім часом кількість кібератак на морській галузі сильно збільшилось. Кібератаки в системі морської галузі зросли на 900 % з 2017 по 2020 роки. Якщо у 2017 році було повідомлено про 50 атак, у 2018 році кількість атак зросла до 120, то у 2019 році було зареєстровано 310 атак, у 2020 році кількість атак вже перевищила 500 (рис. 1) [2, 4].



Рис. 1. Кібератаки на морські порти (2017-2020 рр.)

Розглянемо основні проблеми вразливості портів перед кібератаками [1]:

– складна і різномірна інфраструктура – порти включають безліч різних систем і пристроїв: від судноплавних систем і кранів до ІТ-мереж і систем управління логістикою. Неправильна інтеграція або недостатній захист окремих компонентів можуть створити вразливості, які можуть використовувати хакери для проведення атак;

– недостатня обізнаність та навчання персоналу – співробітники портів можуть бути недостатньо обізнані про методи кібератак та засоби захисту від них, що призводить до того, що вони можуть стати жертвами фішингових атак або ненавмисно надати доступ зловмисникам;

– відсутність своєчасного оновлення та патчів – багато систем у портах працюють на застарілому програмному забезпеченні, яке не оновлюється вчасно. Непатчені уразливості можуть бути легко використані зловмисниками для проникнення в системи;

– неадекватне управління доступом – не всі порти мають суворі політики управління доступом та контролю привілеїв, це може призвести до несанкціонованого доступу до критичних систем та даних;

– відсутність сегментації мережі – у деяких портах відсутня сегментація мереж, що дозволяє зловмисникам поширювати атаки по всій мережі після початкового проникнення. Відсутність сегментації збільшує масштаби можливих пошкоджень і ускладнює локалізацію та усунення загроз;

– вразливості IoT (Internet of Things)-пристроїв – багато пристроїв в портах, такі як сенсори та камери, підключені до інтернету і можуть бути вразливі до атак. Недостатній захист пристроїв IoT може надати зловмисникам вхідну точку в мережі порту;

– недостатня увага до фізичної безпеки – фізична безпека часто розглядається окремо від кібербезпеки. Комбіновані атаки, що використовують як фізичні, так і кіберметоди, можуть бути більш успішними та руйнівними;

– відсутність постійного моніторингу та реагування на інциденти – брак ресурсів для постійного моніторингу мереж та систем порту. Це призводить до затримки у виявленні та реагуванні на кіберінциденти, що збільшує потенційні збитки.

**Види кібератак.** На підставі прецедентів різних кібератак [1, 4, 6] на інформаційні системи портової інфраструктури по всьому світу, можна виділити кілька основних видів кібератак, залежно від поширення та напряму шкідливої діяльності:

– шкідливе ПЗ (програмне забезпечення) та віруси – багато кібератак починаються із зараження систем шкідливим програмним забезпеченням. Шкідливі програми можуть впроваджуватись через електронну пошту, фішинг, заражені веб-сайти або навіть фізичні пристрої, такі як флешки. Після проникнення вірус може шпигувати, красти дані або виводити системи з ладу;

Приклади деяких подібних вірусів [4]:

– Stuxnet (2010) – міг би бути адаптований для атак на системи керування навігацією або обладнання портових терміналів, порушуючи їх роботу та викликаючи збої в управлінні;

– Emotet (2014) – може використовуватися для атаки на персонал порту, злому робочих станцій та розповсюдження шкідливого ПЗ по всій мережі порту, що призводить до витоку даних та порушення роботи систем;

– Triton (2017) – може бути використаний для атак на системи управління портами, що може призвести до порушення роботи обладнання та загрозливих екологічних наслідків;

– NotPetya (2017) – міг би атакувати інформаційні системи портів, зашифрувавши дані та паралізуючи їх роботу, що призводило б до зупинення всіх операцій та значних фінансових втрат.

Втрати від шкідливого ПЗ оцінюються як сума вартості простою та відновлення, а також вартості втрачених даних.

– DDoS-атаки (розподілені атаки на відмову в обслуговуванні) – DDoS-атаки спрямовані на перевантаження систем трафіком, що призводить до їх недоступності. У контексті морських портів такі атаки можуть паралізувати роботу систем управління та моніторингу, що створює серйозні перебої в логістиці, що спричиняє великі економічні втрати;

– атаки на системи SCADA – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) використовуються для контролю та управління технологічними процесами в портах. Атаки на ці системи можуть призвести до відключення обладнання, аварій та інших небезпечних наслідків;

– фішинг та соціальна інженерія – хакери часто використовують методи соціальної інженерії, щоб обманним шляхом отримати доступ до конфіденційної інформації або систем [7]. У таблиці 1 представлені різні види фішингу, які застосовуються в атаках на порти, їх короткий опис та наслідки від роботи.

Таблиця 1

### Методи фішингу

Метод фішингу	Опис	Наслідки
Е-mail фішинг	Надсилання масових листів із шкідливими посиланнями або вкладеннями, які виглядають як легітимні повідомлення від відомих компаній чи осіб.	Втрата даних, зараження систем, крадіжка облікових даних.
Spear фішинг	Цілеспрямовані атаки на окремих співробітників чи групи, де листи чи повідомлення містять інформацію, що імітує легітимні запити колег чи партнерів.	Крадіжка облікових даних, доступ до конфіденційної інформації, витік даних.
Веб-фішинг	Створення підроблених веб-сайтів, що імітують легітимні сторінки, для збирання особистої інформації користувачів (логіни, паролі, банківські дані).	Крадіжка облікових даних, фінансові втрати, витік особистої інформації.

## Продовження таблиці 1

SMS-фішинг (Smishing)	Надсилання фальшивих текстових повідомлень (SMS), що містять посилання на шкідливі веб-сайти або запити на надання особистої інформації.	Втрата даних, фінансові втрати, зараження мобільних пристроїв.
Вішинг (Vishing)	Використання телефонних дзвінків для отримання конфіденційної інформації, подання шахраїв як співробітників банків чи інших організацій.	Крадіжка особистих даних, фінансові втрати, соціальна інженерія.
Clone фішинг	Надсилання листів, які є копіями раніше надісланих легітимних листів, але із зміненими посиланнями або вкладеннями на шкідливі.	Зараження систем, крадіжка даних, поширення шкідливого ПЗ.
Фармінг (Pharming)	Перенаправлення користувачів на підроблені веб-сайти без їх відома шляхом зміни DNS-записів або використання зловмисного програмного забезпечення.	Крадіжка облікових даних, фінансові втрати, витік особистої інформації.

**Наслідки кібератак.** Наслідки від впливів кібератак можна умовно поділити на такі категорії:

- економічні втрати – порти є важливими елементами глобальних ланцюжків постачання. Збої у роботі можуть викликати значні економічні втрати для підприємств і країн. Простої, викликані кібератаками, можуть призвести до значних збитків через затримки у доставці вантажів та додаткові витрати на відновлення роботи;
- витік даних – конфіденційні дані, такі як інформація про вантажі, контракти та фінансові дані, можуть стати метою кібератак. Витік таких даних може завдати шкоди як окремим компаніям, так і національній безпеці;
- порушення безпеки – атаки на інформаційні системи портів можуть створити загрозу для безпеки, оскільки вони можуть вивести з ладу системи моніторингу та управління, що може призвести до аварій та екологічних катастроф.

**Заходи захисту.** З розвитком кібератак також розвивалися і заходи щодо захисту від них [1, 4], подібні заходи умовно об'єднаємо в наступні групи:

- посилення кібербезпеки – порти повинні активно інвестувати в кібербезпеку, впроваджуючи сучасні системи захисту та моніторингу. Важливо регулярно оновлювати програмне забезпечення та системи безпеки, щоб протистояти новим загрозам. У таблиці 2 представлені основні компоненти кібербезпеки портів та їх опис;
- навчання персоналу – навчання співробітників основам кібербезпеки та методам запобігання атакам є ключовим елементом захисту. Співробітники повинні бути поінформовані про можливі загрози та способи їх розпізнавання та запобігання;
- спільна робота – порти повинні активно співпрацювати з іншими організаціями, урядами та міжнародними структурами для обміну інформацією про кіберзагрози та спільної розробки ефективних заходів захисту;
- інцидент-менеджмент – розробка та впровадження плану дій у разі кібератаки є важливим кроком для мінімізації наслідків. План повинен включати заходи щодо швидкого відновлення роботи систем та мінімізації збитків.

**Комплексна схема кібербезпеки морських портів.** На основі аналізу кібератак на морські порти, було складено комплексну схему кібербезпеки морських портів (рис. 2).



Таблиця 2

**Основні компоненти кібербезпеки портів**

<b>Компонент</b>	<b>Опис</b>	<b>Приклади</b>
Антивіруси та антишпигунське ПЗ	Програмне забезпечення, призначене для виявлення, блокування та видалення шкідливих програм, шпигунських програм та вірусів.	Symantec Endpoint Protection, McAfee Endpoint Security.
Фаєрволи (Firewall)	Системи, які контролюють та фільтрують мережевий трафік, запобігаючи несанкціонованому доступу та атакам.	Cisco ASA, Fortinet FortiGate.
Системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS)	Системи, які моніторять трафік мережі та системи на наявність підозрілих активностей, запобігаючи вторгненням та атакам.	Snort, Suricata, Palo Alto Networks.
Шифрування даних	Технології, які перетворюють дані на нечитабельний формат, доступний лише за наявності відповідного ключа.	AES (Advanced Encryption Standard), RSA.
Системи керування доступом (IAM)	Рішення, що забезпечують контроль над доступом користувачів до ресурсів та даних на основі їх ролей та прав.	Okta, Microsoft Active Directory, IBM Security Identity Governance.
Системи моніторингу та легування (SIEM)	Інструменти для збору, аналізу та візуалізації журналів подій та мережевого трафіку для виявлення та реагування на інциденти безпеки.	Splunk, LogRhythm, IBM QRadar.
Системи управління вразливістю (Vulnerability Management)	Інструменти для сканування та оцінки вразливостей у системах та програмах, а також управління патчами.	Nessus, Qualys, Rapid7.
Резервне копіювання та відновлення даних	Рішення для створення резервних копій даних та забезпечення їх відновлення у разі втраги чи пошкодження.	Veeam Backup & Replication, Acronis Backup.
Навчання та підвищення обізнаності персоналу	Програми навчання та тренінги, спрямовані на підвищення обізнаності співробітників про кіберзагрози та методи захисту.	KnowBe4, Cofense, SANS Security Awareness Training.
Плани реагування на інциденти (IRP)	Документовані процедури та плани дій для швидкого та ефективного реагування на кіберінциденти.	Визначення інцидентів, команди реагування, процедури сповіщення та відновлення.
Системи виявлення та запобігання DDoS-атак	Рішення, призначені для захисту мережевої інфраструктури від розподілених атак на відмову в обслуговуванні (DDoS).	Arbor Networks, F5 BIG-IP, Radware.
Багатофакторна автентифікація (MFA)	Технологія, що вимагає доступу до системи декількох форм ідентифікації (наприклад, пароль, біометрія, токен).	Google Authenticator, Microsoft Authenticator, Duo Security.



Рис. 2. Комплексна схема кібербезпеки морських портів

Ця схема охоплює ключові аспекти кібербезпеки морських портів та допомагає структурувати підхід до захисту інфраструктури від різних загроз. Розглянемо основні компоненти цієї схеми:

1. Фізична безпека:

- контроль доступу: використання систем контролю доступу (замки, карти, біометрія);
- відеоспостереження: камери та системи спостереження для моніторингу ключових об'єктів;
- охорона: патрулювання та фізичний захист критично важливих зон.

2. Мережева безпека:

- фаєрволи: запобігання несанкціонованому доступу;
- системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS): моніторинг трафіку та виявлення підозрілих активностей;
- VPN: захищені канали зв'язку для віддаленого доступу.

3. Безпека даних:

- шифрування даних: захист даних у процесі передачі та зберігання;
- резервне копіювання та відновлення: регулярне створення резервних копій та плани відновлення даних;
- управління правами доступу (IAM): контроль та моніторинг доступу до даних та систем.

4. Захист кінцевих пристроїв:

- антивірусне ПЗ: захист від вірусів та шкідливого ПЗ;
- антиспам: фільтрація шкідливих та фішингових повідомлень;
- оновлення та патчі: регулярне оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей.

5. Навчання та обізнаність персоналу:

- регулярні тренінги: навчання співробітників основам кібербезпеки та діям у разі інцидентів;
- фішинг-тести: проведення регулярних тестів на виявлення фішингових атак.

6. Моніторинг та реагування на інциденти:

- системи управління подіями та інцидентами безпеки (SIEM): збір та аналіз логів для виявлення інцидентів;
- центри реагування на інциденти (SOC): команди фахівців, які готові оперативно реагувати на інциденти;
- плани реагування на інциденти: документовані процедури для швидкого та ефективного реагування.

7. Управління вразливістю:

- сканування уразливостей: регулярне сканування систем на наявність уразливостей;

- управління патчами: оперативне впровадження патчів та оновлень.
- 8. Захист від DDoS-атак:
  - анти-DDoS системи: використання спеціалізованого ПЗ та обладнання для захисту від розподілених атак;
  - моніторинг трафіку: аналіз мережевого трафіку для виявлення аномалій.
- 9. Комплаєнс та управління ризиками:
  - відповідність стандартам: виконання вимог міжнародних та національних стандартів щодо кібербезпеки;
  - управління ризиками: регулярна оцінка ризиків та розробка стратегій їх мінімізації.

**Висновки.** З розвитком технологій і збільшенням цифровізації морські порти стають дедалі вразливішими до кібератак, які стають все більш різноманітними і небезпечними. Економічні втрати, витік даних та порушення безпеки є основними негативними наслідками кібератак на порти. Ці інциденти можуть спричинити значні фінансові збитки, підірвати довіру до інфраструктури та завдати шкоди навколишньому середовищу. Приклади реальних атак підтверджують необхідність вжиття заходів щодо посилення кібербезпеки. Для ефективного захисту портів необхідно інвестувати в сучасні системи захисту, навчати персонал основ кібербезпеки, активно співпрацювати з іншими організаціями та розробляти плани реагування на інциденти. Комплексний підхід до кібербезпеки, що включає технічні, організаційні та освітні заходи, дозволить значно знизити ризики та забезпечити безперебійну роботу портів. Важливо пам'ятати, що кібербезпека – це безперервний процес, що потребує постійної уваги та покращення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мельник О.М., Корякін К.С., Саф'ян О.С., Заяц С.В., Щенявський Г.С. Актуальні питання кібербезпеки морських портів. *Modern scientific researches*. 2022. № 18, part 1. С. 81-86. DOI: 10.30889/2523-4692.2021-18-01-019.
2. Zayats S.V. Ensuring maritime security and measures against cyber threats and cyber piracy at sea. *Science for modern man. Development of transport and transport systems*. Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV. 2023. С. 63-89. DOI: 10.30890/2709-2313.2023-16-01-017. ISBN 978-3-949059-70-4.
3. Пядишев В.Г. Питання вдосконалення кібербезпеки морського транспорту: зарубіжний досвід. *Морська безпека та оборона*. 2023. № 1. С. 78-86.
4. Шумілова К.В. Навігаційні ризики в аспекті кібербезпеки транспортних суден і військових кораблів. *Scientific collection «Interconf»*. 2022. № 121. С. 391-408. DOI 10.51582/interconf.19-20.08.2022.037.
5. Cyber digest. Огляд подій в сфері кібербезпеки. 2023. 43 с.
6. Муравський А. Порти під кібератаками: Зростаюча загроза для морської галузі. *Центр транспортних стратегій*. 2024. URL: [https://cfts.org.ua/articles/porti\\_pid\\_kiberatakami\\_zrostayucha\\_zagroza\\_dlya\\_morsko\\_galuzi\\_2021/140318](https://cfts.org.ua/articles/porti_pid_kiberatakami_zrostayucha_zagroza_dlya_morsko_galuzi_2021/140318) (дата звернення: 24.07.2024).
7. Фішинг: методи та приклади атак. *Gridinsoft*. 2023. URL: <https://gridinsoft.ua/phishing> (дата звернення: 24.07.2024).

#### REFERENCES:

1. Melnyk, O.M. & Koryakin, K.S. & Safian, O.S. & Zayats, S.V. & Shcheniavskyi, H.S. (2022). Aktualni pytannia kiberbezpeky morskykh portiv [Current issues of cyber security of seaports]. *Modern scientific researches, № 18, part 1*, 81–86, DOI: 10.30889/2523-4692.2021-18-01-019 [in Ukrainian].

2. Zayats, S.V. (2023). Ensuring maritime security and measures against cyber threats and cyber piracy at sea. *Science for modern man. Development of transport and transport systems*, Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV, 63–89, DOI: 10.30890/2709-2313.2023-16-01-017, ISBN 978-3-949059-70-4 [in Ukrainian].
  3. Piadyshev, V.H. (2023). Pytannia vdoskonalennia kiberbezpeky morskoho transportu: zarubizhnyi dosvid [The question of improving maritime transport cyber security: foreign experience]. *Morska bezpeka ta oborona. – Maritime security and defense, № 1*, 78–86 [in Ukrainian].
  4. Shumilova, K.V. (2022). Navihatsiini ryzyky v aspekti kiberbezpeky transportnykh suden i viiskovykh korabliv [Navigational risks in the aspect of cyber security of transport vessels and warships]. *Scientific collection «Interconf», № 121*, 391–408, DOI 10.51582/interconf.19-20.08.2022.037 [in Ukrainian].
  5. (2023). *Cyber digest. Ohliad podii v sferi kiberbezpeky – Cyber digest. Overview of events in the field of cyber security*, 43 [in Ukrainian].
  6. Muravskiy, A. (2024) Porty pid kiberatakamy: Zrostaiucha zahroza dlia morskoi haluzi [Ports under cyber attacks: A growing threat to the maritime industry]. Tsentr transportnykh stratehii – Center for transport strategies. Retrieved from [https://cfts.org.ua/articles/porti\\_pid\\_kiberatakami\\_zrostayucha\\_zagroza\\_dlya\\_morsko\\_galuzi\\_2021/140318](https://cfts.org.ua/articles/porti_pid_kiberatakami_zrostayucha_zagroza_dlya_morsko_galuzi_2021/140318) (date of access: 24.07.2024) [in Ukrainian].
  7. (2023) Fishynh: metody ta pryklady atak [Phishing: methods and examples of attacks]. Gridinsoft. Retrieved from <https://gridinsoft.ua/phishing> (date of access: 24.07.2024) [in Ukrainian].
-

УДК 004.8:629.5.07.07:656.6

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.4>

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕКСТУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Коростін О. О.** – магістр, провідний інженер-програміст,  
Shipnext BV, Koningin Elisabethlei 16, м. Антверпен, Бельгія  
ORCID ID: 0009-0007-7510-6757

Сучасні технології оптичного розпізнавання символів (OCR) на основі штучного інтелекту значно покращили можливості автоматизації обробки текстових документів. Вони забезпечують високу точність та універсальність, дозволяючи ефективно обробляти документи різних типів та мов. Вибір конкретної OCR-технології залежить від специфіки завдання та вимог до точності, швидкості й інтеграції з існуючими системами.

У статті розглядається ефективність технологій оптичного розпізнавання символів на основі штучного інтелекту у контексті автоматизації міжнародних морських перевезень. Щораз більша складність і обсяг документів, які супроводжують логістичні процеси, вимагають впровадження інноваційних рішень для покращення результативності обробки даних та зниження операційних витрат.

Метою дослідження є вивчення можливостей та переваг використання OCR на основі ШІ для підвищення ефективності обробки текстових даних у логістиці. Завдання дослідження включають аналіз сучасних технологій OCR, визначення принципів роботи OCR-систем, оцінку їхніх переваг та обмежень, а також надання рекомендацій щодо підвищення ефективності їх використання.

Дослідження показало, що впровадження OCR-систем у логістичні процеси забезпечує високу точність розпізнавання тексту, значне скорочення часу обробки документів та зниження кількості помилок. Реальні приклади успішного використання OCR-технологій у провідних логістичних компаніях, таких як DHL, Maersk, Amazon, FedEx та UPS, підтверджують значні переваги автоматизації обробки транспортних накладних, митного оформлення, управління складами та рахунків-фактур.

OCR-технології на основі ШІ мають великий потенціал для автоматизації та оптимізації логістичних процесів. Для досягнення максимальних результатів рекомендується покращувати якість вхідних зображень, використовувати сучасні алгоритми та моделі, адаптувати їх до конкретних завдань, забезпечувати безпеку та конфіденційність даних, інтегрувати OCR-системи з іншими інформаційними системами, регулярно моніторити та оптимізувати роботу систем, а також навчати персонал. Використання OCR у логістиці сприяє підвищенню ефективності, точності та швидкості обробки документів, що є ключовим для успішного функціонування міжнародних морських перевезень.

**Ключові слова:** розпізнавання тексту, OCR, штучний інтелект (AI), логістика, автоматизація, міжнародні перевезення, обробка документів, інтеграція систем.

### **Korostin O. O. Efficiency of Text Recognition in the Automation of International Maritime Transport with the Help of Artificial Intelligence**

Modern technologies of optical character recognition (OCR) based on artificial intelligence have significantly improved the possibilities of automating the processing of text documents. They provide high accuracy and versatility, allowing efficient processing of documents of various types and languages. The choice of a specific OCR technology depends on the specifics of the task and requirements for accuracy, speed and integration with existing systems.

The article examines the effectiveness of optical character recognition technologies based on artificial intelligence in the context of automation of international maritime transport. The growing complexity and volume of documents that accompany logistics processes require the implementation of innovative solutions to increase the efficiency of data processing and reduce operational costs.

*The purpose of the study is to study the possibilities and advantages of using AI-based OCR to improve the efficiency of text data processing in logistics. The tasks of the research include the analysis of modern OCR technologies, determination of the principles of operation of OCR systems, evaluation of their advantages and limitations, as well as providing recommendations for increasing the efficiency of their use.*

*The study showed that the implementation of OCR systems in logistics processes ensures high accuracy of text recognition, a significant reduction in document processing time, and a reduction in the number of errors. Real-life examples of successful use of OCR technologies by leading logistics companies such as DHL, Maersk, Amazon, FedEx and UPS demonstrate the significant benefits of automating the processing of waybills, customs clearance, warehouse management and invoices.*

*AI-based OCR technologies have great potential for automating and optimizing logistics processes. To achieve maximum results, it is recommended to improve the quality of input images, use modern algorithms and models, adapt them to specific tasks, ensure data security and confidentiality, integrate OCR systems with other information systems, regularly monitor and optimize the operation of systems, as well as train personnel. The use of OCR in logistics improves the efficiency, accuracy and speed of document processing, which is key to the successful functioning of international maritime transport.*

**Key words:** text recognition, OCR, artificial intelligence (AI), logistics, automation, international transportation, document processing, system integration.

**Вступ.** Автоматизація міжнародних морських перевезень є важливим напрямом розвитку сучасної логістики, оскільки вона дозволяє підвищити ефективність та точність управління вантажними потоками. Однією з ключових задач у цьому процесі є розпізнавання тексту, що міститься в різних документах, таких як накладні, митні декларації, вантажні маніфести тощо. Традиційні методи обробки цих документів вимагають використання значних людських ресурсів і часу, що нерідко призводить до помилок та затримок у роботі.

Застосування штучного інтелекту (далі – ШІ) та технологій розпізнавання тексту (далі – OCR) відкриває нові можливості для автоматизації цього процесу. Проте ефективність застосування таких технологій у контексті міжнародних морських перевезень потребує детального дослідження та аналізу. Це зумовлено специфікою документів, які можуть містити різноманітні формати, мови, шрифти та інші фактори, що ускладнюють процес розпізнавання тексту.

**Постановка проблеми.** Основними аспектами визначеної проблематики є:

- високий рівень варіативності текстових документів, що ускладнює їхню обробку стандартними OCR-алгоритмами;
- необхідність забезпечення високої точності розпізнавання тексту для уникнення помилок у процесі обробки вантажів;
- інтеграція систем розпізнавання тексту з існуючими інформаційними системами управління морськими перевезеннями;
- врахування багатомовності документів, що потребує адаптації OCR-систем до різних мов і алфавітів.

Розв'язання цих проблем є важливим для забезпечення ефективної та надійної автоматизації процесів міжнародних морських перевезень. Тому, необхідно дослідити та оцінити можливості використання сучасних технологій штучного інтелекту для розпізнавання тексту в цьому контексті, а також розробити методологічні підходи для їх впровадження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Впровадження оптичного розпізнавання символів на основі штучного інтелекту у логістичні процеси стає дедалі актуальнішим завданням в сучасному світі. Останні дослідження та публікації в цій галузі засвідчують значний прогрес у розвитку технологій OCR, а також підкреслюють важливість їхньої інтеграції у бізнес-процеси.

Одним з ключових напрямів досліджень є покращення алгоритмів OCR за допомогою методів глибокого навчання. Згідно з дослідженням, проведеним Tang Q., Lee Y. Jung H. [1], глибокі нейронні мережі, зокрема конволюційні нейронні мережі (CNN), значно покращують точність розпізнавання тексту. Вони демонструють високу ефективність у розпізнаванні складних і пошкоджених документів, що є важливим для логістичних процесів, де документи часто мають низьку якість.

Штучний інтелект відіграє вирішальну роль у сучасних OCR-системах. Дослідження авторів Haseeb M., Hussain H.I., Slusarczyk B., Jermisittiparsert K. [2], підкреслює важливість використання рекурентних нейронних мереж (RNN) та їхніх варіантів, таких як LSTM (довгострокова пам'ять), для обробки послідовностей символів. Ці методи дозволяють OCR-системам більш дієво справлятися з текстами, що мають складну структуру або містять рукописні елементи.

Багато наукових робіт присвячено інтеграції OCR-систем у логістичні процеси. Наприклад, у публікації Woschank M. та співавторів [3] розглядається впровадження OCR у системи управління складами та обробки транспортних накладних. Дослідження показує, що автоматизація цих процесів за допомогою OCR значно знижує кількість помилок та підвищує ефективність обробки документів. Зокрема, Woschank M. та його колеги відзначають, що використання OCR дозволило скоротити час обробки документів на 30%, а це є суттєвим показником у сфері логістики.

Результати дослідження можуть бути цікавими не лише для науковців і розробників технологій OCR, але й для широкого кола фахівців у сфері логістики, управління ланцюгами постачання, а також для керівників підприємств, які прагнуть вдосконалення своїх бізнес-процесів. Впровадження OCR-технологій на основі штучного інтелекту дасть змогу суттєво змінити підходи до обробки документів, управління інформацією та оптимізації логістичних операцій.

**Метою** даного дослідження є оцінка ефективності технологій розпізнавання тексту на основі штучного інтелекту в автоматизації процесів міжнародних морських перевезень. Це включає аналіз можливостей застосування таких технологій для підвищення точності та швидкості обробки текстових документів, а також розробку рекомендацій для інтеграції OCR-систем у логістичні процеси.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні **завдання**:

- аналіз існуючих технологій розпізнавання тексту на основі штучного інтелекту;
- оцінка ефективності OCR-систем стосовно різноманітних текстових документів;
- розробка рекомендацій для впровадження OCR-технологій у логістичні процеси міжнародних морських перевезень.

Виконання цих завдань дозволить комплексно оцінити можливості та ефективність застосування технологій розпізнавання тексту на основі штучного інтелекту в міжнародних морських перевезеннях, що сприятиме підвищенню ефективності логістичних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** Технології оптичного розпізнавання символів є ключовими інструментами у процесі автоматизації обробки текстової інформації. Вони дозволяють перетворювати зображення тексту, таких як скановані документи, фотографії або PDF-файли, у машиночитний формат. Можливості сучасних OCR-систем значно покращились завдяки розвитку штучного інтелекту та машинного навчання. Нижче наведено огляд основних сучасних технологій OCR, їхні принципи роботи та області застосування.

1. Традиційні алгоритми OCR базуються на методах розпізнавання шаблонів. Вони складаються з кількох основних етапів [4-7]:

- попередня обробка зображення – нормалізація яскравості, видалення шуму, бінаризація (перетворення зображення на чорно-біле);
- сегментація – поділ зображення на окремі символи або блоки тексту;
- розпізнавання символів – порівняння кожного сегмента з базою шаблонів символів;
- післяобробка – корекція помилок та реконструкція тексту.

Ці алгоритми мають обмеження у випадках, коли текстовий документ містить складні шрифти, різні мови або низьку якість зображення.

2. Сучасні методи OCR на основі ШІ. Завдяки розвитку глибокого навчання (deep learning) та нейронних мереж, сучасні OCR-системи значно перевершують традиційні методи за точністю та універсальністю. Серед найпопулярніших методів є:

- конволюційні нейронні мережі (CNN). CNN широко використовуються для обробки зображень через свою здатність автоматично витягувати ознаки зображень. У контексті OCR, CNN застосовуються для розпізнавання окремих символів або навіть цілих слів. Ці мережі добре справляються з варіативністю шрифтів, кутів нахилу та іншими складнощами;

- рекурентні нейронні мережі (RNN). RNN, особливо варіанти з довгою короткочасною пам'яттю (LSTM), ефективно працюють з послідовностями даних, такими як текст. В OCR-системах RNN використовуються для розпізнавання послідовностей символів, що дозволяє поліпшити точність розпізнавання слів та речень.

- комбіновані моделі (CRNN), як-от: Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN), об'єднують переваги CNN та RNN, що уможливорює високу точність в процесі розпізнавання тексту із зображень. CNN витягують ознаки зображення, а RNN обробляють ці ознаки для отримання послідовностей символів.

3. Хмарні OCR-сервіси, котрі базуються на сучасних ШІ-технологіях. Серед них:

- Google Cloud Vision OCR – забезпечує високу точність розпізнавання та підтримує багато мов;

- Microsoft Azure OCR – інтегрується з іншими сервісами Azure, підтримує багатомовність та забезпечує високу швидкість обробки;

- Amazon Textract – дозволяє не тільки розпізнавати текст, але й витягувати структуру документа, таку як таблиці та форми.

4. Відкриті проекти та інструменти для OCR, які можуть бути використані для розробки спеціалізованих рішень:

- Tesseract OCR – один з найпопулярніших відкритих OCR – підтримує багато мов і має активну спільноту розробників;

- OCRopus – інструмент, що базується на глибокому навчанні та забезпечує високу точність розпізнавання.

Технології оптичного розпізнавання символів на основі штучного інтелекту значно покращили можливості автоматизації обробки текстових даних. Використання глибокого навчання та нейронних мереж дозволяє досягти високої точності та адаптивності до різних типів документів. Принципи роботи таких систем базуються на складних алгоритмах обробки зображень та тексту, що включає кілька основних етапів (табл. 1).



Таблиця 1

**Основні етапи алгоритму обробки зображень та тексту за допомогою штучного інтелекту**

<b>Назва</b>	<b>Складові</b>
Попередня обробка зображення	<p>Нормалізація яскравості та контрастності – коригування освітлення для забезпечення рівномірної яскравості.</p> <p>Бінаризація – перетворення зображення на чорно-біле, що спрощує подальшу обробку.</p> <p>Видалення шуму – фільтрація артефактів та зменшення шуму для покращення якості розпізнавання.</p> <p>Корекція викривлень – виправлення перекосів та викривлень, викликаних нерівномірним скануванням або фотографуванням.</p>
Сегментація зображення	<p>Розпізнавання блоків тексту – виділення абзаців, заголовків та інших структурних елементів.</p> <p>Поділ на рядки та символи – визначення меж рядків, слів і символів для подальшої обробки.</p>
Витягування ознак (Feature Extraction)	<p>На цьому етапі використовуються конволюційні нейронні мережі (CNN) для автоматичного витягування ознак зображення. CNN складаються з шарів згортки (convolutional layers), які витягують локальні патерни та ознаки, що є важливими для розпізнавання символів. Такий підхід дозволяє системі навчатися важливим ознакам без необхідності ручного програмування.</p>
Розпізнавання символів та слів	<p>Розпізнавання символів – кожен символ обробляється окремо з урахуванням його контексту.</p> <p>Розпізнавання слів та фраз – врахування попередніх і наступних символів для точнішого визначення слів та фраз.</p>
Постобробка	<p>Корекція помилок – використання лексичних та граматичних правил для виправлення помилок розпізнавання.</p> <p>Реконструкція тексту – об'єднання розпізнаних символів у слова, фрази та речення з урахуванням структури документа.</p> <p>Форматування – збереження форматування та структури вихідного документа, а саме: абзаци, заголовки, таблиці тощо.</p>
Навчання та вдосконалення моделей	<p>Анотація даних – збирання та анотація великих наборів зображень з текстом для навчання моделей.</p> <p>Навчання моделей – використання алгоритмів глибокого навчання для оптимізації нейронних мереж.</p> <p>Покращення алгоритмів – інтеграція нових методів та технологій для підвищення точності й швидкості розпізнавання.</p>

*Джерело: складено автором на основі [5-8]*

Системи OCR на основі штучного інтелекту суттєво підвищують ефективність та точність автоматизації обробки текстових даних. Використання глибоких нейронних мереж та алгоритмів машинного навчання дозволяє досягти високих результатів навіть під час обробки складних та різноманітних документів. Інтеграція таких систем у логістичні та інші бізнес-процеси сприяє підвищенню

продуктивності та зниженню витрат, що робить їх важливим інструментом сучасної автоматизації.

Застосування штучного інтелекту в технологіях оптичного розпізнавання символів призвело до вагомих покращень у точності, швидкості та універсальності обробки текстових даних. Однак, як і будь-яка технологія, OCR на основі ШІ має свої переваги та обмеження. У таблиці 2 наведено основні аспекти використання ШІ в OCR, що впливають на його ефективність та застосовність у різних галузях.

Таблиця 2

### Переваги та недоліки використання ШІ для розпізнавання текстів

Переваги	Недоліки
1. Висока точність розпізнавання: завдячуючи використанню глибоких нейронних мереж та методів машинного навчання, сучасні OCR-системи на основі ШІ досягають високої точності розпізнавання тексту навіть у складних умовах, таких як різноманітні шрифти та стилі тексту, викривлені або пошкоджені документи, низька якість зображень	1. Залежність від якості даних: незважаючи на високу точність, OCR-системи на основі ШІ залишаються чутливими до якості вхідних даних. Низька якість зображень, значні викривлення або пошкодження документів можуть негативно вплинути на результати розпізнавання
2. Адаптивність та навчання: OCR-системи на основі ШІ можуть навчатися на великих наборах даних, що дозволяє їм адаптуватися до нових мов, шрифтів та форматів документів. Це забезпечує широку універсальність та можливість використання в різних галузях та регіонах	2. Високі обчислювальні витрати: навчання та використання глибоких нейронних мереж вимагає значних обчислювальних ресурсів. Це може бути проблемою для малих та середніх підприємств, які не мають доступу до потужних серверів або хмарних обчислювальних ресурсів
3. Швидкість обробки: завдяки оптимізації алгоритмів та використанню потужних обчислювальних ресурсів, сучасні OCR-системи здатні швидко обробляти великі обсяги текстових даних, що є важливим для масштабних проєктів та автоматизації бізнес-процесів	3. Необхідність великих навчальних наборів даних: задля досягнення високої точності розпізнавання необхідні великі навчальні набори даних, що включають різноманітні приклади текстів та зображень. Збір та анотація таких наборів даних може бути дорогим та трудомістким процесом
4. Інтеграція з іншими системами: сучасні OCR-рішення на основі ШІ легко інтегруються з іншими програмними системами та платформами через API, що дозволяє створювати комплексні рішення для автоматизації документів, аналізу даних та інших завдань	4. Обмеження в розпізнаванні спеціальних символів та рукописного тексту: незважаючи на значні покращення, OCR-системи на основі ШІ все ще можуть мати труднощі з розпізнаванням спеціальних символів, формул, діаграм та рукописного тексту, особливо якщо вони представлені у незвичній формі або з низькою якістю
5. Підтримка багатьох мов: з огляду на можливість навчання на різних мовних наборах, OCR-системи на основі ШІ підтримують розпізнавання тексту багатьма мовами, включаючи мови з різними алфавітами та складною граматику	5. Безпека та конфіденційність даних: обробка конфіденційних документів, як-то: юридичні або медичні, вимагає високого рівня безпеки та захисту даних. Інтеграція OCR-систем з іншими інформаційними системами може створювати ризики для конфіденційності та безпеки даних

Джерело: складено автором на основі [2-6]

Використання штучного інтелекту в OCR відкриває широкі можливості для автоматизації обробки текстових даних, підвищуючи точність, швидкість та універсальність цих систем. Проте для ефективного використання OCR-технологій на основі ШІ необхідно враховувати їхні обмеження та специфіку застосування в різних галузях. Розвиток технологій та вдосконалення алгоритмів дозволять зменшити існуючі обмеження та розширити потенціал використання OCR у майбутньому. Розглянемо кілька прикладів успішного впровадження OCR-технологій у сферу логістики.

Компанія DHL, один з найбільших світових логістичних провайдерів, впровадила OCR-технології для автоматизації обробки транспортних накладних. Використання OCR-систем дало змогу автоматично зчитувати інформацію з паперових накладних та вводити її у внутрішню систему управління. Це забезпечує [3]:

- скорочення часу на обробку документів;
- зменшення кількості помилок, пов'язаних з ручним введенням даних;
- підвищення прозорості та контрольованості логістичних процесів.

Компанія Maersk, провідний оператор контейнерних перевезень, завдяки OCR-технологіям здійснила автоматизацію митного оформлення. OCR-системи автоматично розпізнають та обробляють документи, необхідні для проходження митних процедур, що дозволяє [4]:

- скоротити час оформлення вантажів;
- знизити ризики помилок та затримок через некоректні дані;
- підвищити ефективність роботи митних агентів та зменшити адміністративні витрати.

Amazon, глобальний лідер в галузі електронної комерції, інтегрував OCR-технології у свої системи управління складами. OCR-системи автоматично зчитують інформацію з етикеток та упаковок товарів, що дозволяє [5]:

- підвищити точність обліку товарів на складах;
- прискорити процеси приймання та відвантаження товарів;
- зменшити кількість ручної роботи та підвищити ефективність роботи складу.

Компанія FedEx використовує OCR-системи для автоматизації обробки рахунків-фактур. OCR-технології дозволяють автоматично зчитувати та вводити дані з рахунків у фінансову систему компанії, що забезпечує [3]:

- швидку обробку великої кількості документів;
- підвищення точності введення даних та зменшення помилок;
- оптимізацію фінансових процесів та скорочення часу на оплату рахунків.

Компанія UPS інтегрувала OCR-системи для автоматизації обробки міжнародних документів, таких як митні декларації та сертифікати походження. Через запровадження OCR-технологій стало можливим:

- швидке та точне розпізнавання даних з міжнародних документів;
- підвищення ефективності та швидкості обробки вантажів;
- зниження витрат на ручну обробку документів та скорочення часу доставки.

Реальні приклади впровадження OCR-технологій показують, як компанії можуть оптимізувати свої бізнес-процеси, знизити операційні витрати та підвищити конкурентоспроможність. З огляду на визначені вигоди, використання OCR-систем стає невіддільною частиною сучасної логістики, сприяючи подальшому розвитку та вдосконаленню цієї галузі.

Оптичне розпізнавання символів на основі штучного інтелекту відкриває широкі можливості для автоматизації обробки текстових даних. Однак для

досягнення максимальних результатів необхідно враховувати певні аспекти та рекомендації щодо підвищення ефективності використання OCR. Розглянемо деякі з них більш детально.

1. Покращення якості вхідних зображень має значний вплив на точність розпізнавання тексту. Для її підвищення слід [9]:

- використовувати високоякісне обладнання для сканування та фотографування документів;
- забезпечувати оптимальні умови освітлення для уникнення відблисків та тіней;
- користуватись програмами для попередньої обробки зображень, зокрема корекції яскравості, контрастності, видалення шуму та виправлення викривлень.

2. Використання сучасних алгоритмів та моделей на основі глибокого навчання забезпечує високу точність та швидкість обробки. Рекомендується [10]:

- регулярно оновлювати OCR-системи до нових версій, що містять покращені алгоритми та моделі;
- використовувати глибокі нейронні мережі, такі як конволюційні та рекурентні нейронні мережі (CNN та RNN), для витягування ознак та розпізнавання символів.

3. Адаптація моделей до конкретних завдань. Для досягнення високої точності розпізнавання тексту в специфічних умовах варто адаптувати моделі до конкретних завдань:

- навчати моделі на спеціалізованих наборах даних, що включають зразки документів, які будуть оброблятися системою;
- використовувати методи трансферного навчання (transfer learning) для покращення моделей на основі попередньо натренованих мереж.

4. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних. Обробка конфіденційних документів вимагає забезпечення високого рівня безпеки та конфіденційності. Належить:

- впроваджувати механізми шифрування даних під час передачі та зберігання;
- забезпечувати контроль доступу до OCR-систем та оброблюваних даних;
- використовувати хмарні рішення, що відповідають стандартам безпеки та конфіденційності.

5. Інтеграція з існуючими системами та процесами забезпечує безперервність та ефективність обробки даних. Бажано:

- використовувати стандартизовані API для взаємодії OCR-систем з іншими програмними продуктами;
- інтегрувати OCR-системи з системами управління документами (DMS), ERP та CRM для автоматизації робочих процесів;
- здійснювати автоматичну маршрутизацію документів для забезпечення швидкого та точного оброблення.

6. Регулярний моніторинг та оптимізація дозволяє виявляти проблеми та підвищувати ефективність обробки даних. Доцільно:

- здійснювати постійний аналіз точності та швидкості розпізнавання тексту;
- впроваджувати механізми зворотного зв'язку для покращення моделей та алгоритмів;
- періодично оновлювати навчальні набори даних, щоб забезпечити актуальність моделей.

Дотримання зазначених рекомендацій дозволить підвищити ефективність використання OCR-технологій, забезпечити високу точність та швидкість

розпізнавання, а також знизити операційні витрати та покращити загальну продуктивність організації.

**Висновки.** Технології оптичного розпізнавання символів на основі штучного інтелекту відкривають нові можливості для автоматизації та підвищення ефективності логістичних процесів. Застосування OCR-систем у логістиці дозволяє суттєво зменшити час та зусилля, необхідні для обробки документів, знижуючи кількість помилок та підвищуючи точність даних.

Використання глибоких нейронних мереж та методів машинного навчання дає змогу OCR-системам досягати високої точності навіть у складних умовах, таких як пошкоджені або низькоякісні документи.

Сучасні OCR-рішення легко інтегруються з іншими інформаційними системами, такими як системи управління документами, ERP та CRM, що забезпечує безперервність та ефективність бізнес-процесів.

Реальні приклади використання OCR-систем у багатьох компаніях, наприклад, DHL, Maersk, Amazon, FedEx та UPS, демонструють суттєві переваги в автоматизації обробки транспортних накладних, митного оформлення, управління складами та рахунків-фактур.

Для досягнення максимальних результатів рекомендується покращувати якість вхідних зображень, використовувати сучасні алгоритми та моделі, адаптувати моделі до конкретних завдань, забезпечувати безпеку та конфіденційність даних, інтегрувати OCR-системи з існуючими процесами, регулярно моніторити та оптимізувати роботу систем, а також навчати персонал.

Впровадження OCR-систем на основі ШІ у логістичні процеси надає нові вигоди для підвищення ефективності, точності та швидкості обробки документів. Застосування цих технологій сприяє оптимізації бізнес-процесів, зниженню операційних витрат та підвищенню конкурентоспроможності компаній на сучасному динамічному ринку. Подальший розвиток та вдосконалення OCR-технологій на основі ШІ відкриває ще більше можливостей для автоматизації та покращення логістичних процесів у майбутньому.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tang Q., Lee Y., Jung H. The Industrial Application of Artificial Intelligence-Based Optical Character Recognition in Modern Manufacturing Innovations. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, no. 5. P. 2161. URL: <https://doi.org/10.3390/su16052161> (date of access: 13.07.2024).
2. Haseeb M., Hussain H.I., Ślusarczyk B., Jermittiparsert K. Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance. *Social Sciences*. 2019. №8. P. 154.
3. Woschank M., Rauch E., Zsifkovits H. A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 9. P. 3760. URL: <https://doi.org/10.3390/su12093760> (date of access: 13.07.2024).
4. Mask TextSpotter: An End-to-End Trainable Neural Network for Spotting Text with Arbitrary Shapes / M. Liao et al. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2019. Vol.43(2). P. 532–548. URL: <https://doi.org/10.1109/tpami.2019.2937086> (date of access: 13.07.2024).
5. Boundary TextSpotter: Toward Arbitrary-Shaped Scene Text Spotting / P. Lu et al. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2022. P. 1. URL: <https://doi.org/10.1109/tip.2022.3206615> (date of access: 14.07.2024).
6. Raj R., Kos A. A Comprehensive Study of Optical Character Recognition. *2022 29th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIX-2022)*. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1109/mix2022.9922100> (date of access: 14.07.2024).

DES), Wrocław, Poland, 23–24 June 2022. P. 151–154. URL: <https://doi.org/10.23919/mixedes55591.2022.9837974> (date of access: 14.07.2024).

7. Implementation of Optical Character Recognition using Tesseract with the Javanese Script Target in Android Application / G. A. Robby et al. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 157. P. 499–505. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.006> (date of access: 14.07.2024).

8. Adedayo K. D., Agunloye A. O. Real-time Automated Detection and Recognition of Nigerian License Plates via Deep Learning Single Shot Detection and Optical Character Recognition. *Computer and Information Science*. 2021. Vol. 14, no. 4. P. 11. URL: <https://doi.org/10.5539/cis.v14n4p11> (date of access: 14.07.2024).

9. Шевченко А. І., Кондратенко Ю. П. Щодо проекту стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні. *Artificial Intelligence*. 2022. № 1. С. 75-80. URL: [https://www.slyusar.kiev.ua/AI\\_2022-1-1\\_ua.pdf](https://www.slyusar.kiev.ua/AI_2022-1-1_ua.pdf). (дата звернення: 14.07.2024).

10. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія; за заг. ред. А. І. Шевченка. Київ: ИПШІ, 2023. 305 с.

#### REFERENCES:

1. Tang, Q., Lee, Y., & Jung, H. (2024). The Industrial Application of Artificial Intelligence-Based Optical Character Recognition in Modern Manufacturing Innovations. *Sustainability*, 16(5), 2161. <https://doi.org/10.3390/su16052161>

2. Haseeb, M., Hussain, H. I., Ślusarczyk, B., & Jermittiparsert, K. (2019). Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance. *Social Sciences*, 8(5), 154.

3. Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability*, 12(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/su12093760>

4. Liao, M., Lyu, P., He, M., Yao, C., Wu, W., & Bai, X. (2019). Mask TextSpotter: An End-to-End Trainable Neural Network for Spotting Text with Arbitrary Shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1. <https://doi.org/10.1109/tpami.2019.2937086>

5. Lyu, P., Liao M., Yao C., Wu W., Bai X. (2018). Mask textspotter: An end-to-end trainable neural network for spotting text with arbitrary shapes. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, Munich, Germany, 67–83.

6. Raj, R., & Kos, A. (2022). A Comprehensive Study of Optical Character Recognition. In *2022 29th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIXDES)*. (p. 151–154). IEEE. <https://doi.org/10.23919/mixedes55591.2022.9837974>

7. Robby, G. A., Tandra, A., Susanto, I., Harefa, J., & Chowanda, A. (2019). Implementation of Optical Character Recognition using Tesseract with the Javanese Script Target in Android Application. *Procedia Computer Science*, 157, 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.006>

8. Adedayo, K. D., & Agunloye, A. O. (2021). Real-time Automated Detection and Recognition of Nigerian License Plates via Deep Learning Single Shot Detection and Optical Character Recognition. *Computer and Information Science*, 14(4), 11. <https://doi.org/10.5539/cis.v14n4p11>

9. Shevchenko, A. I., Kondratenko Yu.P. (2022). Shchodo proiektu stratehii rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini [Regarding the project of the strategy for the development of artificial intelligence in Ukraine]. *Artificial Intelligence*, 1, 75-80. Retrieved from [https://www.slyusar.kiev.ua/AI\\_2022-1-1\\_ua.pdf](https://www.slyusar.kiev.ua/AI_2022-1-1_ua.pdf) [in Ukrainian].

10. Shevchenko, A. I. (2023). *Stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini* [Strategy for the development of artificial intelligence in Ukraine]. Kyiv: IPShI. [in Ukrainian].

УДК 004.04

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.5>

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ІТ-ПРОЕКТАХ МЕТОДАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Кошова О. П.** – кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0003-0794-6774

**Ольховська О. В.** – кандидат фізико-математичних наук,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0001-5366-5995

**Бражніченко А. О.** – аспірант  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0009-0006-8606-0312

У статті досліджується ефективність застосування методів імітаційного моделювання для прийняття управлінських рішень в ІТ-сфері, зокрема у проектному менеджменті. Проаналізовано останні наукові розробки з особливостей використання імітаційного моделювання у проектному менеджменті в ІТ та у моделюванні бізнес процесів. Розглядаються переваги та обмеження використання імітаційного моделювання для візуалізації та аналізу складних систем, прогнозування наслідків управлінських рішень, оптимізації ресурсів та управління ризиками. Аналізуються теоретичні основи імітаційного моделювання, його вплив на процеси планування, виконання та моніторингу проектів. Доведено, що використання методів імітаційного моделювання у проектному менеджменті в ІТ дозволяє керівникам приймати більш обґрунтовані рішення, оптимізувати ресурси та мінімізувати ризики. Це забезпечує успішне виконання проектів в умовах невизначеності та швидких змін, характерних для ІТ-сфери.

У статті наведено практичні завдання для формування у майбутніх фахівців із комп'ютерних наук, під час навчання у закладах вищої освіти, навичок використання імітаційного моделювання. Розглянуто приклади розв'язування методами імітаційного моделювання практичних бізнес ситуацій прийняття рішень менеджерами різних рівнів в умовах невизначеності та ризику; задачу моделювання попиту; приклад моделювання управління запасами з урахуванням витрат та задачу використання та заміни обладнання.

Стаття також надає рекомендації щодо практичних шляхів із впровадження імітаційного моделювання у практику проектного менеджменту ІТ-організацій, допомагаючи керівникам приймати обґрунтовані рішення, оптимізувати ресурси та мінімізувати ризики. Подальші дослідження у цьому напрямку можуть значно покращити розуміння і застосування імітаційного моделювання для бізнес аналізу та проектного менеджменту в ІТ та моделювання економічних процесів.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, прийняття управлінських рішень, ІТ проекти, комп'ютерні науки, бізнес аналіз та проектний менеджмент, моделювання економічних процесів.

**Koshova O. P., Olkhovska O. V., Brazhnychenko A. O. Improving the efficiency of making management decisions in IT projects using of simulation modeling methods**

The article examines the effectiveness of the application of simulation modeling methods for making managerial decisions in the IT sphere, in particular in project management. The latest scientific developments on the features of the use of simulation modeling in project management in IT and business process modeling are analyzed. Advantages and limitations of using simulation

*modeling for visualization and analysis of complex systems, forecasting the consequences of management decisions, optimization of resources and risk management are considered. The theoretical foundations of simulation modeling, its influence on the processes of planning, execution and monitoring of projects are analyzed. It has been proven that the use of simulation modeling methods in project management in IT allows managers to make more informed decisions, optimize resources and minimize risks. This ensures the successful implementation of projects in conditions of uncertainty and rapid changes characteristic of the IT sphere.*

*The article presents practical tasks for the formation of future computer science specialists in the use of simulation modeling during their studies at higher education institutions. Examples of solving practical business making-decision situations by managers of different levels in conditions of uncertainty and risk are considered using simulation modeling methods; demand modeling task; an example of cost-based inventory management modeling and the task of using and replacing equipment.*

*The article also provides recommendations on practical ways to implement simulation modeling in the practice of project management of IT organizations, helping managers to make informed decisions, optimize resources and minimize risks. Further research in this direction could significantly improve the understanding and application of simulation modeling for business analysis and project management in IT and modeling of economic processes.*

**Key words:** *simulation modeling, making a management decision, IT projects, computer science, business analysis and project management, modeling of economic processes.*

**Постановка проблеми.** Прийняття управлінських рішень є критично важливим процесом для будь-якої організації, оскільки від якості прийнятих рішень залежить успіх компанії, її конкурентоспроможність та здатність адаптуватися до змін зовнішнього середовища. В умовах швидких змін, глобалізації та технологічного прогресу, менеджери різного рівня стикаються з необхідністю приймати складні рішення в умовах невизначеності та ризику. Це вимагає не лише високого рівня компетенцій, але й використання сучасних інструментів та методик для аналізу ситуації та прогнозування наслідків різних варіантів дій.

В сучасних умовах імітаційне моделювання стає невід'ємною частиною процесу прийняття рішень в таких галузях, як виробництво, логістика, фінанси, охорона здоров'я та багато інших. Використання цього підходу дозволяє не лише підвищити якість прийнятих рішень, але й забезпечити більш стійкий розвиток організації в довгостроковій перспективі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати численних досліджень науковців [1, 7-15] свідчать про те, що імітаційне моделювання значно покращує процес прийняття рішень у складних системах. Зокрема, дослідження показують, що використання імітаційних моделей дозволяє зменшити невизначеність та ризики, пов'язані з управлінськими рішеннями, а також підвищує ефективність стратегічного планування.

Основні висновки попередніх досліджень [1-15] підкреслюють важливість імітаційного моделювання як інструменту для прийняття управлінських рішень та використання набутих навичок у бізнес аналізі та проектному менеджменті в ІТ. Вони свідчать про його здатність підвищити ефективність управління, знизити витрати та покращити результати в різних галузях. Зокрема у дослідженні [4] представлено новий підхід до управління фінансовим станом малих бізнесів через створення механізмів та інструментів для підтримки процесу прийняття інвестиційних рішень, з використанням процедури ситуаційного аналізу ринку як складної соціально-економічної системи в умовах невизначеності. У роботах науковців [4-7, 9, 12, 15] досліджуються особливості моделювання бізнес процесів та роботи підприємств різних рівнів. Значна частина робіт [2, 5, 7, 11, 13] присвячена використанню ІТ технологій та математико-статистичних підходів до моделювання бізнес процесів. Не менш важливим для нашого дослідження є і роботи



науковців [1-3, 6, 8, 14] із аналізу ефективності та необхідності впровадження моделювання у проектному менеджменті у IT галузі. Проте, існують певні обмеження та виклики, пов'язані з впровадженням імітаційного моделювання, такі як складність моделювання та візуалізації складних систем та наявність висококваліфікованих фахівців, що в свою чергу вимагає удосконалення процесу професійної підготовки спеціалістів із комп'ютерних наук у закладах вищої освіти.

**Постановка завдання.** Основною метою даної статті є дослідження ефективності застосування методів імітаційного моделювання для прийняття управлінських рішень в сучасних організаціях IT сфери, зокрема і при управлінні проектами. Стаття спрямована на виявлення переваг та обмежень імітаційного моделювання, а також практичні шляхи підвищення рівня відповідних професійних умінь у майбутніх фахівців із комп'ютерних наук під час навчання у закладах вищої освіти та формування навичок щодо їх використання в управлінській практиці в майбутньому.

**Виклад основного матеріалу.** Імітаційне моделювання є потужним інструментом, який дозволяє керівникам візуалізувати та аналізувати складні системи, прогнозувати поведінку системи при різних умовах та приймати обґрунтовані рішення. Імітаційні моделі можуть бути використані для візуалізації проектних процесів, що сприяє кращому розумінню та комунікації між членами команди та зацікавленими сторонами. Застосування імітаційного моделювання в управлінських процесах має ряд переваг, серед яких можна виділити наступні:

1) візуалізація складних систем, адже моделювання із використанням прикладних комп'ютерних програм різного рівня дозволяють наочно представити складні взаємозв'язки та процеси, що відбуваються в організації, що полегшує розуміння та аналіз;

2) прогнозування, так як імітаційне моделювання також дає можливість прогнозувати наслідки управлінських рішень за різних сценаріїв, що допомагає уникнути помилок та мінімізувати ризики;

3) проведення експериментів – моделі дозволяють проводити дослідження з використанням різних стратегій без ризику для реальної організації, що сприяє знаходженню оптимальних рішень;

4) оптимізація ресурсів, адже завдяки моделюванню можна визначити найбільш ефективні способи використання ресурсів, що в свою чергу значно підвищує ефективність діяльності будь якої організації і у IT сфері у тому числі.

Імітаційне моделювання – процес створення моделі, яка відображає реальну життєву, виробничу або господарську ситуацію. Методи моделювання використовують для прийняття управлінських рішень, якщо аналітичні методи не прийнятні, або їх не можна застосувати

Імітаційне моделювання ефективно при розв'язанні задач: управління запасами; роботи систем масового обслуговування; виробничого планування; аналізу ризиків та прийняття рішень в умовах невизначеності; використання ресурсів та ін. Тому імітаційне моделювання стало важливим інструментом в управлінських науках, дозволяючи керівникам приймати більш обґрунтовані рішення.

Розглянемо декілька прикладів задач прийняття рішень, які розв'язуються методами імітаційного моделювання та будуть ефективними при формуванні відповідних компетентностей у фахівців із комп'ютерних наук.

**Приклад 1.** Визначити оптимальну стратегію заміни наявної дворічної комп'ютерної техніки деякої фірми протягом наступних чотирьох років. Техніку, яке експлуатувалася 6 років, обов'язково змінюють. Вартість нової комп'ютерної техніки

\$100400. У кінці четвертого року комп'ютерна техніка обов'язково продається. Дані задачі наведені в таблиці:

Вік, років	Прибуток, USD	Вартість обслуговування, USD	Залишкова вартість, USD
$t$	$r(t)$	$c(t)$	$s(t)$
0	19800	250	100400
1	18600	650	80400
2	18100	1300	60800
3	16600	1600	50800
4	14900	1850	31200
5	13200	1950	11200
6	11200	2400	6600

Під час розв'язування задачі використовуємо дві стратегії:  $u_1$  – продовжити використовувати техніку та  $u_2$  – замінити техніку на нову

Для рішення  $u_1$  функція ефективності дорівнює різниці між прибутком та витратами:  $f(t, u_1) = r(t) - c(t)$ .

Для рішення  $u_2$  слід урахувати витрати на покупку нової техніки та дохід від продажу старої:  $f(t, u_2) = r(0) - c(0) - s(0) + s(t)$ :

$t$	$f(t, u_1) = r(t) - c(t)$	$f(t, u_2) = r(0) - c(0) - s(0) + s(t)$
0	19550	19550
1	17950	-450
2	16800	-20050
3	15000	-30050
4	13050	-49650
5	11250	-69650
6	8800	-74250

На четвертому етапі:

$t$	$f(t, u_1) + s(t+1)$	$f(t, u_2) + s(t)$	$W_4(t)$	$x_4(t)$
1	78750	79950	79950	$U_2$
2	67600	60350	67600	$U_1$
3	46200	50350	50350	$U_2$
5	17850	10750	17850	$U_1$

На третьому етапі:

$t$	$f(t, u_1) + W_4(t+1)$	$f(t, u_2) + W_4(t)$	$W_3(t)$	$x_3(t)$
1	85550	79500	85550	$U_1$
2	67150	59900	67150	$U_1$
4	30900	30300	30900	$U_1$

На другому етапі:

$t$	$f(t, u_1) + W_3(t+1)$	$f(t, u_2) + W_3(t)$	$W_2(t)$	$x_2(t)$
1	85100	85100	85100	$U_1, U_2$
3	45900	55500	55500	$U_2$

На першому етапі:

$t$	$f(t, u_1) + W_1(t+1)$	$f(t, u_2) + W_2(t)$	$W_1(t)$	$x_1(t)$
2	72300	65050	72300	$U_1$

На першому етапі оптимальним рішенням буде стратегія  $u_1$  – продовження експлуатації комп'ютерної техніки.

На другому етапі техніці буде вже один рік і оптимальними виявляться обидві стратегії  $u_1$  і  $u_2$ , тобто ми можемо експлуатувати техніку надалі або замінити її новою.

На третьому етапі комп'ютерній техніці буде два роки, її слід буде залишити ще на рік. На четвертому етапі цій техніці буде три роки і її треба буде замінити на нову.

Альтернативним оптимальним розв'язком буде наступна стратегія заміни комп'ютерної техніки. Якщо на другому етапі замінити техніку, то на третьому етапі їй буде один рік, і техніку потрібно залишити. На четвертому етапі техніці буде два роки і оптимальною стратегією є збереження комп'ютерної техніки. Таким чином маємо такі дві оптимальні стратегії:

Перша стратегія:  $u_1, u_1, u_1, u_2$ .

Друга стратегія:  $u_1, u_2, u_1, u_1$ .

Приклад 2. За допомогою випадкових чисел змоделювати попит на товар у онлайн магазині комп'ютерної техніки протягом 10 днів для наступної стратегії розміщення замовлень: замовляти партії з 7 одиниць товару при точці замовлення 7. Рівень запасів перевіряється на початку кожного дня. У минулому році розподіл денного попиту на цей товар мав вигляд:

Денний попит	2	4	5	6	7
Відсоткова частка	8	27	30	32	3

Ціна товару складає 170 \$, витрати на підготовку замовлення – 32 \$, втрати внаслідок дефіциту – 43 \$ на добу за одиницю товару, а витрати на зберігання запасу – 17 \$ на день за одиницю товару. Доставка відбувається на початку третього дня від дати розміщення замовлення. Рівень запасів на початку першого дня складає 10 одиниць товару.

За результатами моделювання дати відповідь на наступні питання.

- 1) Який загальний об'єм виручки від реалізації за цей термін?
- 2) Які загальні витрати на зберігання товару?
- 3) Які загальні збитки внаслідок дефіциту?
- 4) Який загальний прибуток?

Скористаємося для розгляду наступних питань переліком 20 послідовних випадкових чисел, які взяті із статистичної таблиці: 89 07 37 29 28 08 75 01 21 63 34 65 11 80 34 14 92 48 83 91

Поставимо у відповідність до кожної відсоткової частки таку ж саму кількість випадкових чисел. Обираємо послідовні випадкові числа. Отримаємо таблицю відповідності між попитом та випадковими числами:

Об'єм попиту	2	4	5	6	7
Випадкові числа	00-07	08-34	35-64	65-96	97-99

Змоделюємо попит на товар, використовуючи вихідні дані та випадкові числа. Перше випадкове число 89 належить інтервалу [65-96], тому вважаємо, що в перший день попит дорівнює 6; друге випадкове число 07 належить інтервалу [00-07], вважаємо, що попит дорівнює 2 і так далі. Отримаємо модель попиту.

День	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкове число	89	07	37	29	28	08	475	01	21	63
Попит	6	2	5	4	4	4	6	2	4	5

Далі будемо розрахункову таблицю для оцінки усіх параметрів.

День	Вихідний рівень запасів	Попит	Розміщені замовлення	Отримані замовлення	Дефіцит	Продане	Виторг	Витрати на зберігання	Витрати внаслідок дефіциту	Витрати на підготовку замовлення	Рівень при закритті
1	10	6	0	0	0	6	1020	170	0	0	4
2	4	2	7	0	0	2	340	68	0	32	2
3	2	5	0	0	3	2	340	34	129	0	0
4	0	4	0	7	0	4	680	0	0	0	3
5	3	4	7	0	1	3	510	51	43	32	0
6	0	4	0	0	4	0	0	0	172	0	0
7	0	6	0	7	0	6	1020	0	0	0	1
8	1	2	7	0	1	1	170	17	43	32	0
9	0	4	0	0	4	0	0	0	172	0	0
10	0	5	0	7	0	5	850	0	0	0	2
Сума							<b>4930</b>	<b>340</b>	<b>559</b>	<b>96</b>	

У цій таблиці значення у відповідних стовпцях отримані в такий спосіб:

*Вихідний рівень запасів.* У день 1 вихідний рівень запасів відомий і рівний 10. У наступні дні вихідний рівень запасів дорівнює рівню запасів по закриттю попереднього дня.

*Розміщення замовлень.* Замовлення на 7 товарів розміщається в той день, коли рівень запасів стає рівний 7 або менше. До одержання поточного замовлення інші замовлення не розміщаються (тобто як мінімум в 2 попередніх дня не було зроблено замовлень).

*Одержання замовлень.* Доставка 7-ми товарів займе два дні після розміщення замовлення, тобто поставка відбувається на початку третього дня від дати розміщення замовлення.

*Рівень запасів при закритті.* Рівень запасів наприкінці кожного дня розраховується в такий спосіб:

Рівень запасів при закритті = Вихідний рівень запасів – Попит + Отримані замовлення.

За результатами моделювання обчислюємо в останньому рядку:

- 1) загальний об'єм виручки від реалізації – 4930 \$.
- 2) загальні витрати на зберігання товару – 340 \$.

3) загальні збитки внаслідок дефіциту – 559 \$.

4) загальний прибуток:  $4930 - 340 - 559 - 96 = 3935$  \$.

*Висновки:* за 10 днів замовлення розміщалися 3 рази, загальні витрати на підготовку розміщення замовлень склали 96 \$.; дефіцит спостерігався 5 разів, тому через дефіцит, попит буде задоволено частково; загальні витрати від дефіциту склали 559 \$; загальний прибуток склав 3935 \$.

Для уникнення дефіциту необхідно збільшувати вихідний рівень запасів, збільшувати розмір замовлення а також скорочувати термін доставки замовлення.

Крім того, методи імітаційного моделювання можуть бути тісно пов'язані з проектним менеджментом в ІТ [1, 4, 6, 14]. Ці методи можуть значно покращити планування, виконання та моніторинг ІТ-проектів, забезпечуючи більш обґрунтовані рішення та підвищуючи ефективність управління проектами. Наведемо кілька прикладів, як імітаційне моделювання може бути корисним у проектному менеджменті в ІТ.

Важливим етапом у розробці ІТ проекту є планування. Саме на цьому етапі може і застосовується сценарне моделювання – імітаційні моделі можуть використовуватись для створення різних сценаріїв розвитку проекту, що дозволяє оцінити потенційні ризики та наслідки. Це допомагає краще підготуватися до можливих проблем та оптимізувати ресурси.

Також, за допомогою імітаційного моделювання можна точніше оцінити часові рамки виконання проекту, враховуючи взаємозалежності між завданнями та можливі затримки.

Управління ресурсами – це важлива складова ефективної реалізації будь якого проекту. Імітаційне моделювання допомагає визначити оптимальний розподіл ресурсів (людських, фінансових, технічних) для виконання завдань проекту. Це дозволяє зменшити витрати та підвищити продуктивність тобто провести оптимізацію ресурсів, тобто виявити та вирішити конфлікти між ресурсами, що можуть виникнути в процесі виконання проекту.

Методи імітаційного моделювання впливають на реальне часове моделювання. Імітаційні моделі можуть використовуватись для моніторингу прогресу проекту в реальному часі, дозволяючи вчасно виявляти відхилення від плану та приймати коригуючі дії.

За допомогою імітаційного моделювання можна проводити аналіз ефективності різних підходів та методик, що використовуються в проекті, визначаючи найбільш результативні з них.

Процес управління ризиками також можна моделювати підходами імітаційного моделювання, а саме через оцінку ризиків та прогнозування наслідків. Імітаційне моделювання дозволяє провести глибокий аналіз ризиків, пов'язаних з проектом, та розробити стратегії їх мінімізації. Моделювання допомагає прогнозувати наслідки можливих ризиків та розробити плани дій для зменшення їхнього впливу на проект.

Розглянемо приклад такого завдання. Наступне завдання є прикладом прийняття рішень менеджерами в умовах невизначеності та ризику.

Приклад 3. Фірма повинна визначити рівень пропозиції послуг так, щоби задовольнити потреби бізнес фірм (клієнтів) під час розробки певного програмного забезпечення. Точна кількість клієнтів невідома, але очікують, що вона може прийняти одне з чотирьох значень. Для кожного з цих можливих значень існує найкращий рівень пропозиції (з точки зору можливих витрат). Відхилення від цих рівнів приводять до додаткових витрат. Витрати (в тис. грн.) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

## Матриця витрат

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$a_1$	33	38	41	45
$a_2$	42	40	47	52
$a_3$	62	57	53	63
$a_4$	75	67	63	60

Визначити найкращий рівень пропозиції послуг за критеріями Лапласа, Вальда, Севіджа та за критерієм Гурвіца для заданого показника оптимізму рівному  $\alpha=0,03$ .

При прийнятті рішень в умовах ризику вартісні альтернативи рішень описуються розподілом ймовірностей. Альтернативи порівнюються за максимальним очікуваним (середнім) прибутком або мінімальними очікуваними (середніми) витратами

Найкращий рівень пропозиції за критерієм Лапласа, буде таким (див. таблицю 2):

Таблиця 2

## Обчислення найкращого рівня пропозиції за критерієм Лапласа

Альтернатива	Споживачі:				$\sum_{j=1}^4 V(a_i, S_j)$	$\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V(a_i, S_j)$	$\min_i \{M(a_i)\}$
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$			
$a_1$	33	38	41	45	157	39,25	39,25
$a_2$	42	40	47	52	181	45,25	
$a_3$	62	57	53	63	235	58,75	
$a_4$	75	67	63	60	265	66,25	

Згідно з принципом Лапласа, події  $S_1, S_2, S_3, S_4$  рівноймовірні – тобто  $p(S = S_j) = \frac{1}{4}, j = \overline{1,4}$ .

Математичні сподівання витрат для кожної альтернативи, будуть такими:  $M(a_1)=39,25; M(a_2)=45,25; M(a_3)=58,75; M(a_4)=66,25$ .

Тоді:  $R_1 = \min_i \{M(a_i)\} = \{39,25; 45,25; 58,75; 66,25\} = 39,25$ .

Таким чином, за критерієм Лапласа найкращою пропозицією буде альтернатива  $a_1$ .

Розрахунок найкращого рівня пропозиції послуг за критерієм Вальда.

Оскільки  $\sum_{j=1}^4 V(a_i, S_j)$  відображає втрати, використовуємо мінімаксий критерій. Для знаходження найкращої альтернативи будемо таблицю 3.

Таблиця 3

## Обчислення найкращого рівня пропозиції за критерієм Вальда

Альтернатива	Споживачі:				$\max_j \{V(a_i, S_j)\}$	$\min_i$
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$		
$a_1$	33	38	41	45	45	45
$a_2$	42	40	47	52	52	
$a_3$	62	57	53	63	63	
$a_4$	75	67	63	60	75	

$$R_2 = \min_i \{M(a_i)\} = \{45; 52; 63; 75\} = 45.$$

Мінімаксною альтернативою буде  $a_1$ . Й отриманий результат співпадає з результатом за критерієм Лапласа.

Обчислення найкращого рівня пропозиції послуг за критерієм Севіджа.

Знаходимо числові значення:  $\min_k \{V(a_i, S_1)\} = 33$  тис. грн.;  $\min_k \{V(a_i, S_2)\} = 38$  тис. грн.;  $\min_k \{V(a_i, S_3)\} = 41$  тис. грн.;  $\min_k \{V(a_i, S_4)\} = 45$  тис. грн.

Тоді величина ризику  $W(a_i, S_j)$  матиме вигляд (див. таблицю 4):

Таблиця 4

#### Обчислення найкращого рівня пропозиції за критерієм Севіджа

$W(a_i, S_j)$	Альтернатива	Споживачі:				$\max_j \{W(a_i, S_j)\}$	$\min_i$
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$		
$S_j$	$a_1$	0	0	0	0	0	0
	$a_2$	9	2	6	7	9	
	$a_3$	29	19	12	18	29	
	$a_4$	42	29	22	15	42	

$$R_3 = \min_i \{M(a_i)\} = \{0; 9; 29; 42\} = 0.$$

Отже, найкращою пропозицією знову виявилася альтернатива  $a_1$ .

Обчислення найкращого рівня пропозиції послуг за критерієм Гурвіца.

Для знаходження оптимального рішення будемо таблицю 5.

Таблиця 5

#### Обчислення найкращого рівня пропозиції за критерієм Гурвіца

Альтернатива	$\min_j \{V(a_i, S_j)\}$	$\max_j \{V(a_i, S_j)\}$	$\alpha \times \min_j \{V(a_i, S_j)\} + (1 - \alpha) \times \max_j \{V(a_i, S_j)\}$	$\min_i$
$a_1$	33	45	44,64	44,64
$a_2$	40	52	51,64	
$a_3$	53	63	62,7	
$a_4$	60	75	74,55	

І за критерієм Гурвіца, найкращим рівнем пропозиції послуги при показнику оптимізму 0,03, щоби задовольнити потреби клієнтів, буде:

$$R_4 = \min_i \{M(a_i)\} = \{44,64; 51,64; 62,70; 74,55\} = 44,64 - \text{альтернатива } a_1.$$

Оскільки і за критерієм Лапласа, і за критерієм Вальда, і за критерієм Севіджа, і за критерієм Гурвіца, найкращою альтернативою є рівень пропозиції послуг, що відповідає альтернативі  $a_1$ , то оптимальним рішенням буде  $a_1$ .

Такі моделі бізнес ситуацій можуть використовуватись для тренування команди проекту і також для підготовки студентів під час навчання у закладах вищої освіти, допомагаючи їм краще підготуватись до реальних викликів, які можуть виникнути в ході проекту.

Як видно із наведених прикладів, імітаційне моделювання забезпечує можливість створення різних сценаріїв розвитку проекту, що дозволяє менеджерам оцінювати потенційні ризики та наслідки прийнятих рішень, оптимізувати використання ресурсів, а також точніше планувати часові рамки виконання проекту. Це допомагає підготуватися до можливих проблем і знайти найбільш ефективні шляхи їх вирішення без ризику для реальної організації.

Одним із ключових аспектів застосування імітаційного моделювання у проектному менеджменті в ІТ є управління ресурсами. Моделювання дозволяє визначити оптимальний розподіл ресурсів та виявити конфлікти, які можуть виникнути в процесі виконання проекту, що знижує витрати та підвищує продуктивність. Крім того, імітаційне моделювання сприяє реальному часовому моніторингу прогресу проекту, дозволяючи вчасно виявляти відхилення від плану та приймати коригуючі дії.

Імітаційне моделювання також є ефективним інструментом для управління ризиками. Воно дозволяє провести глибокий аналіз ризиків, розробити стратегії їх мінімізації та прогнозувати наслідки можливих ризиків. Це допомагає розробити плани дій для зменшення їхнього впливу на проект.

Важливим аспектом є також візуалізація процесів. Імітаційні моделі сприяють кращому розумінню проектних процесів та покращують комунікацію між членами команди та зацікавленими сторонами. Вони можуть бути використані для тренування команди, що допоможе їм краще підготуватися до реальних викликів.

**Висновки.** У статті було досліджено застосування методів імітаційного моделювання для прийняття управлінських рішень у сфері проектного менеджменту в ІТ. Аналіз теоретичних основ і практичних прикладів показав, що імітаційне моделювання є потужним інструментом, який дозволяє значно підвищити ефективність управління проектами.

Таким чином, використання методів імітаційного моделювання у проектному менеджменті в ІТ дозволяє керівникам приймати більш обґрунтовані рішення, оптимізувати ресурси та мінімізувати ризики. Це забезпечує успішне виконання проектів в умовах невизначеності та швидких змін, характерних для ІТ-сфери. Впровадження імітаційного моделювання у практику проектного менеджменту може стати важливим кроком на шляху до підвищення ефективності та конкурентоспроможності сучасних ІТ-організацій. Подальші дослідження можуть зосередитися на удосконаленні візуалізації, розробці нових підходів та ІТ продуктів для використання імітаційного моделювання у бізнес аналізі, проектному менеджменті та моделюванні економічних процесів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Данилюк, Н., Шулик, Ю., & Качан, О. Сучасні підходи до управління проектною діяльністю ІТ-компаній. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»: науковий журнал. 2021. № 22(50). С. 88–94.
2. Засорнова, І., Лисенко, С., & Засорнов, О. (2022). Вибір методології SCRUM або KANBAN для управління проектами в ІТ компаніях. *Computer Systems and Information Technologies* (4), 6–12. <https://doi.org/10.31891/csit-2022-4-1>
3. Лавринюк, Л. Кар'єра в ІТ: чим займається Project Manager, плюси та мінуси професії URL: <https://dou.ua/lenta/articles/project-manager-pros-and-cons/> (дата звернення 10.07.2024).
4. Лобода, О. (2024). Удосконалення імітаційної моделі в системі підтримки управлінських рішень на підприємствах малого бізнесу. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 82-93. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.10>



5. Січко Т. Методи моделювання бізнес-процесів підприємства засобами системного аналізу. Галицький економічний вісник. 2016. № 2 (51). С. 190–201. URL: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/51/74.pdf> (дата звернення 10.07.2024).
6. Храпкін, О., Кіндрат, О., & Чопей, Р. (2023). Управління проєктами в IT-галузі: методика, інструменти та керування ризиками. Економіка та суспільство, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-110>
7. Шапран, Є., Сергієнко О., & Білоцерківський, О. Моделювання бізнес-процесів підприємства оптової торгівлі. Інфраструктура ринку : електрон. наук.-практ. журн. 2021. Вип. 51. С. 331-338. URL: [http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/51\\_2021\\_ukr/55.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/51_2021_ukr/55.pdf), [doi.org/10.32843/infrastruct51-53](https://doi.org/10.32843/infrastruct51-53) (дата звернення 10.07.2024)
8. Шашкова, Н., Фадєєва, І., & Казакова, Т. (2021). Управління проєктами в IT сфері: застосування гнучких методологій. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права, 28, 166-172. URL: <https://nzlubp.org.ua/index.php/journal/article/view/402> (дата звернення 11.07.2024).
9. Bischi, G.I., Baiardi, L.C., Lamantia, F. et al. Nonlinear dynamics and game-theoretic modeling in economics and finance. *Ann Oper Res* 337, 731–737 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06016-2>
10. Chang, P.C., Huang, D.H. & Huang, C.F. Simulation-based system reliability estimation of a multi-state flow network for all possible demand levels. *Ann Oper Res* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06141-y>
11. Huang, X., Liang, M. Simulation of construction project management system by using visualization technology and improvement algorithm. *Soft Comput* (2023). <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08869-4>
12. Ihlayyel, Hani A.K. et al. 'An Enhanced Feature Representation Based on Linear Regression Model for Stock Market Prediction'. 1 Jan. 2018 : 45 – 76.
13. Kozyra, P. M. (2024). A new method for multi-state flow networks reliability estimation based on a Monte Carlo simulation and intersections of sets. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 130, 102846. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X23001235?via%3Dihub>
14. Servranckx, T., Coelho, J. & Vanhoucke, M. Project management and scheduling 2022. *Ann Oper Res* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-05971-0>
15. Steinbacher, M., Raddant, M., Karimi, F. et al. Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Bus Econ* 1, 99 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00103-3>

## REFERENCES:

1. Danyliuk, N., Shulyk, Yu., & Kachan, O. (2021) Suchasni pidkhody do upravlinnia proiektnoiu diialnistiu IT-kompanii [Modern approaches to project management of IT companies]. *Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". "Economics" series: a scientific journal*. No. 22(50). P. 88–94. [in Ukrainian]
2. Zasornova, I., Lysenko, S., & Zasornov, O. (2022). Vybir metodolohii SCRUM abo KANBAN dlia upravlinnia proiektamy v IT kompaniiakh [Choice of SCRUM or KANBAN methodology for project management in IT companies]. *Computer Systems and Information Technologies* (4), 6–12. <https://doi.org/10.31891/csit-2022-4-1> [in Ukrainian]
3. Lavryniuk, L. Kariera v IT: chym zaimaietsia Project Manager, pliusy ta minusy profesii [Career in IT: what does a Project Manager do, pros and cons of the profession]. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/project-manager-pros-and-cons/> (date of application 10.07. 2024). [in Ukrainian]
4. Loboda, O. (2024). Udoskonalennia imitatsiinoi modeli v systemi pidtrymky upravlinskykh rishen na pidpriemstvakh maloho biznesu [Improvement of the simulation model in the management decision support system at small business

enterprises]. *Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences*, (6), 82-93. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.10> [in Ukrainian]

5. Sichko, T. (2016) *Metody modeliuвання biznes-protsesiv pidprijemstva zasobamy systemnoho analizu* [Techniques of business process modelling of enterprise via system analysis]. *Galician economic bulletin (Tern.)*, No 2 (51), pp. 190-201 URL: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/51/74.pdf> (date of application 10.07. 2024). [in Ukrainian].

6. Khrapkin, O., Kindrat, O., & Chohey, R. (2023). *Upravlinnia proiektamy v IT-haluzi: metodyky, instrumenty ta keruvannya ryzykamy* [Project management in the it industry: methods, tools and risk management]. *Economy and Society*, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-110>. [in Ukrainian]

7. Shapran, E., Sergienko O., & Bilotserkivskiy, O. *Modeliuвання biznes-protsesiv pidprijemstva optovoi torhivli* [Modeling of business processes of a wholesale trade enterprise]. *Market infrastructure: electronic. science and practice journal 2021. Issue 51*. P. 331-338. URL: [http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/51\\_2021\\_ukr/55.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2021/51_2021_ukr/55.pdf), [doi.org/10.32843/infrastruct51-53](https://doi.org/10.32843/infrastruct51-53) (date of application 07/10/2024) [in Ukrainian]

8. Shashkova, N., Fadeeva, I., & Kazakova, T. (2021). *Upravlinnia proiektamy v IT sferi: zastosuvannya hnuchkykh metodolohii* [Project management in the IT field: application of flexible methodologies]. *Scientific Notes of the Lviv University of Business and Law*, 28, 166-172. URL: <https://nzlubp.org.ua/index.php/journal/article/view/402> (date of application 10.07. 2024). [in Ukrainian].

9. Bisch, G.I., Baiardi, L.C., Lamantia, F. et al. *Nonlinear dynamics and game-theoretic modeling in economics and finance*. *Ann Oper Res* 337, 731–737 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06016-2> [in English]

10. Chang, P.C., Huang, D.H. & Huang, C.F. *Simulation-based system reliability estimation of a multi-state flow network for all possible demand levels*. *Ann Oper Res* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06141-y> [in English]

11. Huang, X., Liang, M. *Simulation of construction project management system by using visualization technology and improvement algorithm*. *Soft Comput* (2023). <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08869-4> [in English]

12. Ihlayyel, Hani A.K. et al. 'An Enhanced Feature Representation Based on Linear Regression Model for Stock Market Prediction'. 1 Jan. 2018 : 45 – 76. [in English]

13. Kozyra, P. M. (2024). *A new method for multi-state flow networks reliability estimation based on a Monte Carlo simulation and intersections of sets*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 130, 102846. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X23001235?via%3Dihub> [in English]

14. Servranckx, T., Coelho, J. & Vanhoucke, M. *Project management and scheduling 2022*. *Ann Oper Res* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10479-024-05971-0> [in English]

15. Steinbacher, M., Raddant, M., Karimi, F. et al. *Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior*. *SN Bus Econ* 1, 99 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00103-3> [in English]

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.6>

## ТЕОРЕТИЧНІ ОЦІНКИ СКЛАДНОСТІ АЛГОРИТМІВ ІТЕРАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТИПУ БРАУНА-РОБІНСОН ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ КОМБІНАТОРНИХ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ІГРОВОГО ТИПУ

**Ольховська О. В.** – кандидат фізико-математичних наук,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0001-5366-5995

**Кошова О. П.** – кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0003-0794-6774

**Гаркуша С. В.** – доктор технічних наук,  
професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0000-0002-6473-4324

**Тур В. М.** – аспірант  
Полтавського університету економіки і торгівлі  
ORCID ID: 0009-0003-2825-1434

Комбінаторні оптимізаційні задачі ігрового типу є однією з найважливіших категорій задач в області теорії ігор і оптимізації. Вони охоплюють широкий спектр проблем, від розподілу ресурсів до стратегічного планування в умовах конфлікту. Ітераційні методи, зокрема метод Брауна-Робінсон, є класичними підходами до розв'язання таких задач.

Потреба в розв'язуванні комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу на множинах перестановок та розміщень підкреслює важливість дослідження можливості модифікації існуючих методів та оцінки їхньої складності. Виконано розширення ітераційного методу для задач комбінаторної оптимізації ігрового типу з різними комбінаторними конфігураціями.

Стаття починається з опису алгоритмів методів типу Брауна-Робінсон, що використовуються для розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу на множинах перестановок та розміщень. Далі основний акцент робиться на теоретичних оцінках складності цих алгоритмів. Розглядається кількість ітерацій, необхідних для досягнення оптимального розв'язання, а також асимптотична складність алгоритмів у залежності від розмірності задачі та параметрів. Досліджуються умови збіжності алгоритмів. Визначаються межі складності для найгірших сценаріїв, де алгоритми можуть демонструвати максимальну складність. Для ітераційних методів типу Брауна-Робінсон, що розв'язує комбінаторні оптимізаційні задачі ігрового типу з обмеженнями у вигляді перестановок, накладеними на стратегії обох гравців, та для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця, отримано теоретичні оцінки складності, сформульовані у вигляді теорем.

Результати дослідження підтверджують, що ітераційні методи типу Брауна-Робінсон є ефективними інструментами для розв'язання комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу. Проте їх обчислювальна складність значною мірою залежить від специфіки задачі. Подальші дослідження у цьому напрямку можуть значно покращити розуміння і застосування цих методів у практиці, сприяючи розвитку теорії ігор і комбінаторної оптимізації.

**Ключові слова:** мінімальний програш, стратегії гравців, обмеження-перестановки, максимальний виграв.

***Olkhovska O. V., Koshova O. P., Harkusha S. V., Tour V. M. Theoretical assessments of the complexity of algorithms of iterative methods of the Brown-Robinson type for solving combinatorial optimization problems of the game type***

*Game-type combinatorial optimization problems are one of the most important categories of problems in the field of game theory and optimization. They cover a wide range of issues, from resource allocation to strategic planning in conflict. Iterative methods, in particular the Brown-Robinson method, are classic approaches to solving such problems.*

*The need to solve game-type combinatorial optimization problems with multiple permutations and placements emphasizes the importance of studying the possibility of modifying existing methods and assessing their complexity. An extension of the iterative method for game-type combinatorial optimization problems with various combinatorial configurations is performed.*

*The article begins with a description of algorithms of Brown-Robinson type methods used to solve combinatorial optimization problems of game type on sets of permutations and placements. Further, the main emphasis is placed on theoretical estimates of the complexity of these algorithms. The number of iterations required to achieve the optimal solution is considered, as well as the asymptotic complexity of algorithms depending on the dimension of the problem and parameters. The conditions of convergence of algorithms are studied. Complexity bounds are defined for worst-case scenarios, where algorithms can exhibit maximum complexity. For iterative methods of the Brown-Robinson type, which solve combinatorial optimization problems of the game type with permutation constraints imposed on the strategies of both players, and for solving game problems with placement constraints on the strategies of one player, obtained theoretical estimates of complexity, formulated in the form of theorems.*

*The research results confirm that iterative methods of the Brown-Robinson type are effective tools for solving combinatorial game-type optimization problems. However, their computational complexity largely depends on the specifics of the problem. Further research in this direction can significantly improve the understanding and application of these methods in practice, contributing to the development of game theory and combinatorial optimization.*

**Key words:** *minimum loss, player strategies, permutation restrictions, maximum winning.*

**Постановка проблеми.** Теорія ігор є важливою галуззю математики, що знаходить широке застосування в економіці, військових стратегіях, біології, соціальних науках та інших сферах [1-11]. Ітераційний метод типу Брауна-Робінсон є одним з класичних підходів до розв'язання ігрових задач, що дозволяє знаходити рівноважні стратегії у двохособових іграх з нульовою сумою.

Багато реальних задач можна моделювати як ігрові задачі з комбінаторними обмеженнями. Це стосується таких сфер, як оптимізація виробничих процесів, розподіл ресурсів, управління проектами, де один із гравців може мати обмеження на стратегії через фізичні або інші фактори.

Ітераційні методи, такі як метод Брауна-Робінсон, мають переваги у вигляді відносної простоти реалізації та здатності до обробки великих обсягів даних. Вивчення ефективності цих методів у контексті задач з комбінаторними обмеженнями є важливим для покращення алгоритмів та розробки нових, більш ефективних підходів.

Аналіз ітераційних методів дозволяє поглибити розуміння теоретичних аспектів збіжності алгоритмів, їхньої стійкості та точності. Це, в свою чергу, сприяє розвитку математичного апарату та методів розв'язання складних ігрових задач.

В сучасних умовах розвитку технологій, алгоритми для розв'язування ігрових задач знаходять нові області застосування, зокрема в сфері штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих даних. Вивчення алгоритмів, що враховують специфічні обмеження, дозволяє створювати більш адаптивні та потужні системи.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо ітераційний метод типу Брауна-Робінсон (ІМТБР) для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця. В [1] розроблено наближений ІМТБР для знаходження оптимальної стратегії гравців. В основі ідеї ІМТБР лежить принцип

поетапного розігрування гри, в якій гравці вважаються розумними сторонами, і, при виборі власної стратегії, роблять ходи за принципом «майбутнє схоже на минуле», враховуючи всі проведені раніше ходи. Такий спосіб є моделлю реального практичного «взаємного навчання» гравців, коли кожен з них на досвіді досліджує спосіб поведінки супротивника і вчиться на його і своїх помилках.

Розглянемо алгоритм запропонованого методу.

Зауважимо, що процес обчислень зручно оформлювати у вигляді таблиці, куди заносяться всі результати проведених обчислень.

У перший стовбець  $N$  таблиці заноситься номер поточного етапу розіграшу гри, на якому кожен з гравців по черзі робить свій крок (обирають по одному разу свої стратегії).

**Крок 0.** Встановлюється номер  $N$  ітерації рівний 1:  $N = 1$ .

**Крок 1.** Першу стратегію  $i$  перший гравець обирає випадковим чином з множини розміщень  $E_M^{m-1}(P^x)$ .

Записуємо її покоординатно в стовпець  $X$  таблиці.

**Крок 2.** Обчислюються скалярні добутки векторів стратегій другого гравця на вектор обраної стратегії першого гравця.

У таблицю це зручно вносити, ввівши стовпці:  $B_j$  ( $b_j \forall j \in J_n$ ) – вектор стратегії  $J$  другого гравця з матриці  $A_{ij}$ ;  $B_j X$  – вектор, що складається з поелементних добутків векторів  $X$  та  $B_j$ ,  $j \in J_n$ . Ці вектори ( $X, B_j, B_j X$ ) займають  $n$  рядків таблиці. В наступному рядку  $sum$  в стовпцях  $B_j X$  записуємо скалярні добутки векторів  $B_j$  та  $X$  (як сума елементів стовпця  $B_j X$  таблиці).

**Крок 3.** Знаходяться  $SUM\_L$  – накопичені суми скалярних добутків (в лівій частині таблиці).

У наступному рядку  $SUM\_L$  таблиці записується сума значень елементів рядка  $sum\_l$  та рядка  $SUM\_L$  з попереднього ( $(N-1)$ -го) етапу. На першій ітерації алгоритму ( $N=1$ ) рядок  $SUM\_L$  збігається з рядком  $sum\_l$  цього етапу.

**Крок 4.** Обирається стратегія другого гравця за критерієм отримання максимального виграшу (стратегію з максимальною накопиченою сумою), знаходячи  $Nv$ .

Обирається максимальне значення з рядка  $SUM\_L$ , яке записується в цьому ж рядку в стовпці  $Nv$ . Стратегія  $B_j$ , якій відповідає знайдене максимальне значення з рядка  $SUM$  є стратегією другого гравця при наступному виборі. У стовпець  $j$  таблиці записується номер стратегії  $B_j$ , якій відповідає максимальне значення з рядка  $SUM\_L$ .

Вибраний стовпець  $B_j$  покоординатно заноситься в рядок у відповідні стовпці  $A_i$ .

На першій ітерації ( $N=1$ ) рядок  $SUM\_R$  правої частини таблиці збігається з попереднім рядком цієї (правої) частини таблиці, де записана стратегія другого гравця, тобто значеннями елементів стовпців  $A_i$ . На наступних етапах в рядок  $SUM\_R$  правої частини таблиці записується сума значень елементів рядка  $SUM\_R$  з попереднього ( $(N-1)$ -го) етапу та рядка стратегії другого гравця (попередній перед  $SUM\_R$  рядок правої частини таблиці).

**Крок 5.** Стратегія  $NextX$  першого гравця обирається з умови отримання ним мінімального сумарного за  $N$  етапів платежу (програшу). При цьому на кожному етапі розв'язується така лінійна умовна задача на розміщеннях:

$$c^* = \min_{x \in R^m} \sum_{j=1}^m c_j x_j ; x^* = \arg \min_{x \in R^m} \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad (1)$$

за обмежень:

$$x \in E_M^m(P^x), \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_j = 1, \quad (3)$$

де  $c = (c_1, \dots, c_m)$  – вектор  $SUM\_L$ ;  $E_M^m(P^x)$  – множина  $m$ -розміщень з  $M$  елементів вектора  $P^x$ .

Зауважимо, що  $NextX$  – це і є  $x^*$  з (1).

Значення  $N\underline{v}$  – мінімальний накопичений програш – це скалярний добуток елементів векторів накопиченої суми  $SUM\_R$  платежів (програшів) і обраної стратегії  $NextX$  першого гравця. Зауважимо, що  $N\underline{v}$  знаходиться при розв'язанні задачі типу (1)-(3).

Отримане значення  $c^*$  заноситься у стовпець таблиці  $N\underline{v}$ .

**Крок 6.** За формулами  $\bar{v} = \frac{N\underline{v}}{N}$ ,  $\underline{v} = \frac{N\underline{v}}{N}$ ,  $v^* = \frac{\bar{v} + \underline{v}}{2}$  обчислюються  $\bar{v}$ ,  $\underline{v}$  та  $v^*$ .

Обчислені значення заносяться у стовпці  $\bar{v}$ ,  $\underline{v}$  та  $v^*$  таблиці відповідно.

**Крок 7.** Перевіряється критерій завершення роботи алгоритму: рівність мінімального зі знайдених значень  $\bar{v}$  (позначка  $\min \bar{v}$ ) максимальному зі знайдених значень  $\underline{v}$  (позначка  $\max \underline{v}$ ):

$$\min \bar{v} = \max \underline{v}.$$

Якщо цей критерій виконується, то роботу алгоритму завершено. За ціну гри приймають  $V^* = \underline{v} = \bar{v}$ . Інакше виконується перехід на пункт 2 алгоритму, обравши за стратегію першого гравця стратегію  $NextX$ , та збільшивши номер  $N$  ітерацій на 1:  $N = N + 1$ .

Робота алгоритму також може бути завершена, якщо проведена певна кількість ітерацій, або у разі, коли досягнена задана точність:

$$\Delta = |\min \bar{v} - \max \underline{v}| \leq \varepsilon,$$

де  $\varepsilon > 0$  – задана величина або при

$$\delta = \frac{\Delta}{\frac{1}{2}(\min \bar{v} + \max \underline{v})} < \varepsilon.$$

При цьому за розв'язок задачі приймається: ціна гри – значення  $V^* = \frac{1}{2}(\min \bar{v} + \max \underline{v})$ , оптимальна стратегією першого гравця  $X^*$  – його стратегія з максимальною частотою, оптимальна стратегією другого гравця  $Y^*$  – мішана стратегія-вектор, що складається з частот застосування чистих стратегій другого гравця.

Для виконання оцінки складності алгоритму ітераційного методу типу Брауна-Робінсон для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця складемо таблицю 1, у якій згідно до алгоритму методу наведені основні етапи (у стовпці «Алгоритм»), час виконання кожного етапу (стовпець «Час  $c_j$ ») та кількість повторень кожного етапу алгоритму (стовпець «Кількість раз»).

При розрахунку складності алгоритму потрібно визначити асимптотичну верхню границю з точністю до постійного множника [11]. Для функції  $g(n)$

позначка  $O(g(n)) = f(n)$  [11] означає множину функцій таких, що існує додатна константа  $c$  і натуральне  $n_0$  такі, що  $0 \leq f(n) \leq cg(n)$  для всіх  $n \geq n_0$ .

Для визначення складності алгоритму згідно таблиці 1 необхідно обчислити

$$T = \sum_{j=0}^7 c_j \tau_j : \\ T = 1(c_1 + c_3 + c_4) + nc_2 + O(n \cdot m) + O(m) + O(m) + S(m, n).$$

Таблиця 1

**Оцінка складності алгоритму ітераційного методу  
(з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця)**

№ кроку	Алгоритм	Час $c_j$	Кількість раз $\tau_j$
0	Встановлення номеру ітерації $N$	$c_1$	1
1	Визначення першої стратегії першим гравцем	$c_2$	$n$
2	Обчислення скалярних добутків векторів стратегій другого гравця на вектор стратегії першого гравця	1	$O(n \cdot m)$
3	Обчислення накопичених сум скалярних добутків	1	$O(m)$
4	Вибір стратегії другого гравця	1	$O(m)$
5	Вибір стратегії першого гравця	1	$S(m, n)$
6	Обчислення значень $\bar{v}$ , $\underline{v}$ та $v^*$	$c_3$	1
7	Перевірка критерію завершення роботи алгоритму	$c_4$	1

Враховуючи, що  $\forall c > 0 : cO(f(n)) = O(f(n))$ , то

$$T = O(n \cdot m) + O(m) + S(m, n).$$

Відомо [11], що якщо  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \infty$ , то  $O(f(n)) + O(g(n)) = O(f(n))$ . З огляду на це, складність алгоритму набуде вигляду:

$$T = O(n \cdot m) + S(m, n). \quad (4)$$

У виразі (4) функція  $S(m, n)$  набуває різного вигляду в залежності від початкових умов задачі. Доцільно розглядати такі випадки:

1. У разі, коли кількість елементів, з яких обираються елементи розміщення становить  $n = M - 1$ , то знаходження розв'язку полягає в розв'язуванні задачі на перестановках, для чого, як відомо [3], достатньо виконати сортування елементів множини, тобто  $S(m, n) = n \cdot \log n$  [11].

2. У іншому випадку, для знаходження оптимального розв'язку задачі необхідно виконати направлений перебір розміщень, що вимагатиме в найгіршому випадку  $\frac{n!}{m!(n-m)!}$  операцій, що відповідає оцінці  $\frac{n!}{m!} : S(m, n) = \frac{n!}{m!}$ .

Таким чином, доведено теореми.

**Теорема 1.** Час роботи ітераційного методу типу Брауна-Робінсон для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця має оцінку  $T = O(n \cdot \log n + n \cdot m)$  у разі, коли кількість елементів, з яких обираються елементи розміщення, становить  $n = M - 1$ .

**Теорема 2.** Час роботи ітераційного методу типу Брауна-Робінсон для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-розміщеннями на стратегії одного гравця має оцінку:  $T = O\left(\frac{n!}{m!}\right)$  у разі, коли кількість елементів, з яких обираються елементи розміщення, становить  $n \neq M - 1$ .

Ітераційний метод типу Брауна-Робінсон для розв'язування ігрових задач з обмеженнями-перестановками у обох гравців

Опишемо даний ІМТБР. За аналогією з попереднім методом, обчислення зручно заносити в таблицю.

**Крок 0.** Встановлюється номер  $N$  ітерації рівний 1:  $N = 1$ .

**Крок 1.** Перша стратегія (перестановки  $X$ ) першого гравця обирається випадковим чином з множини перестановок  $E_m(P^x)$ . Вона записується покоординатно в стовпець  $X$  таблиці.

**Крок 2.** У таблиці в стовпці  $B_j$  з елементами  $b_j, \forall j \in J_n$  записується вектор-стовпець з номером  $j$  з матриці  $A$ . Обчислюються скалярні добутки векторів-стратегій  $B_j$  другого гравця і вектора обраної стратегії першого гравця. У таблиці це зручно оформлювати, ввівши стовпці:  $B_j X$  – вектор, що складається з поелементних добутків векторів  $X$  та  $B_j, j \in J_n$ . Ці вектори ( $X, B_j, B_j X$ ) займають  $m$  рядків таблиці. У наступному рядку  $sum\_1$  в стовпцях  $B_j X$  записуємо скалярні добутки векторів  $B_j$  та  $X$  (як сума елементів стовпця  $B_j X$  таблиці).

**Крок 3.** Знаходяться значення  $SUM\_L$  – накопичені суми скалярних добутків (в лівій частині таблиці). У рядку  $SUM\_L$  таблиці записується сума значень елементів рядка  $sum\_1$  та рядка  $SUM\_L$  з попереднього ( $(N - 1)$ -го) етапу. Перший раз ( $N = 1$ ) рядок  $SUM\_L$  збігається з рядком  $sum\_1$  цього етапу.

**Крок 4.** Стратегія  $NextY$  другого гравця обирається з умови отримання ним максимального сумарного за  $N$  етапів платежу, як розв'язок задачі максимізації цільової функції на множині перестановок [14]. Практично це означає впорядкування елементів вектора  $P^x$  відповідно до порядку елементів рядка  $SUM\_L$ .

**Крок 5.** Обчислюється значення  $N\bar{v}$  – максимальний накопичений виграш другого гравця як скалярний добуток рядка  $SUM\_R$  та стратегії  $NextY$ , воно записується в цьому ж рядку в стовпці  $N\bar{v}$ .

**Крок 6.** Обчислюється значення  $\bar{v}$  за формулою  $\bar{v} = \frac{N\bar{v}}{N}$  та записується в цьому ж рядку в стовпці  $\bar{v}$ .

**Крок 7.** У стовпець  $Y$  записується значення стратегії другого гравця. У стовпець  $Y$  покоординатно заноситься значення рядка  $NextY$  лівої частини таблиці.

**Крок 8.** У праву частину таблиці у стовпці  $A_i, \forall i \in J_m$ , записується вектор стратегії першого гравця – рядок  $i$  з матриці  $A$ . Обчислюється скалярні добутки вектора-стратегії другого гравця на вектори стратегій першого гравця – стовпці  $A_i, \forall i \in J_m$ . У таблиці це зручно оформлювати, ввівши стовпці:  $A_i Y$  – вектор, що складається з поелементних добутків векторів  $Y$  та  $A_i, i \in J_m$ . Вектори  $Y, A_i, A_i Y$  займають  $n$  рядків таблиці.



**Крок 9.** Обчислюються значення  $sum\_r$  та  $SUM\_R$ . У наступному рядку  $sum\_r$  в стовпцях  $A_i Y$  записуються скалярні добутки векторів  $A_i$  та  $Y$  (як сума елементів стовпця  $A_i Y$  таблиці). У наступному рядку  $SUM\_R$  таблиці записується сума значень елементів рядка  $sum\_r$  та рядка  $SUM\_R$  з попереднього (( $N - 1$ )-го) етапу.

**Крок 10.** Стратегія  $Next X$  (права частина таблиці) першого гравця обирається з умови отримання ним мінімального сумарного за  $N$  етапів платежу (програшу), тобто розв'язок задачі мінімізації цільової функції на множині перестановок [3] аналогічно до кроку 4. Обрана стратегія записується в рядок  $Next X$  правої частини таблиці та стовпець  $X$ .

**Крок 11.** Знаходиться значення  $N\underline{v}$  – мінімальний накоплений програш другого гравця. Мінімальне значення  $N\underline{v}$  правої частини таблиці обчислюється як скалярний добуток рядка  $SUM\_R$  та стратегії  $Next X$  (правої частини таблиці) та записується у цьому ж рядку в стовпці  $N\underline{v}$ .

**Крок 12.** За формулою  $\underline{v} = \frac{N\underline{v}}{N}$  обчислюється  $\underline{v}$  та заноситься у стовпець  $\underline{v}$  таблиці.

**Крок 13.** За формулою обчислюється та заноситься у стовпець таблиці.

**Крок 14.** Перевіряється критерій завершення роботи алгоритму – мінімальне зі знайдених значень  $\bar{v}$  дорівнює максимальному зі знайдених значень  $\underline{v}$ :  $\min \bar{v} = \max \underline{v}$  (рівність максимального виграшу першого гравця мінімальному програшу другого гравця). Якщо цей критерій виконується, то зупинка алгоритму, інакше – перехід на крок 2 алгоритму, обравши за стратегію першого гравця стратегію  $Next X$ . За ціну гри приймається значення  $v^* = \bar{v} = \underline{v}$ .

Іншими критеріями зупинки алгоритму можуть бути: проведення заданої кількості ітерацій або досягнення заданої точності  $\Delta = \min \bar{v} - \max \underline{v} \leq \varepsilon$ , де  $\varepsilon > 0$  – задана величина,  $\min \bar{v}$  – мінімум зі знайдених  $\bar{v}$ ,  $\max \underline{v}$  – максимум зі знайдених

$\underline{v}$ , або при  $\delta = \frac{\Delta}{\frac{1}{2}(|\min \bar{v}| + |\max \underline{v}|)}$ . При цьому значення ціни гри обчислюється як

$$V^* = \frac{1}{2}(\min \bar{v} + \max \underline{v}).$$

Наближені значення  $p^*$ ,  $q^*$  (оптимальні мішані стратегії першого та другого гравців) – це вектори частот застосування чистих стратегій–перестановок гравцями. Логічно вважати, що для забезпечення більшої точності знаходження чистих стратегій гравцями, необхідно проводити якомога більшу кількість ітерацій.

Для розрахунку складності [11] алгоритму складемо таблицю (табл. 2), в якій в стовпці «Алгоритм» записана програмна реалізація ітераційного методу (одна ітерація) для розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу, де накладаються обмеження, що визначаються перестановками, на стратегії обох гравців. Час виконання різних рядків алгоритму різний, але один і той рядок  $i$  виконується за час  $c_i$ , де  $c_i$  – константа. Позначимо через  $\tau_j$  кількість раз виконання умови.

Таблиця 2

## Оцінка складності алгоритму

№	Алгоритм	Час $c_j$	Кількість раз $\tau_j$
1	inc(cIterNum);	$c_1$	1
2	for i:=1 to cN do	$c_2$	$n$
	begin		-
3	s := 0;	$c_3$	$n$
4	for j:=1 to cM do	$c_4$	$nm$
	begin		-
5	s := s + cBx[j, i];	$c_5$	$nm$
	end;		-
6	cSumX[i] := s;	$c_6$	$n$
7	cSumXn[i] := cSumXn[i] + s;	$c_7$	$n$
	end;		-
8	SetLength(IndArr, max(cN, cM) + 1);	$c_8$	1
9	for i:=1 to cN do	$c_9$	$n$
10	IndArr[i] := i;	$c_{10}$	$n$
11	MakeInd(IndArr, cSumXn, cN, 1);	1	$O(n \log n)$ [11]
12	cNv_ := 0;	$c_{11}$	1
13	for i:=1 to cN do	$c_{12}$	$n$
	begin		
14	cNextY[IndArr[i]] := cPy[i];	$c_{13}$	$n$
15	cNv_ := cNv_ + cNextY[IndArr[i]]*SumXn[IndArr[i]];	$c_{14}$	$n$
	end;		-
16	cv_ := cNv_ / cIterNum;	$c_{15}$	1
17	cminv_ := min(cv_, cminv_);	$c_{16}$	1
18	for i:=1 to cM do	$c_{17}$	$m$
	begin		-
19	s := 0;	$c_{18}$	$m$
20	for j:=1 to cN do	$c_{19}$	$nm$
	begin		-
21	s := s + cAy[j, i];	$c_{20}$	$nm$

Продовження таблиці 2

№	Алгоритм	Час $c_j$	Кількість раз $\tau_j$
	end;		-
22	cSumY[i] := s;	$c_{21}$	$m$
23	cSumYn[i] := cSumYn[i] + s;	$c_{22}$	$m$
	end;		-
24	for i:=1 to cM do	$c_{23}$	$m$
25	IndArr[i] := i;	$c_{24}$	$m$
26	MakeInd(IndArr, cSumYn, cM, 0);	1	$O(m \log m)$ [11]
27	cN_v := 0;	$c_{25}$	1
28	for i:=1 to cM do	$c_{26}$	$m$
	begin		-
29	cNextXp[i] := cNextX[i];	$c_{27}$	$m$
30	cNextX[IndArr[i]] := cPx[i];	$c_{28}$	$m$
31	cN_v := cN_v + cNextX[IndArr[i]] *cSumYn[IndArr[i]];	$c_{29}$	$m$
	end;		-
32	c_v := cN_v / cIterNum;	$c_{30}$	1
33	cmax_v := max(c_v, cmax_v);	$c_{31}$	1
34	cv_s := (cv_ + c_v) / 2;	$c_{32}$	1
35	CheckStrat(0);	1	$T_0(m)$ [11]
36	CheckStrat(1);	1	$T_1(n)$ [11]
37	Result := CheckEval(aBreakType, aMaxIter);	$c_{33}$	1

Підрахуємо:  $T = \sum_{j=1}^{39} c_j \tau_j$  :

$$\begin{aligned}
 T = & 1(c_1 + c_8 + c_{11} + c_{15} + c_{16} + c_{25} + c_{30} + c_{31} + c_{32} + c_{33}) + \\
 & + n(c_2 + c_3 + c_6 + c_7 + c_9 + c_{10} + c_{12} + c_{13} + c_{14}) + \\
 & + m(c_{17} + c_{18} + c_{21} + c_{22} + c_{23} + c_{24} + c_{26} + c_{27} + c_{28} + c_{29}) + \\
 & + nm(c_4 + c_5 + c_{19} + c_{20}) + O(n \log n) + O(m \log m) + T_0(m) + T_1(n);
 \end{aligned}$$

або

$$T = O(1) + O(n) + O(m) + O(nm) + O(n \log n) + O(m \log m) + T_0(m) + T_0(m);$$

Якщо  $T_0(m) = O(m)$ ,  $T_1(n) = O(n)$ , то

$$T = O(1) + O(n) + O(m) + O(nm) + O(n \log n) + O(m \log m) + O(m) + O(n).$$

Враховуючи, що  $\forall c > 0 : cO(f(n)) = O(f(n))$ , то

$$T = O(n) + O(m) + O(nm) + O(n \log n) + O(m \log m).$$

Якщо  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = c < \infty$ , то

$$O(f(n)) + O(g(n)) = O(f(n) + g(n)),$$

отже

$$T = O(n + m) + O(nm) + O(n \log n) + O(m \log m);$$

якщо  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(n)}{g(n)} = \infty$ , то

$$O(f(n)) + O(g(n)) = O(f(n)).$$

Отже:

$$T = O(nm + n \log n + m \log m).$$

Таким чином, складність алгоритму розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу на комбінаторних конфігураціях, у разі, коли обмеження накладаються на стратегії двох гравців і визначені перестановками, становить:  $T = O(nm + n \log n + m \log m)$ .

**Висновки.** Необхідність розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу на множинах перестановок та розміщень зумовлює актуальність дослідження можливості модифікації існуючих методів розв'язування цих задач та визначення оцінки їх складності. Здійснено поширення ітераційного методу на задачі комбінаторної оптимізації ігрового типу з різними комбінаторними конфігураціями. Для ітераційного методу типу Брауна-Робінсон, який розв'язує комбінаторні оптимізаційні задачі ігрового типу з обмеження-перестановками, що накладаються на стратегії обох гравців, отримано теоретичну оцінку складності. Подальші дослідження можуть зосередитися на удосконаленні алгоритмів і розробці нових підходів для підвищення їхньої ефективності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ємець О. О., Ольховська О. В. Монотонний ітераційний метод для розв'язування задач комбінаторної оптимізації ігрового типу на переставленнях. *Доповіді Національної академії наук України*. 2014. №8. С. 48-52.
2. Слабінога М. О., Чабан С. В. Розробка веб-додатків в контексті оптимізації їх швидкодії. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (3), 63-69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7>
3. Стоян Ю. Г., Ємець О. О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. К., ІСДО, 1993. 188 с.
4. Черненко Н. Штучний інтелект в управлінні персоналом. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*, 2022, (12), 76-83. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.11>
5. Avinash K Dixit, Susan Skeath, David McAdams Games of Strategy. Fifth Edition, 2020, 1853 p.
6. Christos H. Papadimitriou, Kenneth Steiglitz. Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity, Courier Corporation, 1998. 496 p.
7. Dexter C Kozen. The Design and Analysis of Algorithms, 1990, 25 p.

8. Fraenkel A. Combinatorial games: Selected bibliography with a succinct gourmet introduction. *Games of No Chance 3*. Vol. 56. 2009. P. 491–575.
9. Jon Kleinberg, Eva Tardos. Algorithm design. 1st ed., 2006. 864 p.
10. Nowakowski, Richard J., Landman, Bruce M., Luca, Florian, Nathanson, Melvyn B., Nešetřil, Jaroslav and Robertson, Aaron. Combinatorial Game Theory: A Special Collection in Honor of Elwyn Berlekamp, John H. Conway and Richard K. Guy, Berlin, Boston: De Gruyter, 2022. <https://doi.org/10.1515/978311075541>
11. Thomas H Cormen, Charles E Leiserson, Ronald L, Clifford Stein Rivest. Introduction to Algorithms, 3rd Edition, 2009. 1292 p.

#### REFERENCES:

1. Yemets O. O. Olkhovska O. V. (2014). Monotonnyi iteratsiyni metod dlia rozv'iazuvannia zadach kombinatornoj optymizatsii ihrovoho typu na perestavlenniakh [Monotone iterative method for solving game-type combinatorial optimization problems on permutations]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2014. No. 8. P. 48-52 [in Ukrainian]
2. Slabinoha, M. O., Chaban, S. V. (2022) Rozrobka veb-dodatkov v konteksti optymizatsii yikh shvydkodii [Development of web applications in the context of optimizing their performance]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky – Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences*, (3), 63-69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7> [in Ukrainian]
3. Stoian Yu. H., Yemets O. O. (1993). Teoriia i metody evklidovoi kombinatornoj optymizatsii [Theory and methods of Euclidean combinatorial optimization]. K., ISDO, 188 p. [in Ukrainian]
4. Chernenko, N. (2022) Shtuchnyi intelekt v upravlinni personalom [Artificial intelligence in personnel management]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economy*, (12), 76-83. <https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.12.11> [in Ukrainian]
5. Avinash K Dixit, Susan Skeath, David McAdams (2020). Games of Strategy. Fifth Edition, 1853 p. [in English]
6. Christos H. Papadimitriou, Kenneth Steiglitz. (1998). Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity, Courier Corporation, 496 p. [in English]
7. Dexter C Kozen. (1990). The Design and Analysis of Algorithms, 25 p. [in English]
8. Fraenkel A. (2009). Combinatorial games: Selected bibliography with a succinct gourmet introduction. *Games of No Chance 3*. Vol. 56. P. 491–575. [in English]
9. Jon Kleinberg, Eva Tardos. (2006). Algorithm design. 1st ed. 864 p. [in English]
10. Nowakowski, Richard J., Landman, Bruce M., Luca, Florian, Nathanson, Melvyn B., Nešetřil, Jaroslav and Robertson, Aaron. (2022). Combinatorial Game Theory: A Special Collection in Honor of Elwyn Berlekamp, John H. Conway and Richard K. Guy, Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/978311075541> [in English]
11. Thomas H Cormen, Charles E Leiserson, Ronald L, Clifford Stein Rivest (2009). Introduction to Algorithms, 3rd Edition. 1292 p. [in English]

УДК 378:004

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.7>

## ФОРМУВАННЯ ПОЗИТИВНОЇ МОТИВАЦІЇ ДО НАВЧАННЯ ЗАСОБАМИ ІГРОВИХ ПРИЙОМІВ

**Сікора О. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного  
педагогічного університету імені Івана Франка  
ORCID ID: 0000-0002-4043-778X

**Пазюк Р. І.** – кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного  
педагогічного університету імені Івана Франка  
ORCID ID: 0000-0002-1332-2979

*Мотивація є рушійною силою багатьох видів людської діяльності, зокрема навчання. Вмотивовані учні готові докладати значних розумових зусиль і використовувати більш складні та ефективні стратегії навчання. В сучасному освітньому середовищі ігрові технології стали невід'ємною частиною педагогічних технологій. Їх інтеграція в освітній процес – це не просто тенденція, а суттєвий крок до покращення навчального процесу та формування навичок, актуальних для цифрової епохи. Застосування таких технологій в освіті виходить за рамки простої гри. Воно передбачає використання ігрових механік, естетики та ігрового мислення для залучення учнів, мотивації до дій, сприяння навчанню та вирішенню проблем.*

*Однією з головних переваг впровадження ігрових технологій в освітній процес є значне підвищення рівня залученості та мотивації учнів. Ігри природним чином привертають увагу учнів завдяки таким елементам, як рейтинги, бали і нагороди. Ці елементи є не лише мотиваційними інструментами, але й забезпечують зворотній зв'язок, встановлюють чіткі цілі та демонструють прогрес учнів. Всі ці аспекти мають вирішальне значення під час уроків, де постійна зацікавленість, залученість і мотивація часто є найбільшим викликом, з яким стикаються вчителі.*

*Ігрові технології сприяють створенню інтерактивного навчального середовища, яке заохочує активну участь і практичне навчання. Завдяки симуляціям та рольовим іграм учні можуть досліджувати складні системи та процеси в контрольованому середовищі, без ризику для себе. Таке навчання на основі досвіду допомагає учням зрозуміти абстрактні поняття більш конкретно та ефективніше запам'ятовувати інформацію.*

*Ігри також є потужним інструментом когнітивного розвитку. Вони спонукають учнів критично мислити, вирішувати проблеми, приймати рішення та розробляти стратегії – всі ці навички є важливими як в навчальному, так і в реальному контексті. Адаптивна природа ігрових технологій означає, що вони можуть бути розроблені таким чином, щоб підвищувати складність в міру зростання вмінь учня, підтримуючи оптимальний рівень викликів.*

*Ігри дозволяють здійснювати диференційоване навчання, де учні можуть розвиватися у власному темпі та отримувати навчальний досвід, пристосований до їхніх індивідуальних потреб. Просунуті ігрові навчальні системи можуть адаптуватися до успішності учня, пропонуючи йому більше або менше підказок за потребою і генеруючи завдання, які підібрані відповідно до рівня його знань і вмінь.*

*В статті охарактеризовано основні ігрові технології, що використовуються в поєднанні з ІКТ для покращення навчального процесу. Проаналізовано використання спеціалізованих платформ для навчання програмуванню, віртуальних симуляторів, інтерактивних ігрових середовищ, інструментів для створення навчальних ігор, робототехніки, а також технологій віртуальної та доповненої реальності. Визначено, що така інтеграція сприяє створенню імерсивних та інтерактивних навчальних середовищ. Також розглянуто приклади використання цифрових засобів реалізації ігрових технологій при вивченні інформатики. Зокрема, проаналізовано платформу Scratch, яка дозволяє учням створювати власні інтерактивні проекти через візуальне програмування. Досліджено Interland від*

Google, яка сприяє розвитку цифрового громадянства та онлайн-безпеки через інтерактивні модулі та вікторини. Встановлено, що платформа Educaplay надає інструменти для створення та поширення навчальних вправ і ігор, що можуть бути інтегровані в різні системи управління навчанням.

**Ключові слова:** інформаційно-цифрові засоби, ігрові технології, цифрові компетентності, інтерактивні методи навчання, педагогічні технології.

**Sikora O. V., Pazyuk R. I. Formation of positive motivation for learning by the means of game receipts**

Motivation is the driving force behind many types of human activity, including learning. Motivated learners are willing to exert significant mental effort and use more complex and effective learning strategies. In the modern educational environment, game technologies have become an integral part of pedagogical technologies. Their integration into the educational process is not just a trend, but a significant step towards improving the educational process and forming skills relevant for the digital age. The application of such technologies in education goes beyond a simple game. It involves the use of game mechanics, aesthetics and game thinking to engage students, motivate action, promote learning and problem solving.

One of the main advantages of introducing game technologies into the educational process is a significant increase in the level of student involvement and motivation. Games naturally attract students' attention thanks to elements such as ratings, points and rewards. These elements are not only motivational tools, but also provide feedback, set clear goals and demonstrate student progress. All these aspects are crucial in the classroom, where maintaining interest, engagement and motivation is often the biggest challenge teachers face.

Game technologies contribute to the creation of an interactive learning environment that encourages active participation and hands-on learning. Through simulations and role-playing, students can explore complex systems and processes in a controlled environment, without risk to themselves. Such experiential learning helps students understand abstract concepts more concretely and remember information more effectively.

Games are also a powerful tool for cognitive development. They encourage students to think critically, solve problems, make decisions and develop strategies – all skills that are important in both academic and real-world contexts. The adaptive nature of gaming technologies means that they can be designed to increase in complexity as the learner's skills increase, while maintaining an optimal level of challenge.

Games allow for differentiated learning, where students can develop at their own pace and receive a learning experience tailored to their individual needs. Advanced game-based learning systems can adapt to the student's performance, offering more or less prompts as needed and generating tasks that are tailored to the student's level of knowledge and skill.

The article describes the main game technologies used in combination with ICT to improve the educational process. The use of specialized platforms for teaching programming, virtual simulators, interactive game environments, tools for creating educational games, robotics, as well as virtual and augmented reality technologies is analyzed. It was determined that such integration contributes to the creation of immersive and interactive learning environments. Examples of the use of digital means of implementing game technologies in the study of computer science are also considered. In particular, the Scratch platform was analyzed, which allows students to create their own interactive projects through visual programming. Explored Google's Interland game, which promotes digital citizenship and online safety through interactive modules and quizzes. It has been established that the Educaplay platform provides tools for creating and distributing educational exercises and games that can be integrated into various learning management systems.

**Key words:** information and digital means, game technologies, information competences, interactive learning methods, pedagogical technologies.

**Постановка проблеми.** У контексті переходу до інформаційного суспільства перед освітньою системою постають нові завдання. Пріоритет зміщується від простого накопичення знань до формування компетентностей ефективної взаємодії з інформаційними потоками, критичного мислення та активного застосування сучасних ІКТ у різноманітних сферах діяльності. Уроки інформатики створюють можливості для реалізації цих завдань шляхом поєднання інтерактивних методів навчання та інформаційно-комунікаційних засобів. Інтерактивні методи навчання з елементами гри пропонують інноваційні способи залучення учнів до процесу

навчання. При ефективному впровадженні ці методи можуть значно покращити мотивацію, залученість та результати навчання. Однак лише ретельне планування, продуманий дизайн і відчуття потреб учнів створюють передумови для того, щоб гейміфікація покращувала, а не заважала навчальному процесу.

В сучасному освітньому середовищі ігрові технології стали невід'ємною частиною педагогічних технологій. Їх інтеграція в освітній процес – це не просто тенденція, а суттєвий крок до покращення навчального процесу та формування навичок, актуальних для цифрової епохи. Застосування таких технологій в освіті виходить за рамки простої гри. Воно передбачає використання ігрових механік, естетики та ігрового мислення для залучення учнів, мотивації до дій, сприяння навчанню та вирішенню проблем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання ігрових технологій в освітньому процесі розкрили в своїх працях такі вчені: А.Макаренко вважав, що колективна діяльність має велике значення для виховання особистості. Гра в його системі була інструментом для формування колективу, розвитку навичок співпраці, відповідальності і взаємодопомоги. Гра, за Макаренком, сприяла розвитку таких якостей, як ініціативність, творчість, впевненість у собі та лідерські навички. Він вважав, що гра дозволяє дітям проявити свої найкращі якості і розвивати їх у сприятливому середовищі;

Г.Сковорода вважав, що гра, як форма діяльності, що стимулює креативність та активну участь, може бути важливим інструментом для розвитку творчих здібностей учнів, може сприяти самовираженню і самопізнанню, дозволяючи учням краще зрозуміти свої сильні та слабкі сторони, інтереси та здібності. Використання ігрових технологій у навчанні дозволяє вчителю стати посередником між знаннями та учнем, створюючи середовище, де учні можуть вчитися через взаємодію та досвід;

Ж.-Ж. Руссо підкреслював важливість навчання через безпосередній досвід, а не через пасивне засвоєння знань. Гра є одним з найефективніших способів здобувати знання та навички через практичний досвід і активну участь. Він наголошував на важливості гри в ранньому віці, оскільки гра є природною діяльністю для дітей, яка сприяє їхньому фізичному, розумовому і соціальному розвитку. Руссо вважав, що ігрові ситуації часто вимагають від дітей приймати рішення, оцінювати ситуації і вирішувати проблеми, що сприяє розвитку цих навичок.

В Україні також є чимало вчених, які досліджують і розвивають ідеї використання ігрових технологій у навчанні: О. Дерев'янка, Л. Падалка, О. Крамаренко, І. Гончарук та інші. Українські вчені активно працюють над впровадженням ігрових технологій у навчальний процес, розробляючи методики, програми і курси, які роблять навчання більш захоплюючим, ефективним і відповідним до сучасних потреб учнів

**Постановка завдання** – використання ігрових та інформаційно цифрових технологій для покращення навчального процесу.

**Виклад основного матеріалу.** Використання лише традиційних методів навчання в сучасній школі все частіше вважається недостатнім. Щоб задовольнити різноманітні потреби учнів та підтримувати високий рівень їхньої зацікавленості, вчителі використовують гру як ключову освітню стратегію. Зміщення в бік ігрового навчання стимулюється зростаючою кількістю досліджень, які підкреслюють його ефективність у покращенні розуміння та запам'ятовування учнями матеріалу.

Ігрове навчання використовує привабливість ігор для підсилення сприйняття навчального контенту через залученість, негайну винагороду та здорову



конкуренцію. Цей метод має особливу перевагу, оскільки він добре узгоджується з навичками цифрової грамотності, яких учні набувають з раннього віку завдяки поширенню технологій. Динамічний характер ігрового навчального середовища дозволяє закріплювати старі концепції та впроваджувати нові в інтерактивний та ефективний спосіб. Крім того, ігрові методи можна адаптувати на всіх освітніх рівнях – від дошкільної освіти до вищої освіти і далі – незалежно від навчального середовища. Де і як вчитися також не має значення: учні можуть вчитися за допомогою онлайн-ігор, особисто з фізичними об'єктами, самотійно або в команді.

Дидактичні ігри відіграють важливу роль у сучасній освіті, пропонуючи унікальні можливості для активного навчання та розвитку навичок учнів. Ці ігри служать не просто засобами розваги, а мають визначену навчальну мету, дозволяючи учням засвоювати нові знання та навички через практичний досвід та взаємодію.

Рольові ігри займають особливе місце у дидактичному процесі завдяки своїй здатності моделювати соціальні взаємодії та формувати емпатію і комунікативні навички. Вони дозволяють учням приміряти на себе ролі, які імітують реальні сценарії або абстрактні поняття, сприяючи глибшому розумінню та засвоєнню матеріалу. Рольові ігри являють собою групову освітню діяльність, в рамках якої учасники заняття дотримуються визначеної рольової структури. Така структура передбачає виконання визначених ролей, що регулюють поведінку і дії учнів. В педагогіці прийнято ділити рольові ігри, на навчально-рольові та ділові. Основною метою навчально-рольових ігор є забезпечення глибокого аналізу певної проблеми за допомогою навчальних ролей. Ділова гра, в свою чергу, має на меті відтворення реальних ділових та повсякденних ситуацій, де учні виступають у ролях, що відображають дійсність, а не навчальні умовності. Ділові ігри занурюють учасників у контекст професійної діяльності, де вони можуть випробувати себе в ролях менеджерів, підприємців, аналітиків та інших фахівців. Вони здатні відіграти ключову роль у формуванні практичних умінь і навичок, необхідних для успішної кар'єри, дозволяючи учням краще розуміти специфіку роботи в певній професійній сфері і розвивати відповідні компетенції. При вивченні інформатики рольові ігри можуть імітувати процеси розробки програмного забезпечення, сценарії кібербезпеки, проблеми управління даними та багато інших професійних ситуацій. Виконуючи ці ролі, учні можуть ефективніше засвоювати складні поняття, такі як дизайн алгоритмів, логіка програмування, архітектура системи та ін.

Наведемо декілька прикладів рольових ігор, які можуть бути впроваджені в навчальний процес на уроках інформатики:

*Ділова гра "Code Quest".* Учні беруть на себе ролі менеджерів проєктів, розробників та тестувальників для розробки програмного забезпечення. Ця гра включає етапи планування, кодування, тестування та налагодження, що відображає життєвий цикл розробки програмного забезпечення. Гра дає розуміння управління проєктами, важливості кожного етапу розробки та інтеграції роботи в команді.

*Рольова гра "Захисники мережі".* Учні грають ролі експертів з кібербезпеки, перед якими стоїть завдання захистити мережу від змодельованих кібератак. Вони повинні розробити стратегію захисту конфіденційної інформації, зберігаючи при цьому функціональність системи. Гра дає уявлення про складності кібербезпеки, заохочуючи критичне мислення та навички вирішення проблем, пов'язаних з реагуванням на загрози в режимі реального часу та управлінням безпекою системи.

*Рольова гра "Королівство даних".* Кожен учень або група учнів представляють різні структури даних (наприклад, масиви, зв'язані списки, дерева, графіки)

і повинні вирішувати проблеми, пов'язані з вхідними даними, використовуючи унікальні властивості своєї структури.

Рольові ігри – це більше, ніж просто освітні інструменти; це трансформаційний досвід, який готує учнів до майбутніх викликів у світі, керованому технологіями. Моделюючи реальні сценарії, сприяючи командній роботі, заохочуючи творчі рішення та інтегруючи найсучасніші технології, ці ігри роблять вивчення інформатики цікавим та ефективним.

Доведено, що застосування ігрових елементів в освітньому середовищі допомагає зменшити тривожність і знизити сприйняття складності контенту, роблячи навчання більш доступним і менш складним для учнів. Таке зниження стресу може призвести до кращої успішності та більш позитивного ставлення до навчання.

Загалом, стратегічна інтеграція ігрового навчання та гейміфікації в освітні програми не лише робить навчання більш інтерактивним і приємним, але й відповідає потребам сучасних учнів, що постійно змінюються. Ці підходи не просто роблять навчання цікавим, вони роблять його більш ефективним, індивідуалізованим і таким, що реагує на виклики, пов'язані з навчанням учнів у 21-му столітті. Поняття «гейміфікація» та «ігрове навчання» є схожими, але вони мають суттєві відмінності. В ігровому навчанні вчителі провадять навчальну діяльність через ігри, щоб освіжити старі концепції або закріпити нові. Використовуючи ігрові навички сучасних дітей, вчителі можуть створювати захоплююче навчальне середовище, яке підвищує залученість учнів. Гейміфікація ж передбачає включення елементів ігрового дизайну в неігровий контекст, через впровадження бальних систем, рейтингів та нагород для заохочення.

Розглянемо найпопулярніші ігрові технології навчання, які використовують ІКТ.

**Платформи для навчання програмуванню.** Спеціалізовані платформи для навчання програмуванню в ігровій формі відіграють ключову роль в знайомстві дітей зі світом програмування, забезпечуючи структуроване середовище, в якому учні можуть вивчати мови програмування та розвивати алгоритмічне мислення. Найвідомішою серед них є Scratch (<https://scratch.mit.edu>). Вона знайомить молодших школярів з програмуванням через інтерфейс кодування на основі блоків, роблячи створення простих ігор та анімації максимально простим і цікавим.

Ще однією подібною платформою є CodeCombat (<https://codecombat.com>), яка дозволяє вивчати програмування через проходження пригодницьких ігрових рівнів, на яких для вирішення завдань потрібно писати реальний код різними мовами програмування. Гра пропонує різні рівні складності, кооперативний та конкурентний режими, а також структуровані навчальні плани для вчителів.

**Віртуальні симулятори.** Віртуальні симулятори дозволяють відтворювати реальні ситуації та процеси у безпечному віртуальному середовищі, надаючи учням можливість зануритися у віртуальний світ, де вони можуть вирішувати задачі, досліджувати різноманітні сценарії та проводити експерименти без будь-якого ризику для реального світу. Яскравим прикладом такого симулятора є інструмент Cisco Packet Tracer (<https://www.netacad.com/courses/packet-tracer>), який дозволяє учням віртуально розробляти та усувати несправності мережевих моделей, що є безцінним для вивчення складних мережевих концепцій без використання реального обладнання.

VRobotSim (<https://vrobotsim.com>) – платформа віртуального моделювання робототехніки, яка дозволяє учням середньої та старшої школи програмувати та

тестувати роботів без використання фізичного обладнання. Платформа підтримує програмування як блоками, так і на Java, і включає такі функції, як завантаження власних роботів, реалістичні фізичні симуляції, а також низку навчальних ресурсів.

**Інтерактивні ігрові середовища.** Інтерактивні ігрові середовища поєднують механіку ігрового процесу з освітнім контентом, пропонуючи практичний підхід до багатьох шкільних предметів. Часто такі середовища базуються на популярних комп'ютерних іграх. Education Edition (<https://education.minecraft.net>) є спеціальною версією гри Minecraft, яка адаптована для навчальних цілей. Вона надає вчителям та учням інструменти для конструювання та дослідження світів, що можуть бути використані для вивчення різноманітних предметів, включаючи інформатику, математику, історію тощо.

Інтерактивні ігрові середовища, такі як Roblox Education (<https://education.roblox.com>) та Unity (<https://unity.com>), пропонують учням комплексну екосистему для розробки власних ігор і дозволяє їм застосовувати свої навички кодування та співпрацювати з іншими у віртуальному світі.

Платформи для створення інтерактивних навчальних ігор та вправ.

В мережі Інтернет можна відшукати багато подібних онлайн-інструментів, що дозволяють вчителям створювати інтерактивний навчальний контент у вигляді ігор, вікторин, головоломок, симуляцій та мультимедійних презентацій без необхідності глибоких знань програмування. Платформа Educaplay (<https://educaplay.com>) дозволяє створювати різноманітні мультимедійні ігри, вікторини, головоломки, вправи на відповідність без необхідності програмування. Сервіс Kahoot! (<https://kahoot.com>) спеціалізується на створенні вікторин та інтерактивних опитувань з елементами гейміфікації.

**Робототехніка.** Роботи вже самі по собі асоціюються з грою і технологіями. Робототехніка є чудовим засобом для вивчення комплексних технічних та інженерних концепцій у захопливий та інтерактивний спосіб. Чудовим прикладом можуть бути роботизовані конструктори LEGO Mindstorms: Ці набори дозволяють учням будувати і програмувати роботів за допомогою конструктора LEGO, датчиків і двигунів, сприяючи розумінню робототехніки, інженерії та програмування. Подібно до LEGO, VEX Robotics пропонує набори робототехніки, але з акцентом на старших школярів, у тому числі старшокласників і студентів, пропонуючи їм складніші конструкції та змагання.

**Віртуальна і доповнена реальність.** Останніми роками зростає застосування віртуальної реальності (VR) і доповненої реальності (AR) в навчальному процесі, пропонуючи досвід занурення, який неможливо відтворити в традиційному навчанні.

Віртуальна реальність надає учням повністю імерсивне 3D-середовище, що дозволяє їм візуалізувати та взаємодіяти зі складними поняттями у спосіб, що краще відчувається. Наприклад, додатки віртуальної реальності можуть імітувати архітектуру комп'ютерних мереж, дозволяючи учням досліджувати і маніпулювати віртуальними образами маршрутизаторів, комутаторів і серверів, отримуючи глибше розуміння принципів побудови мереж.

Доповнена реальність, накладає цифрову інформацію на фізичний світ, підсилюючи навчальний процес інтерактивними та контекстними елементами. Одним із цікавих прикладів може бути використання доповненої реальності при вивченні комп'ютерного обладнання та архітектури. Учні можуть навести камеру свого пристрою на фізичний компонент комп'ютера, а додаток доповненої реальності накладе додаткову інформацію.

**Цифрові інструменти гейміфікації.** Інструменти гейміфікації включають елементи ігрового дизайну в неігровий контекст, підвищуючи мотивацію та залученість, використовуючи рейтинги, бали, нагороди та значки досягнень для заохочення до навчання. Яскравим прикладом слугує додаток Duolingo (<https://uk.duolingo.com>). І хоч він призначений для вивчення мов, його модель гейміфікації є чудовим прикладом, який можна адаптувати для вивчення практично будь-якого предмету. Платформа Classcraft (<https://www.classcraft.com>) перетворює навчання на рольову гру, де учні отримують досвід, нагороди та проходять квести.

Сфера освітніх ігрових технологій постійно розвивається, регулярно з'являються нові додатки і технології. Ці технології відкривають захоплюючі можливості для майбутнього освіти, обіцяючи зробити навчання більш інтерактивним, цікавим і пристосованим до індивідуальних потреб. Оскільки освітяни та розробники продовжують досліджувати потенціал цих інструментів, ми можемо очікувати на подальші інновації, які в майбутньому змінять спосіб викладання та вивчення інформатики та інших предметів.

**Висновки.** В статті розглянуто інтерактивні методи навчання з елементами гри та проаналізовано роль ігрових технологій як складової частини педагогічних технологій. Проаналізовано значення дидактичних ігор у сучасній освіті, зокрема рольових і ділових ігор, які сприяють активному навчанню. Виявлено, що рольові ігри ефективно моделюють соціальні взаємодії та формують комунікативні навички, а ділові ігри допомагають засвоїти практичні уміння для професійної діяльності.

Встановлено, що використання гри як методу навчання підтримує високий рівень зацікавленості учнів та сприяє ефективному засвоєнню матеріалу. Проаналізовано відмінності між гейміфікацією та ігровим навчанням, показано їхню роль у покращенні мотивації, зниженні стресу та адаптації навчального процесу до індивідуальних потреб учнів. Виявлено значний потенціал цих підходів для трансформації традиційних методів викладання та підготовки учнів до викликів сучасного світу.

В статті охарактеризовано основні ігрові технології, що використовуються в поєднанні з ІКТ для покращення навчального процесу. Проаналізовано використання спеціалізованих платформ для навчання програмуванню, віртуальних симуляторів, інтерактивних ігрових середовищ, інструментів для створення навчальних ігор, робототехніки, а також технологій віртуальної та доповненої реальності. Визначено, що така інтеграція сприяє створенню імерсивних та інтерактивних навчальних середовищ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бойко А.М., Дем'яненко Н.М. Педагогічна спадщина А. Макаренка в контексті загальнопедагогічної підготовки вчителя / Педагогіка і психологія. 1998. № 1. С. 162-168;
2. Спірін О.М. Інформаційно-комунікаційні та інформатичні компетентності як компоненти системи професійно-спеціалізованих компетентностей вчителя інформатики./ Інформаційні технології і засоби навчання. 2009. №5 (13).
3. Биков В., Лещенко М. Цифрова гуманістична педагогіка відкритої освіти / Теорія і практика управління соціальними системами. 2016. № 4. С. 115-130.

### REFERENCES:

1. Boyko A.M., & Demyanenko N.M. (1998) Pedagogichna spadshuna A. Makarenka v konteksti zagalnopedagogichnoi pidgotovky vchytelya [Pedagogical heritage

of A. Makarenko in the context of general pedagogical teacher training]. *Pedagogika i psykologiya – Pedagogy and psychology*. (Vols.1), (pp 162-168) [in Ukrainian].

2. Spirin O.M. (2009) Informacyino-komunikaciyni ta informatichni kompetentnosti yak komponenty systemy profesiyno-specializovanyh kompetentnostey vchytelya informatyky [Information, communication and informatics competences as components of the system of professional and specialized competences of a computer science teacher]. *Informatsiini tehnologii I zasoby navchanya – Information technologies and teaching aids*. (Vols.5(13)) [in Ukrainian].

3. Bykov V., & Leshchenko M. (2016) Cyfrova gymanistychna pedagogika vidkrytoi osvity [Digital humanistic pedagogy of open education]. *Teoriya I praktika upravlinia socialnyimi systemamy – Theory and practice of managing social systems*. (Vols. 4), (pp 115-130) [in Ukrainian].

UDC 004.428

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.8>

## ADVANTAGES AND RISKS OF USING OPEN-SOURCE LIBRARIES IN COMMERCIAL DEVELOPMENT

**Khambir V. R.** – Master,

Principal Software Engineer, CapitalOne, USA

ORCID ID: 0009-0008-6812-2422

*In the evolving landscape of digital libraries, the integration of Open-Source Software (OSS) presents a compelling avenue for enhancing service efficiency while curbing operational costs. This paper delves into the alignment of open-source principles with the foundational goals of libraries, underscoring the pivotal role of OSS in democratizing access to information and safeguarding intellectual property. Amidst the plethora of software options available for library management, the paper emphasizes the necessity of discerning the suitability of OSS for digital library applications, a decision critical to the continued growth and success of the open-source paradigm. The research extends beyond previous studies by offering a nuanced exploration of the functional and commercial benefits and drawbacks of OSS as perceived by management within the ESSS sector. It highlights the technical merits of OSS, such as enhanced reliability, security, and performance, attributed to the ability to scrutinize and modify the source code—advantages that notably surpass those offered by proprietary counterparts. The study also identifies parallel gains in the business domain, including the avoidance of vendor lock-in and the fostering of collaboration and innovation, which resonate with the technical benefits. The investigation reveals that certain technical challenges previously associated with OSS, such as compatibility issues and user-friendliness, do not pose significant obstacles for practitioners. Conversely, the study uncovers that the business disadvantages linked to OSS, although mirroring the technical concerns, present more substantial hurdles. In conclusion, the paper contributes a comprehensive assessment of the advantages and risks associated with the adoption of OSS in commercial development, offering valuable insights for practitioners and decision-makers in the realm of digital library services. It underscores the importance of balancing the technical and commercial considerations to harness the full potential of OSS, thereby shaping a future where open-source solutions are integral to the infrastructure of information access and preservation.*

**Key words:** Open-source software, Libraries, Commercial Development, Software Management.

### **Хамбір В. Р. Переваги та ризики використання бібліотек із відкритим вихідним кодом (open-source) у комерційній розробці**

*В еволюції цифрових бібліотек інтеграція програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом (OSS) представляє переконливий шлях для підвищення ефективності обслуговування при скороченні операційних витрат. У цій статті розглядається узгодження принципів відкритого коду з основними цілями бібліотек, підкреслюється ключова роль OSS у демократизації доступу до інформації та захисті інтелектуальної власності. Серед великої кількості варіантів програмного забезпечення, доступних для управління бібліотеками, у статті наголошується на необхідності визначення придатності OSS для програм цифрових бібліотек, рішення, яке має вирішальне значення для подальшого зростання та успіху парадигми відкритого коду. Дослідження виходить за рамки попередніх досліджень, пропонуючи детальне дослідження функціональних і комерційних переваг і недоліків OSS, як їх сприймає керівництво в секторі ESSS. У ньому висвітлюються технічні переваги OSS, такі як підвищена надійність, безпека та продуктивність, що пояснюються можливістю ретельного вивчення та модифікації вихідного коду – переваги, які значно перевершують ті, що пропонуються запатентованими аналогами. Дослідження також визначає паралельні переваги в бізнес-сфері, включаючи уникнення прив'язки до постачальника та сприяння співпраці та інноваціям, які перегуковуються з технічними перевагами. Розслідування показує, що певні технічні проблеми, які раніше були пов'язані з OSS, такі як проблеми сумісності та зручності користувача, не становлять значних перешкод для практиків. Навпаки, дослідження показує, що недоліки бізнесу, пов'язані з OSS, хоча й відображають технічні проблеми, представляють більші значні перешкоди. Підсумовуючи, у статті міститься всебічна оцінка переваг і ризиків, пов'язаних із впровадженням*

*OSS у комерційну розробку, пропонуючи цінну інформацію для практиків і осіб, які приймають рішення у сфері цифрових бібліотечних послуг. Це підкреслює важливість збалансування технічних і комерційних міркувань для використання повного потенціалу OSS, тим самим формуючи майбутнє, де рішення з відкритим кодом є невід'ємною частиною інфраструктури доступу до інформації та її збереження.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, бібліотеки, комерційна розробка, управління програмним забезпеченням.

**Introduction.** Open-Source Software (OSS) gives libraries efficient solutions to reduce the cost of their services. The remarkable similarities between the goals of open-source and libraries highlight the significance of using free and OSS in libraries. The libraries provides free services to all community members; it does not seek financial gain but rather to protect the intellectual property of literature owners and grant new rights to deserving authors. Additionally, it seeks to help people access information that is beyond their reach and that they would not otherwise be able to obtain. It is currently impossible to ignore the use of OSS in libraries. With so many software programs available to handle every aspect of libraries operations, it is important to determine which of these programs are appropriate for usage in digital libraries. Determining early success is critical to the open-source movement's sustained development and expansion [1].

**Definitions.** Let's define the terms for the discussion as follows:

"Open Source" refers to a style of software licensing in which the program's source code is usually made accessible to users free of charge, with conditions that permit addition, modification, and redistribution—though sometimes with certain limitations. A variety of organizations may offer the software's support, training, upgrades, and other services, increasingly through commercial agreements. Open-source software is frequently, though not always, created via teamwork, with several people contributing different parts of the finished product. Software companies are increasingly donating in-house projects and compensated programming time to the free software community [2].

"Commercial Software" refers to the paradigm in which software created by a business is normally licensed in object, binary, or executable code to a client (either personally or via channels) for a charge. The business frequently offers consumers the assistance, instruction, upgrades, and other services of a similar kind that they require in order to utilize the program effectively. The software's source code is typically not disseminated to everybody and may only be replicated or modified in accordance with the procedures specified in such agreements. However, it could be made readily accessible to specific users of the application under special licenses or other arrangements [3].

Every one of these software models has the potential to become a successful business plan for software firms and provide tangible benefits to clients. Businesses are rapidly figuring out how to accept both models and let them coexist as they are not mutually exclusive. Some proprietary operating systems platforms, for instance, have profited from open-source development by embracing an open-source strategy for the system's lower tiers (like device drivers) while maintaining private features for the higher tiers (like the user interface). With this strategy, more attention can be paid to the design of the more advanced elements, where innovation may benefit clients more broadly. On the other hand, some software developers have given their commercially produced software to the open-source industry so that open-source solutions may run across more platforms. The IT ecosystem has benefited greatly from increased rivalry and a greater variety of competitively priced servers and desktop platform options. Software companies concentrate on and significantly improve on new challenges such resolving security and dependability concerns, as software solutions continue to advance [4].

**Understanding open-source and commercial software.** Both commercial and OSS techniques have advantages and disadvantages of their own, and depending on the context in which they are used, they may provide users a variety of benefits with trade-offs. Commercial off-the-shelf software products have been on the market for a long time, providing users with a large range of computer features and enormous productivity improvements. Larger enterprises' complicated business running requirements, which generic off-the-shelf products might not be able to sufficiently fulfill, have also been satisfied by customized commercial software solutions. Commercial software providers are always working to create products that are user-friendly, highly functional, and responsive to client requests, Value for funds and reinforced by a services ecosystem in response to the needs of clients who might not be technologically inclined and prefer hassle-free problem solving. For many years, open-source license has been around, mostly at academic and research institutions. Due to the commercial support or corporate backing of OSS in the market, it has garnered more attention in the recent past [5].

Customers now have access to a large variety of software options and providers, even in markets where there have historically been few rival solutions. Because it permits them to freely copy, alter, and subsequently redistribute the source code, some people choose open source. People who desire to change the program source code are drawn to features like these, for instance, in environments where a great level of customization can be necessary or in educational environments where experimenting is the main goal [5].

Being involved in a software development community may help members form collaborations and exchange ideas, which can help them forge important connections with developers outside of their own organizations. Through official and informal sharing, developers of both commercial and open-source software strive to establish these communities. Open standards, which are not to be confused with open-source software, are adopted by both user and developer communities because they may quickly improve interoperability [3, 4].

Users of software today have more alternatives at their disposal. User settings frequently employ a combination of commercial and open-source software platforms and apps to satisfy various needs. The rivalry amongst software suppliers has increased the software industry's responsiveness to customer requirements, which ultimately benefits customers by offering them more alternatives and more affordable solutions. We will study commercial and OSS from three angles: development, licensing, and business in order to gain a deeper understanding of both models [4].

**Business.** Businesses are able to continue because they make money from what they do. Profit margins are the main metric used by shareholders to assess company success. Although the business strategies of companies that sell commercial and open-source software differ somewhat, both types of companies need to figure out how to generate steady income. The economic viability of developing software only for its own sake is questionable. Since commercial software companies rely on customers licensing their product, they concentrate on the features, functionality, and innovation of their software in order to fulfill the demands of their clients. When new software releases offer enhanced features, functionality, and value, customers buy the updated versions. This incentive creates a huge flow of funding for research and development into new software, which leads to increased productivity, decreased operating costs, and new learning resources [6].

The hardware and support services that open-source manufacturers bundle around open-source software and charge for are how they make money. For example, several

---



businesses sell OSS packaged with their server or personal computer hardware. The businesses offer this hardware and charge extra for the services they render to make their hardware and software compatible. A further illustration would be a system integrator that generates income by developing unique solutions for clients with pre-existing OSS as a foundation, and billing the clients for the time and materials needed to make the adjustments required to satisfy the particular needs of the user. An alternative business strategy involves making an open-source program available for free download and turning the user base into paying clients for a fully functional version. In some cases, combining development resources to support an emerging technology may offer an OSS provider rigid indirect revenue or advantages, such as through the sale of their hardware and/or commercial software that is offered in addition to the OSS [7].

**Development.** The methodology used in software development is another element that has historically set open-source and commercial software apart. This is accelerating in evolution and convergence as elements of one model are incorporated into the other. Traditionally, the major code development utilized by commercial software development teams has taken place inside the boundaries of a single business or unit. When it comes to open-source development, there is usually a framework in place to allow for the participation of several stakeholders. This duality is merging into a single developmental model. Commercial teams of software developers nowadays have created frameworks for working together to produce software with teams located all over the world.

Additionally, there are OSS solutions developed by a single business or programmers supported by for-profit companies. Only one or two major contributors keep these open-source systems up to date. The fundamental development process shared by both commercial and open-source development methodologies is iteration–design, standards, coding, testing, release, and feedback. A core group of programmers creates the application and distributes it to the community for early testing. After using the application, the beta testers notify the programmers of any flaws and suggested fixes. Before the application is made publicly available, the programmers make changes to the source code to address the issues found [8].

A suitable framework that supports the creation of software by several teams or contributors and their varied viewpoints can speed up innovation, optimization, vulnerability-fixing, and time to market, according to years of experience in the field. Such frameworks are used in many of today's software development projects by both commercial and open-source software development teams. Both the open-source and commercial development platforms help programmers advance their personal development and skill sets. For many years, fundamental ideas in computer science have been presented in textbooks. Since these texts are regularly updated, students have access to an abundance of published material.

Over a long time since applications was first written, traditional education techniques based on such literature have created proficient developers. The secret is not that students have access to source code that they can simply copy from, but rather that professors and educators are good in imparting significant concepts to students in a way that teaches them how to develop their own code to implement those concepts. When they tackle challenging or complicated challenges, skilled programmers can become recognized for their personal contribution to software development, regardless of whether they are using commercial or open-source software models [9].

**Licensing.** The licensing of software is the most fundamental distinction between both the open-source and commercial software models. Commercial software providers usually follow the conventional software licensing model, in which a consumer pays

a price to use the program. Generally, the license only allows the consumer to use, copy, or modify the program in accordance with its conditions. The freedom to alter and redistribute the program are among the common characteristics of OSS, which is made accessible under a range of license schemes. As with commercial software, the license agreement is based on the copyright included in the software. Permissions and rights are given with certain restrictions.

Generally speaking, these terms limit the software's future modifications and distribution options rather than demanding payment for the program. The Berkeley Software Distribution (BSD) License<sup>7</sup> and the GNU General Public License (GPL)<sup>6</sup> are the two main methods of licensing open-source software. All software derivatives and later iterations must be licensed and distributed under the same conditions as the original program under the GPL. The GPL-covered source code is perpetually covered by the GPL. The creators of the GPL intended for it to be perpetual, which limits the ways in which developers working on GPL software can create, distribute, or market goods utilizing GPL source code. Developers may also encounter other difficulties, such as figuring out if software created on a GPL platform for software qualifies as a derivative work covered by the GPL [10].

**Open-source Digital libraries Software.** "Linux is a cancer that adheres itself to anything it touches in the sense of intellectual property." Ballmer cited Linux as an example of a program that makes use of the GNU General Public License (GPL), which is owned by the Free Software Foundation. His major "issue" was that, if open-source software is utilized in the creation of new software, the GPL requires the software developer to make their code publicly available as well. Not to add that the GPL went into effect in 2007, which allayed Ballmer's worries about the updated version. Microsoft's aversion to open-source software reversed course in the 2010s and they began to support this new strategy. This is just one example, but since it concerns Microsoft's perspective, it's an important one. Further details on the increasing popularity of open-source software will be provided in the paper's following part. This will lead to a detailed explanation of the numerous benefits and drawbacks of adopting OSS at a business level. The firms that utilize open-source software and the circumstances in which using OSS makes sense are covered in the subsequent sections. The businesses included in this section are essential to the creation and upkeep of the OSS that drives modern commerce [11, 12].

**Microsoft.** As was previously indicated in the report, Microsoft was the firm that resisted open-source software the most, but they have now changed their stance and begun to support it. Microsoft had the most workers that contributed to GitHub projects compared to other companies in 2016. It now collaborates with other top open-source businesses like Red Hat. Several of its most well-known programs, such as the CNTK deep learning toolkit, TypeScript, Redis, Visual Studio Code, PowerShell Code, and .NET development tools, were also made available as open-source projects. Along with supporting Linux on its web-based computing service, it develops software across several platforms [13].

**IBM.** One of the main companies that contributed to the Linux kernel was IBM. It also established and contributed to several other open-source projects, including OpenWhisk, Project Intu, and LoopBack. Most recently, it published the WebSphere Liberty project under the Eclipse Public License. Additionally, IBM sponsors or is a member of several prominent open-source foundations, such as the OpenStack Foundation, the Apache Software Foundation, the Eclipse Foundation, and the Linux Foundation [14].

---

**Intel.** With a 12.9% contribution percentage to the Linux kernel in 2016, Intel was the corporation most actively involved in kernel development. It also sponsors and participates in a number of open-source foundations, including as the OpenStack Foundation, the Eclipse Foundation, and the Linux Foundation, just like IBM does [15].

**Google** has published more than 2000 open-source projects and made contributions to them. On the list of the top GitHub contributors in 2016, it was ranked sixth. Angular, which ranked fourth on the same list, is also owned by Google. Google has several well-known open-source projects, including TensorFlow, Android, Kubernetes, Dart, and Chromium [16].

**Facebook.** In 2016, Facebook rose to prominence as a provider of open-source hardware and software, with the second-highest GitHub contributor count. Its most well-known open-source initiatives are Relay, Flow, HHVM, and the JavaScript development tools for React and React-native. [8] 4.6 Docker with over 8 billion downloads, the Docker containerization technology has become one of the most popular open-source projects for business customers and has emerged as one of GitHub's most downloaded repositories. Docker software is particularly popular among firms employing agile and DevOps methodologies, and the company states, "On average, companies utilizing Docker report a 7X boost in the number of times they're capable of shipping software [17]."

**Adobe.** With more than 250 publicly accessible repositories on the GitHub site, Adobe has demonstrated its strong dedication to open-source. Developer tools such as the PhoneGap web design structure, the Brackets text editor, and the Topcoat CSS libraries are among its most well-known open-source products. Additionally, members of the Adobe team frequently contribute to several other open-source projects, including Flex, Felix, Apache Cordova, Gecko, Blink, and WebKit [12].

**Formulation of the problem.** In the field of developing commercial software, the linkage to open-source libraries is commonly performed. This approach provides scores of advantages for depending on it, including, but not limited to: The reduction of the costs required for successful development; The ability to speed the development process; The availability of a remarkable number of innovations created by the community. But it came with a new set of problems such as security problems, license problems, and problem of dependency. This paper discusses that currently there is the problem of a lack of a clear understanding of the extent of using open-source components and corresponding opportunities and threats in various commercial projects.

This research aims at providing a critical review and assessment of the consequences associated with the implementation of open-source libraries in developing and creating business-oriented software products. The study thus seeks to embrace not only the advantages of adopting open-source libraries but also the disadvantages where by this detailed investigation will enhance the perception developers, project managers and decision makers will enjoy as they make decisions on the necessity of integration of open-source libraries into decisions. Therefore, the findings of the research will help in advancing the current knowledge on how to optimally implement open-source software without the bearing the negative consequences of free software, thus improving on the usage of open-source solutions by the commercial world.

**Purpose of the study.** Open-source libraries have been employed in commercial software development and this study aims at ascertaining the benefits realized together with the danger of engaging in such practices. It is supposed to evaluate advantages, like the lower cost of manufacturing and getting access to modern technologies, and threats, like the compromising of security and the violation of the licensing agreement. Thus, this study aims at looking at the effects on the development processes in order to

understand the recommendations and procedures for integration. These results will be of great value for the developers and managers who will be able to improve the strategic application of open-source resources. It is thus safe to say that this research benefits the existing literature on open-source software by being one of the few that links theory to practice within the commercial realm.

**Research analysis.** While earlier developers considered OSS elements to be a non-cost delivery method, it gradually evolved to the proposition where business organizations have to invest time into using them. Thus, it made the ease of software customization and the possibility of turning to community/commercial sources as a priority when it comes to comparing different software [18]. The routine scanning for license compliance with the SBoM for software is being integrated by the use of SPDX; instance, by Siemens AG [19], OSTG [20], the Linux Foundation [21]. Most studies that have been conducted in the last few years have addressed various phases in the adoption of OSS components.

On the other hand, the usage and the degree of companies' engagement with OSS components have grown higher, however, there are limited sources available describing the practices follow in companies to support the OSS components' adoption. Some of the more formalized schemes for evaluating OSS software described 10 years ago by Yilmaz et.al (2022), their contemporaries have now disappeared from the academic and practitioner discussion and more recent studies have revealed that trends regarding the attitudes of the businesses toward the OSS components are evolving [22]. The most important factors for developers were the flexibility of software modification, the presence of available support from either the community or from a paying source; the most important factor for their managers was commercial support. As for the other elements, which were considered less but still relevant important, these were quality, flexibility, maturity and reliability [18].

The idea of OSS component adoption is not as straightforward as looking for functionally suitable software as the case might imply [23]. Companies have to make additional decisions, for instance, the software licence of the component taking into account the licensing strategy of the business [23]. A current initiative to create such structure is the Linux Foundation's Open Chain project [24], which has developed some standard, including SPDX, which does allow for automated compliance checking, for instance [25].

Fendt and Jaeger (2019) and Harutyunyan et al. (2019) discuss the issue of the extensive large software product containing OSS licensed components. Fendt and Jaeger (2019) explain the case of Siemens AG in terms of integrating the tool chains for the license compliance checking into CI/CD. One consideration is that the procedure for clearances of the license or the determination of the licensing of source code rather than accepting the word of the packager is costly and in a rich SBoM has to be carried out only once per package [19, 26]. Following are the summaries of the problem by Riehle and Harutyunyan (2019), some solutions and some of the research questions that remain unanswered. Yes, automation can be used but solutions now are constrained hence more tools need to be created [26].

### **Main presentation: Advantages and Disadvantages of Open-source libraries**

Both the advantages and disadvantages of OSSs are many. However, the benefits outweigh the disadvantages. The next sections address the advantages and disadvantages.

#### **Advantages of OSS**

OSS's have more benefits over proprietary software's. Some of the advantages are as follows:

---

- **Error free software:** Like in computational programming there are multiple chances that the software might crash or any other bugs that occur, it is always preferred to be given the source code of the program so that anyone can handle the occurrence of the errors. This is an advantage against the commercial software's where modifications are done by either only professional and we have to wait until they resolve the issue and come with a solution. The only course of action that a user can take here is to inform the developer about the problem, for these reasons OSS are more flexible and errors are more quickly handled than in Commercial software's [27].

- **Availability of source code:** One of the major components of the current procedure is the source code, and it cannot be utilized for commercial software's. In open-source, codes of source are available to all users by viewing while in the other types of software, it is only visible to a developer or a programmer [28].

- **Modification and Redistribution:** The most noticeable characteristic is, that not only the source code is delivered, but the source code can even be modified regarding our specifications. They can even be redistributed under the same conditions, and this would favor the future users [29].

- **Security purposes:** Even if these people do not know fundamental facts about software, they try to convince people that closed software are safer than OSS which is not true for people who know about OSS and its advantages over closed software. For security and merely for maintenance of the OSS it is mandatory to state your OSS with the license terms. And the same terms of usage and rules are provided if the given software is altered and redistributed [30].

- **Customization:** However, when it comes to active usage of software in an institutional framework, there is always a requirement of a person having a copy of a particular software. This is due to the fact that whenever we are handling commercial software we are at a disadvantage of having no individual modeling of the particular software. As with a point of view, we are always expected to call to the developer any time we want to make any changes to the software, which is time consuming and costly each and every time we get to consult the programmer. The advantage of OSS is that in utilizing OSS we are able to incorporate any language that we like which is not possible in commercial software [30].

- **Avoiding Lock-in:** It becomes costly high in any time when that organization is already using software then every time if it wants to opt for software then it becomes high cost and the organization is bounded or we can also say locked. To get bounded to software which was adopted for doing a job is not a deal of being satisfied with, in regards an institute. Software have their lifespan unless there is another one with some new flexibility feature in the market. OSSs do not contain such types of locks and the user can use any particular software when they desire [31].

- **Costs:** Normally OSS is free and in case of sometime training, support or maintenance charge is very minimal, in fact which is also incomprehensible by any small institute [32].

### **Disadvantages of OSS**

There are very less disadvantages of OSS's. Some of them are mentioned as follows:

- **Warranty validity:** The warranty clauses are as follows but they are valid for certain conditions. For instance, if the customer experiences a problem with the code during modification, then what he or she is experiencing disqualifies the warranty sentences [33].

- **No development guarantees:** An element of uncertainty is the fact that in a given period there might not be any development at all. If the code is not in action, implementations of the software on the other hand will be primitive. As far as any user

does not compile the source codes and does not make any changes in it, no growth of a software can be seen [34].

- Performance: The commercial software's may be faster than the OSS's, because it is receiving more traffic than the commercial software's. Thus, the highly profiled companies give preferences to the commercial software's rather than the OSS's [34].
- Maintenance costs: As it mentioned always it is free software most of the time 90% of the cost shows that it is just for the Maintenance [35].
- Trademarks: As for the OSSs developed by a given company, there are some of them do not desire to eradicate their trademark. This is a sort of deceptive Danish end user who needs to alter it, and once more resell it without trademarks [36].
- Certifications: The clients nowadays are in a position to pay for brands instead of choosing things that may be cheap, because the focus is on quality not the price. That is a known fact that commercial software's are very costly ones, but they may contain more efficiency than free software's [37].

Many of the advantages are the same as those reported in the literature, but some new information also emerged, such as the additional business functionality provided by OSS and the creation of de facto standards. Only two of the technical disadvantages of OSS that have been documented in the literature—compatibility problems and a lack of experience—are supported by the study's findings. It was shown, therefore, that the issue of lack of competence is typically more closely linked to an absence of knowledge about OSS. The main perceived disadvantages were found to be inadequate documentation, an excessive number of interfaces, limited functionality, and a deficiency of roadmaps (Tables 1-3).

Table 1

### Technical Benefits of OSS

Reliability	The majority of literature listed reliability as one of the primary technological advantages in terms of high application availability and dependability.
Security	The majority of literature felt that OSS offers superior security since it is readily available, poses less of a risk from viruses, and prioritizes security during the product design process. Two businesses believed that OSS would not improve security
Quality	Regarding improved quality from peer reviews and the caliber of developers and testers, the majority of literature said that quality was beneficial. According to two companies, this was limited to high-end, established OSS programs like Linux.
Performance	Literature mentioned having good capacity and fast performance. Three have not yet seen more proof of OSS's effectiveness, and two were unsure if OSS outperformed proprietary.
Flexibility of Use	Advantageous to the majority of literature because it permits flexibility, personalization, experimentation, and alteration
Developer & Tester Base	Very advantageous for the majority since it guarantees that OSS is current and of high-quality software.
Compatibility	Many stated that because OSS is very interested in preserving formats for improved interoperability, it helps to ensure compatibility. The remainder had not observed any proof of this or thought it was not worthwhile.
Harmonization	Enhanced standardization of procedures and activities related to interoperability

Table 2

**Business Benefits of OSS**

Low Cost	When it came to lower license costs, software upgrades, virus protection, and the overall cost of the package – that is, the software plus service – half of the literature thought this was advantageous. The other half believed there was no advantage at cheap cost.
Flexibility by licenses	Most people believe to have a major influence on lowering capital expenditure in businesses
Escapes vendor lock-in	Extremely advantageous for the majority since it allows for independence from commercial sellers, a sense of control, and freedom of choice. Two businesses believed that OSS may also be affected by vendor lock-in.
Increases collaboration	Increased cooperation is advantageous to most parties since OSS makes it easier to develop new products, cooperate and share expertise, creates new avenues for collaboration, and allows businesses to share costs.
Encourages innovation	The majority concluded that having access to the source code promotes more creativity by generating ideas and technical innovation while also expanding avenues for innovation.
Extra business functionality	Advantageous as it makes it possible to maintain small teams, which enhances output and communication
De facto standards	Not the only business taking action. It would be advantageous to create a standard that enables the business to concentrate on its core competencies.

Table 3

**Technical Drawbacks of OSS**

Compatibility Issues	Not implicitly disadvantageous but some businesses involvement compatibility difficulties with present technology, skills and tasks
Lack of Expertise	While it's true that the typical lay employee lacks experience, this might also be due to a lack of knowledge of OSS.
Poor documentation	Outdated documentation or maybe lost during development
Proliferation of Interfaces	Various builds frequently make it difficult to decide which one to use.
Less Functionality	Integration level inferior to that of Microsoft
Lack of Roadmaps	Makes it challenging for businesses to identify a strategic direction for the great majority of their goods. The majority of items lack a strategic purpose.

Table 4

**Business Drawbacks of OSS**

Lack of support	The majority said there was not any security since there was no organization to support it or any kind of help
Lack of ownership	It is impossible to hold someone accountable or liable for issues
Access to the source code	The possibility that certain employees would feel uneasy about disclosing source code. Lack of understanding on this matter
Insufficient marketing	OSS is not owned by a single entity, nor is there a marketing budget, therefore word-of-mouth advertising is the main source of OSS.

Continuation of table 4

Investments for training	Four businesses stated that Linux required more training expenditures than Windows. On the other hand, it was discovered that e obtains superior quality OSS training.
Finding the right staff/ competencies	Finding employees and developing their skills to work using OSS apps may be challenging.

It was discovered that managers face more difficulties dealing with the commercial disadvantages listed in Table 4 than they do with their technical equivalents. For instance, the bulk of the enterprises regarded a lack of help as a serious disadvantage. Teams of technicians from a few of the businesses are available for internal support. But for many smaller companies, this isn't always an option.

The research paper under consideration presents the reader with information on how artificial intelligence and computer programs have affected translation. It poses a question of whether any of the existing traditional approaches to the translation could be substituted with the machine-aided method and underline the importance of further analyzing and sharing the experiences of employing the new technologies in the field of translation. Machines, especially neural networks, are considered in the context of the translation, education, and work with the mention of the outcomes. Different authors pointed out that using machine translation it is possible to improve the educational process, but at the same time, the activity of a human translator should have to be preserved.

It also presents a brief on competencies necessary for translators in the new world and an acknowledgment of post-editing in machine translation. Machine and automated translations are discussed and weighed and the most common programs used for translation such as DeepL, Google Translate, and Microsoft Bing Translator are discussed. The features of such programs are:

- the languages the programs support,
- various translation limits,
- an overview of other functions.

The analysis results that have been underlined are the further discussion regarding the effects of AI and computer programs in translation, the future research and generalization of the application of the technological advancement in translation, the importance of the MT as an add-on for learning particularly in the classroom setting, the shift of competencies of translators in the new technological environment, the necessity of post-editing of the MT and the distinction between MA and automatic translation [38].

**Conclusions.** Finally, this paper has expanded on the former existing research reviews on OSS advantages and disadvantage for practitioners by discussing the functional and commercial advantages and disadvantages done by the managers in the firms in the ESSS. Whereas the features like having the source code and being able to modify it has contributed in defining many technical advantages such as reliability, security, flexibility of use and performance. Within it, it was also established that such benefits were far superior to those of proprietary software. The business gains established in the research were also equal to the interviewees' gains equivalent to technical gains particularly the vendor locking avoidance, collaboration, and innovation gains. Nonetheless the user support from a community is very advantageous to OSS as whoever is employing the software is served by a proactive community of believers ready to assist with queries. Out of the identified firms, only one considered possible business advantage of adopting OSS as user support from the community.



The remaining companies indicated that support from the third party such as consultants, professional software houses were more appealing. Some technical disadvantages discovered in prior studies; for instance: different versions, installation issues, security issues, OSS is not as friendly and getting support and updating of OSS were not found to be serious limitations by the subjects, unlike proprietary software, OSS is less user-friendly and there was little evidence of companies having installation issues. Last but not the least, the business impacts discovered into the study reveal a similar picture as seen in the research findings of previous studies. Nonetheless, these disadvantages seemed to be a higher thorn in the flesh according to OSS than with their technical counterparts.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Setia P., Bayus B. L., Rajagopalan B. The takeoff of open-source software: a signaling perspective based on community activities. *MIS Quarterly*. 2020. Vol. 44.
2. Albeladi S. S. The role of open-source software to create digital libraries and standards assessment. *International Journal of Computer Science & Network Security*. 2021. Vol. 21. P. 241-248.
3. Fortunato L., Galassi M. The case for free and open-source software in research and scholarship. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2021. Vol. 379. Article number 20200079.
4. Boeing G., Higgs C., Liu S., Giles-Corti B., Sallis J. F., Cerin E., et al. Using open data and open-source software to develop spatial indicators of urban design and transport features for achieving healthy and sustainable cities. *The Lancet Global Health*. 2022. Vol. 10. P. e907-e918.
5. Lenarduzzi V., Taibi D., Tosi D., Lavazza L., Morasca S. Open-source software evaluation, selection, and adoption: a systematic literature review. In *2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. IEEE, 2020. P. 437-444.
6. Kholod I., Yanaki E., Fomichev D., Shalugin E., Novikova E., Filippov E., et al. Open-source federated learning frameworks for IoT: A comparative review and analysis. *Sensors*. 2020. Vol. 21. P. 167.
7. Bonati L., Polese M., D'Oro S., Basagni S., & Melodia T. Open, programmable, and virtualized 5G networks: State-of-the-art and the road ahead. *Computer Networks*. 2020. Vol. 182. Article number 107516.
8. Harris I. Package development. In *Beginning Salesforce DX: Versatile and Resilient Salesforce Application Development*. Springer, 2022. P. 457-529.
9. Green C., Amundson J., Garren L., Gartung P., Sexton-Kennedy E. SpackDev: Multi-package development with spack. *EPJ Web of Conferences*. 2020. Vol. 245. Article number 05035.
10. Cardoso M. J., Li W., Brown R., Ma N., Kerfoot E., Wang Y. et al. Monai: An open-source framework for deep learning in healthcare. *arXiv*. 2022. Vol. 2211. Article number 02701.
11. Winata A. P., Fadelina R., Basuki S. New normal and libraries services in Indonesia: A case study of university libraries. *Digital Libraries Perspectives*. 2021. Vol. 37. P. 77-84.
12. Fox E.A., da Silva Torres R. *Digital libraries technologies*. Springer Nature, 2022.
13. Cowell J. Managing a libraries service through a crisis. *Libraries Management*. 2021. Vol. 42. P. 250-255.
14. Kiron D., Spindel B. *Rebooting work for a digital era: how IBM reimaged talent and performance management*. MIT Press, 2020.
15. Boemer F., Kim S., Seifu G., de Souza F.D.M., Gopal V. Intel HEXL: accelerating homomorphic encryption with Intel AVX512-IFMA52. *arXiv*. 2021. Vol. 2103. Article number 16400.

16. Kato A., Kisangiri M., Kaijage S. A review development of digital libraries resources at university level," *Education Research International*. 2021. Vol. 2021. P. 8883483.
  17. Chan T.T.W., Lam A. H. C., & Chiu D. K. From Facebook to Instagram: Exploring user engagement in academic libraries. *The Journal of Academic Librarianship*. 2020. Vol. 46. Article number 102229.
  18. Lenarduzzi V., Tosi D., Lavazza L., Morasca S. Why do developers adopt open-source software? Past, present and future. In *IFIP International Conference on Open-source Systems*. Montreal: HAL Science, 2019. P. 104-115.
  19. Fendt O., Jaeger, M.C. Open-source for open-source license compliance. In *Open-source Systems: 15th IFIP WG 2.13 International Conference, OSS 2019*. Montreal: HAL Science, 2019. P. 133-138.
  20. Geyer-Blaumeiser L. *Ensuring open-source compliance using Eclipse Foundation technology*. EclipseCon Europe, 2022.
  21. Azhakesan A., Paulisch F. Sharing at scale: an open-source-software-based license compliance ecosystem. In *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice*. ICSE-SEIP, 2020. P. 130-131
  22. Yilmaz N., Kolukisa Tarhan A. Quality evaluation models or frameworks for open-source software: A systematic literature review. *Journal of Software: Evolution and Process*. 2022. Vol. 34. Article number e2458.
  23. Spinellis D. How to select open-source components. *Computer*. 2019. Vol. 52. P. 103-106.
  24. Urbančok B. D. *Blockchain open-source software comparison*. Masaryk University Faculty of Informatics (MUNI), 2019. URL: <https://is.muni.cz/th/q98z/thesis.pdf>.
  25. Billimoria K. N. *Linux Kernel Programming: A comprehensive guide to kernel internals, writing kernel modules, and kernel synchronization*. Packt Publishing Ltd, 2019.
  26. Harutyunyan N., Bauer A., Riehle D. Industry requirements for FLOSS governance tools to facilitate the use of open-source software in commercial products. *Journal of Systems and Software*. 2019. Vol. 158. Article number 110390.
  27. Karampatsis R.-M., Babii H., Robbes R., Sutton C., Janes A. Big code!= big vocabulary: Open-vocabulary models for source code. In *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering*. IEEE, 2020. P. 1073-1085.
  28. Bonfield J.K., Marshall J., Danecek P., Li H., Ohan V., Whitwham A. et al. HTSLib: C libraries for reading/writing high-throughput sequencing data. *Gigascience*. 2021. Vol. 10. Article number giab007.
  29. Campos C., Elvira R., Rodríguez J. J. G., Montiel J. M., Tardós J. D. Orb-slam3: An accurate open-source libraries for visual, visual-inertial, and multimap slam. *IEEE Transactions on Robotics*. 2021. Vol. 37. P. 1874-1890.
  30. Wang Y., Chen B., Huang K., Shi B., Xu C., Peng X., et al. An empirical study of usages, updates and risks of third-party libraries in java projects, In *2020 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*. IEEE, 2020. P. 35-45.
  31. Diesch R., Pfaff M., Krcmar H. A comprehensive model of information security factors for decision-makers. *Computers & Security*. 2020. Vol. 92. Article number 101747.
  32. Bjork B.-C., Korkeamaki T. Adoption of the open access business model in scientific journal publishing: A cross-disciplinary study. *arXiv*. 2020. Vol. 2005. Article number 01008.
  33. Tang J., Li B.-Y., Li K.W., Liu Z., & Huang J. Pricing and warranty decisions in a two-period closed-loop supply chain. *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58. P. 1688-1704.
-

34. Grimaldi M., Greco M., Cricelli L. A framework of intellectual property protection strategies and open innovation. *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 123. P. 156-164.
35. Enkel E., Bogers M., Chesbrough H. Exploring open innovation in the digital age: A maturity model and future research directions. *R&d Management*. 2020. Vol. 50.
36. Bouncken R.B., Kraus S., Roig-Tierno N. Knowledge-and innovation-based business models for future growth: Digitalized business models and portfolio considerations. *Review of Managerial Science*. 2021. Vol. 15. P. 1-14.
37. Trischler M.F.G., Li-Ying J. Digital business model innovation: toward construct clarity and future research directions. *Review of Managerial Science*. 2023. Vol. 17. P. 3-32.
38. Нестеров В., Костенко В., Курасова Н. Технологічні інновації у перекладі: вплив комп'ютерних програм та штучного інтелекту. *Вісник науки та освіти*. Том 20. № 2. С. 261-273.

### REFERENCES:

1. Setia, P., Bayus, B. L., & Rajagopalan, B. (2020). The takeoff of open-source software: a signaling perspective based on community activities. *MIS Quarterly*, 44.
2. Albeladi, S. S. (2021). The role of open-source software to create digital libraries and standards assessment. *International Journal of Computer Science & Network Security*, 21, 241-248.
3. Fortunato, L., & Galassi, M. (2021). The case for free and open-source software in research and scholarship. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379, 20200079.
4. Boeing, G., Higgs, C., Liu, S., Giles-Corti, B., Sallis, J. F., Cerin, E., et al. (2022). Using open data and open-source software to develop spatial indicators of urban design and transport features for achieving healthy and sustainable cities. *The Lancet Global Health*, 10, e907-e918.
5. Lenarduzzi, V., Taibi, D., Tosi, D., Lavazza, L., & Morasca, S. (2020). Open-source software evaluation, selection, and adoption: a systematic literature review. In *2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* (pp. 437-444). IEEE.
6. Kholod, I., Yanaki, E., Fomichev, D., Shalugin, E., Novikova, E., Filippov, E., et al. (2020). Open-source federated learning frameworks for IoT: A comparative review and analysis. *Sensors*, 21, 167.
7. Bonati, L., Polese, M., D'Oro, S., Basagni, S., & Melodia, T. (2020). Open, programmable, and virtualized 5G networks: State-of-the-art and the road ahead. *Computer Networks*, 182, 107516.
8. Harris, I. (2022). Package development. In *Beginning Salesforce DX: Versatile and Resilient Salesforce Application Development* (pp. 457-529). Springer.
9. Green, C., Amundson, J., Garren, L., Gartung, P., & Sexton-Kennedy, E. (2020). SpackDev: Multi-package development with spack. *EPJ Web of Conferences*, 245, 05035.
10. Cardoso, M. J., Li, W., Brown, R., Ma, N., Kerfoot, E., Wang, Y. et al. (2022). Monai: An open-source framework for deep learning in healthcare. *arXiv*, 2211, 02701.
11. Winata, A. P., Fadelina, R., & Basuki, S. (2021). New normal and libraries services in Indonesia: a case study of university libraries. *Digital Libraries Perspectives*, 37, 77-84.
12. Fox, E.A., & da Silva Torres, R. (2022). *Digital libraries technologies*. Springer Nature.
13. Cowell, J. (2021). Managing a libraries service through a crisis. *Libraries Management*, 42, 250-255.
14. Kiron, D., & Spindel, B. (2020). *Rebooting work for a digital era: how IBM reimaged talent and performance management*. MIT Press.

15. Boemer, F., Kim, S., Seifu, G., de Souza, F.D.M., & Gopal, V. (2021). Intel HEXL: accelerating homomorphic encryption with Intel AVX512-IFMA52. *arXiv*, 2103, 16400.
  16. Kato, A., Kisangiri, M., & Kaijage, S. (2021). A review development of digital libraries resources at university level," *Education Research International*, vol. 2021, p. 8883483.
  17. Chan, T.T.W., Lam, A. H. C., & Chiu, D. K. (2020). From Facebook to Instagram: Exploring user engagement in academic libraries. *The Journal of Academic Librarianship*, 46, 102229.
  18. Lenarduzzi, V., Tosi, D., Lavazza, L., & Morasca, S. (2019). Why do developers adopt open-source software? Past, present and future. In *IFIP International Conference on Open-source Systems* (pp. 104-115). Montreal: HAL Science.
  19. Fendt, O., & Jaeger, M.C. (2019). Open-source for open-source license compliance. In *Open-source Systems: 15th IFIP WG 2.13 International Conference, OSS 2019* (pp. 133-138). Montreal: HAL Science
  20. Geyer-Blaumeiser, L. (2022). *Ensuring open-source compliance using Eclipse Foundation technology*. EclipseCon Europe.
  21. Azhakesan, A., & Paulisch, F. (2020). Sharing at scale: an open-source- software-based license compliance ecosystem. In *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice* (pp. 130-131). ICSE-SEIP.
  22. Yılmaz, N., & Kolukısa Tarhan, A. (2022). Quality evaluation models or frameworks for open-source software: A systematic literature review. *Journal of Software: Evolution and Process*, 34, e2458.
  23. Spinellis, D. (2019). How to select open-source components. *Computer*, 52, 103-106.
  24. Urbančok, B. D. (2019). *Blockchain open-source software comparison*. Masaryk University Faculty of Informatics (MUNI). <https://is.muni.cz/th/qr98z/thesis.pdf>.
  25. Billimoria, K. N. (2019). *Linux Kernel Programming: A comprehensive guide to kernel internals, writing kernel modules, and kernel synchronization*. Packt Publishing Ltd.
  26. Harutyunyan, N., Bauer, A., & Riehle, D. (2019). Industry requirements for FLOSS governance tools to facilitate the use of open-source software in commercial products. *Journal of Systems and Software*, 158, 110390.
  27. Karampatsis, R.-M., Babii, H., Robbes, R., Sutton, C., & Janes, A. (2020). Big code!= big vocabulary: Open-vocabulary models for source code. In *Proceedings of the ACM/IEEE 42nd International Conference on Software Engineering*, (pp. 1073-1085). IEEE.
  28. Bonfield, J.K., Marshall, J., Danecek, P., Li, H., Ohan, V., Whitwham, A. et al. (2021). HTSlib: C libraries for reading/writing high-throughput sequencing data. *Gigascience*, 10, giab007.
  29. Campos, C., Elvira, R., Rodríguez, J. J. G., Montiel, J. M., & Tardós, J. D. (2021). Orb-slam3: An accurate open-source libraries for visual, visual-inertial, and multimap slam. *IEEE Transactions on Robotics*, 37, 1874-1890.
  30. Wang, Y., Chen, B., Huang, K., Shi, B., Xu, C., Peng, X., et al. (2020). An empirical study of usages, updates and risks of third-party libraries in java projects, In *2020 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)* (pp. 35-45). IEEE.
  31. Diesch, R., Pfaff, M., & Krcmar, H. (2020). A comprehensive model of information security factors for decision-makers. *Computers & Security*, 92, 101747.
  32. Bjork, B.-C., & Korkeamaki, T. (2020). Adoption of the open access business model in scientific journal publishing: A cross-disciplinary study. *arXiv*, 2005, 01008.
  33. Tang, J., Li, B.-Y., Li, K.W., Liu, Z., & Huang, J. (2020). Pricing and warranty decisions in a two-period closed-loop supply chain. *International Journal of Production Research*, 58, 1688-1704.
-

34. Grimaldi, M., Greco, M., & Cricelli, L. (2021). A framework of intellectual property protection strategies and open innovation. *Journal of Business Research*, 123, 156-164.
  35. Enkel, E., Bogers, M., & Chesbrough, H. (2020). Exploring open innovation in the digital age: A maturity model and future research directions. *R&d Management*, 50.
  36. Bouncken, R.B., Kraus, S., & Roig-Tierno, N. (2021). Knowledge-and innovation-based business models for future growth: Digitalized business models and portfolio considerations. *Review of Managerial Science*, 15, 1-14.
  37. Trischler, M.F.G., & Li-Ying, J. (2023). Digital business model innovation: toward construct clarity and future research directions. *Review of Managerial Science*, 17, 3-32.
  38. Nesterov, V., Kostenko, V., & Kurasova, N. (2024). Technological innovations in translation: the influence of computer programs and artificial intelligence. *Bulletin of Science and Education*, 2(20), 261-273.
-

---

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

---

## SYSTEM ANALYSIS

UDC 519.86

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.9>

### A STUDY OF THE MARKET OF TWO INTERCHANGEABLE GOODS FOR SUSTAINABILITY

---

**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 paper examines the equilibrium of a market model of two interchangeable goods under conditions of critical and general cases. The influence of economic forces, such as prices, sales volumes, intensity of competition and model parameters, on the stability of the equilibrium is considered. The purpose of the work is to study the stability of the market equilibrium of two interchangeable goods depending on economic forces and model parameters. The research uses methods of mathematical modeling, differential equations and stability theory. A system of differential equations is introduced that describes the dynamics of the market for two interchangeable goods. It is shown that the stability of the market equilibrium of two interchangeable goods depends on the values of economic forces and model parameters. Equilibrium equations for a first-order model of two interchangeable goods in the general and critical cases are obtained. The stability of the equilibrium of a first-order model of two interchangeable goods is studied depending on the economic forces of sellers, merchants, the state and competition parameters. Examples of stable and unstable equilibria of a first-order model of two interchangeable goods are given. In particular, it was found that: if the prices for both goods are low enough, then the market equilibrium is stable; if the prices for both goods are high enough, then the market equilibrium is unstable; If the price of one good is low enough and the price of another good is high enough, then the market equilibrium can be either stable or unstable, depending on the values of other economic forces and model parameters. The results of the study can be used to predict the behavior of the market for two interchangeable goods depending on changes in economic conditions. They can also be used to develop recommendations for managing the market of two interchangeable goods in order to ensure its sustainability.*

**Key words:** market of two goods, interchangeable goods, equilibrium, stability, differential equations, price elasticity.

#### **Білоусова Т. П. Дослідження ринку двох взаємозамінних товарів на стійкість**

*У цій роботі досліджується рівновага моделі ринку двох взаємозамінних товарів в умовах критичного та загального випадків. Розглядається вплив економічних сил, таких як ціни, обсяги продажу, інтенсивність конкуренції та параметри моделі на стійкість рівноваги. Метою роботи є дослідження стійкості рівноваги ринку двох взаємозамінних товарів залежно від економічних сил та параметрів моделі. При дослідженні використовуються методи математичного моделювання, диференціальних рівнянь та теорії*

---

стійкості. Запроваджується система диференціальних рівнянь, що визначає динаміку ринку двох взаємозамінних товарів. Показано, що стійкість рівноваги ринку двох взаємозамінних товарів залежить від значень економічних сил та параметрів моделі. Отримано рівняння рівноваги моделі першого порядку двох взаємозамінних товарів у загальному та критичному випадку. Досліджено стійкість рівноваги моделі першого порядку двох взаємозамінних товарів залежно від економічних сил продавців, торговців, держави та параметрів конкуренції. Наведено приклади стійких та нестійких рівноваг моделі першого порядку двох взаємозамінних товарів. Зокрема, було встановлено, що: якщо ціни на обидва товари є досить низькими, то рівновага ринку є стійкою; якщо ціни на обидва товари досить високі, то рівновага ринку є нестійкою; якщо ціна одного товару досить низька, а ціна іншого товару досить висока, то рівновага ринку може бути як стійкою, так і нестійкою, залежно від значень інших економічних сил і параметрів моделі. Сучасні математичні методи грають дедалі більшу роль в економіці. Результати дослідження можна використовувати для прогнозування поведінки ринку двох взаємозамінних товарів залежно від зміни економічних умов. А також можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо управління ринком двох взаємозамінних товарів з метою забезпечення його стійкості.

**Ключові слова:** ринок двох товарів, взаємозамінні товари, рівновага, стійкість, диференціальні рівняння, цінова еластичність.

**Introduction.** The study of market equilibrium, in particular the equilibrium of the first-order model of two interchangeable goods, has a rich history that goes back to the early stages of the development of economic theory. L. Walras is considered one of the founders of neoclassical economics. He developed a general equilibrium model that describes how prices and volumes are determined in all markets of the economy simultaneously. His work paved the way for further studies of equilibrium in the markets of individual goods [1]. D. Marshall expanded the Walras model, including the analysis of supply and demand, as well as the behavior of firms. He also investigated the effect of time on market equilibrium [2]. F. Knight investigated the dynamics of markets for two interchangeable goods, focusing on the role of uncertainty and expectations. He also analyzed the influence of information and institutional structures on equilibrium [3]. R. Solow developed a model of economic growth that describes how factors of production, such as capital and labor, affect the long-term growth of the economy. P. Krugman, explored various aspects of market equilibrium, including international trade theory, macroeconomics, and public sector economics. The study of market equilibrium remains a relevant topic. Increasing globalization has led to increased competition in world markets, which makes understanding the factors that determine market equilibrium even more important. Rapid technological progress leads to constant changes in the structure of the economy, which makes it necessary to constantly update market equilibrium models [4]. The economy faces many sources of uncertainty and risk, such as changes in commodity prices, political instability and natural disasters. Understanding how markets adapt to these changes is important for designing effective policies [5]. Researching the stability of substitute goods markets is an urgent task in the modern economy. In the conditions of globalization and the development of e-commerce, competition between goods is increasing, which leads to changes in their prices and sales volumes. Understanding the factors affecting the stability of markets of substitute goods allows us to predict their behavior and develop effective measures of state regulation [6]. The study of market equilibrium allows us to better understand how economies function, predict the behavior of markets, and develop effective policies.

**Formulation of the problem.** Let's consider a market model of two substitute goods [7]. Let us introduce the following notation:  $p_j(t)$  is the price of a unit of the  $j$ th product at time  $t$ ;  $p_j^0$  is the equilibrium price of the  $j$ -th product;  $q_j(t)$  is the number of units

of the  $j$ th product sold at time  $t$ ;  $q_j^0$  – equilibrium number of units of the  $j$ -th product at price  $p_j^0$ ;  $p_j^*$  – lower threshold value of the price of the  $j$ -th product associated with the seller's costs incurred;  $p_j^{**}$  is the upper ceiling value of the price of the  $j$ -th product, above which buyers refuse to purchase this product. Let  $q_j(p)$  be a function of sales volumes of the  $j$ th goods at market prices  $p = (p_1, p_2)$ . The mathematical model of the market is presented in the form of a system of differential equations [8]

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= -\frac{v_1(p_1 - p_1^0)p_1'}{p_1 - p_1^*} - \frac{d_1(p_1 - p_1^0)p_1''}{p_1^{**} - p_1} - c_1((p_1 - p_1^0) - (p_2 - p_2^0)) + \frac{r_1}{q_1^0}(p_1 q_1(p) - p_1^0 q_1^0), \\ \dot{p}_2 &= -\frac{v_2(p_2 - p_2^0)p_2'}{p_2 - p_2^*} - \frac{d_2(p_2 - p_2^0)p_2''}{p_2^{**} - p_2} - c_2((p_2 - p_2^0) - (p_1 - p_1^0)) + \frac{r_2}{q_2^0}(p_2 q_2(p) - p_2^0 q_2^0), \end{aligned} \quad (1)$$

where  $p_j^* < p_j < p_j^{**}$ ,  $j=1,2$ , and,  $v_j$ ,  $d_j$ ,  $c_j$ ,  $r_j$  are positive parameters of the model that characterize the intensity of economic forces.

Let us assume that the functions of sales volumes are specified linearly according to the formulas  $q_j(p) = q_j^0 \left( 1 - \frac{e_j}{p_j^0}(p_j - p_j^0) + \frac{e_{ji}}{p_i^0}(p_i - p_i^0) \right)$ ,  $j, i=1,2, j \neq i$ ,

where  $e_j$  is the price elasticity of demand, and  $e_{ij}$  is the cross price elasticity [8]. These quantities are determined by the formulas:

$$e_j = -\frac{p_j^0}{q_j^0} \frac{\partial q_j(p^0)}{\partial p_j}, \quad e_{jk} = \frac{p_k^0}{q_j^0} \frac{\partial q_j(p^0)}{\partial p_k}, \quad j, k=1,2, j \neq k, \quad \text{at point } p^0 = (p_1^0, p_2^0).$$

**Presenting main material.** 1. *Stability of balance.* Note that model (1) has an economic equilibrium  $p_1 = p_1^0$ ,  $p_2 = p_2^0$ . To study the stability of this equilibrium, we will make a change of variables in system (1)  $y_j = p_j - p_j^0, j=1,2$ , having previously substituted expressions for functions of sales volumes, and use the following notation:  $p_j' = p_j^0 - p_j^*$  – seller's surplus price,  $p_j'' = p_j^{**} - p_j^0$  – consumer price surplus. Then we obtain a system of differential equations for the components of the vector  $y = (y_1, y_2)$  in the following form:

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= -\frac{v_1 p_1' y_1}{y_1 + p_1'} - \frac{d_1 p_1'' y_1}{p_1'' - y_1} - c_1(y_1 - y_2) + r_1 \left( (1 - e_1)y_1 + e_{12} p_{12}^0 y_2 - \frac{e_1}{p_1^0} y_1^2 + \frac{e_{12}}{p_2^0} y_1 y_2 \right), \\ \dot{y}_2 &= -\frac{v_2 p_2' y_2}{y_2 + p_2'} - \frac{d_2 p_2'' y_2}{p_2'' - y_2} - c_2(y_2 - y_1) + r_2 \left( (1 - e_2)y_2 + e_{21} p_{21}^0 y_1 - \frac{e_2}{p_2^0} y_2^2 + \frac{e_{21}}{p_1^0} y_1 y_2 \right), \end{aligned} \quad (2)$$

where,  $p_j' < y_j < p_j''$ ,  $j=1,2$ . Here, the economic equilibrium corresponds to the origin of coordinates  $y_1 = y_2 = 0$ .

Let us select the linear and nonlinear parts of the equations of system (2) by writing

$$\dot{y}_1 = -S_1 y_1 + R_1 y_2 + Y_1(y_1, y_2), \quad \dot{y}_2 = R_2 y_1 - S_2 y_2 + Y_2(y_1, y_2). \quad (3)$$

Here for the linear part it is assumed

$$S_j = v_j + d_j + c_j - r_j(1 - e_j), \quad R_j = c_j + r_j p_{ji}^0 e_{ji}, \quad p_{ij}^0 = p_i^0 / p_j^0, \quad j, i=1,2, \quad (4)$$



where  $S_j$  is the safety margin of the market for the  $j$ th product. The nonlinear part is determined by the expression

$$Y_j(y_1, y_2) = M_{1j}y_j^2 + \frac{r_j e_{jk}}{p_k^0} y_j y_k - H_{2j} y_j^3 + o(\|y_j\|^3), \quad j, k = 1, 2, j \neq r,$$

where  $o(\|y\|^3)$  means at  $y \rightarrow 0$  a value of the order of smallness above the third, and it is assumed

$$H_{1j} = \frac{v_j}{p_j'} - \frac{d_j}{p_j''}, \quad M_{1j} = H_{1j} - \frac{r_j e_j}{p_j^0}, \quad H_{2j} = \frac{v_j}{p_j'^2} + \frac{d_j}{p_j''^2}. \quad (5)$$

The first approximation model of system (3) takes the form of system

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -S_1 y_1 + R_1 y_2, \\ \dot{y}_2 = R_2 y_1 - S_2 y_2, \end{cases} \quad (6)$$

whose characteristic equation is given by the equality

$$\lambda^2 - \lambda(S_1 + S_2) + S_1 S_2 - R_1 R_2 = 0. \quad (7)$$

According to the Rouse–Hurwitz criterion and the first approximation stability theorem, the conditions for the asymptotic stability of the equilibrium of system (3) are determined by the inequalities 1)  $S_1 > 0$ ,  $S_2 > 0$ ; 2)  $S_1 S_2 - R_1 R_2 > 0$ .

These conditions suggest the following economic conclusions:

1. The safety margin of each of the products of market competitors must be strictly positive ( $v_j + d_j + c_j - r_j(1 - e_j) > 0, j = 1, 2$ ). In particular, it follows that the intensity of competitive forces plays a stabilizing role in the sustainable development of the market. The same positive role is played by the property of price elasticity of competing goods ( $e_1 \geq 1, e_2 \geq 1$ ).

2. The product of safety margins of both goods must be strictly separated from zero by an amount no less than the product of the intensity of the forces of competition, since  $R_1 R_2 > c_1 c_2$ .

Further study of the stability of the economic equilibrium of the model is primarily related to critical cases when one of the roots of equation (7) has a zero real part. It is easy to verify that, taking into account the inequalities  $R_j > 0, j = 1, 2$ , the model is only possible in the critical case of one zero root, for which the problem of stability is studied below. Consequently, in all other situations the equilibrium is unstable, which follows from Lyapunov's theorem on instability to the first approximation.

2. *The critical case of one zero root.* From equation (7) it is clear that such a case occurs when

$$S_1 S_2 = R_1 R_2 \quad (8)$$

end

$$S_1 > 0, S_2 > 0. \quad (9)$$

To study the stability of economic equilibrium, we make a change of variables in system (6)

$$x_1 = y_1, \quad x = a_1 y_1 + a_2 y_2, \quad (10)$$

where the coefficients  $a_1$  and  $a_2$  are to be determined, and the non-degeneracy of the proposed transformation means that  $a_2 \neq 0$ . We require that, as a result of such

a replacement,  $\dot{x} \equiv 0$ . In this case, the coefficients  $a_j, j=1,2$ , satisfy the following system of equations:

$$\begin{cases} S_1 a_1 - R_2 a_2 = 0 \\ R_1 a_1 - S_2 a_2 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Based on requirement (8), the determinant of such a system is equal to zero. Therefore, to find coefficients  $a_1$  and  $a_2$  we can take, for example, the first of the equations

$$S_1 a_1 - R_2 a_2 = 0 \quad (12)$$

Taking into account (8), solution (12), which meets the requirement  $a_2 \neq 0$ , exists only for  $R_2 \neq 0, S_1 a_1 \neq 0$ . Consequently, equation (12) has the family of solutions  $a_1 = R_2 b/S_1, a_2 = b \neq 0$ , where the parameter  $b$  will be refined further in order to simplify cumbersome expressions.

Thus, the desired change of variables (10) has the form

$$x = R_2 b y_1 / S_1 + b y_2, \quad x_1 = y_1, b \neq 0. \quad (13)$$

This implies feedback between the variables

$$y_1 = x_1, y_2 = x/b - R_2 x_1 / S_1, b \neq 0. \quad (14)$$

As a result, linear system (6) is transformed to the desired form

$$\begin{cases} \dot{x} = 0, \\ \dot{x}_1 = -(S_1 + S_2)x_1 + R_1 x/b, \quad b \neq 0. \end{cases}$$

Replacing variables (13) of the system under study (3) results in the nonlinear part of the second equation to the form  $X(x, x_1) \equiv R_2 b Y_1(y_1, y_2) / S_1 + b Y_2(y_1, y_2)$ , in which the variables  $(y_1, y_2)$  should be replaced by the formulas (14). The nonlinear part  $X_1(x, x_1)$  is similarly transformed. As a result of such transformations we obtain the system

$$\begin{cases} \dot{x} = X(x, x_1), \\ \dot{x}_1 = -(S_1 + S_2)x_1 + R_1 x/b + X_1(x, x_1), \quad b \neq 0 \end{cases} \quad (15)$$

where, taking into account notation (5), we can write the nonlinear terms in the form

$$\begin{aligned} X(x, x_1) &= \frac{M_{12}}{b} x^2 + \left( M_{12} \frac{S_2^2}{R_1^2} + M_{11} \frac{S_2}{R_1} - \left( \frac{S_2}{R_1} \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} + \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} \right) \frac{S_2}{R_1} \right) b x_1^2 + \\ &+ \left( \frac{S_2}{R_1} \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} + \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} - 2 \frac{M_{12} S_2}{R_1} \right) x x_1 + \left( H_{22} \frac{S_2^3}{R_1^3} - \frac{S_2}{R_1} H_{21} \right) b x_1^3 - H_{22} \frac{1}{b^2} x^3 + 3 H_{22} \frac{1}{b} \frac{S_2}{R_1} x_1 x^2 - \\ &- 3 H_{22} \frac{S_2^2}{R_1^2} x_1^2 x + o(\|(x, x_1)\|^3); \\ X_1(x, x_1) &= \left( M_{11} - \frac{r_1 e_{12} S_2}{p_2^0 R_1} \right) x_1^2 + \frac{r_1 e_{12}}{b p_2^0} x_1 x - H_{21} x_1^3 + o(\|(x, x_1)\|^3). \end{aligned}$$

Putting  $X^0(x) = X(x, 0)$  and  $X_1^0(x) = X_1(x, 0)$ , we are convinced that for the smallest powers in the variable  $x$  the following relations hold:

$$\min \deg(X_1^0(x)) = \min \deg(X_1^0(x, 0)) \geq \min \deg(X^0(x)) = \min \deg(X(x, 0)).$$

Therefore, we can move on to the next stage of studying the critical case. Bearing in mind that in equations (3) the variables were replaced according to formulas (13), we equate to zero the right-hand side of the non-critical (second) equation of system (15):  
 $-(S_1 + S_2)x_1 + R_1x/b + X_1(x, x_1) = 0$ .

Let us find the solution  $x_1 = f(x)$  of this equation in implicit functions using the method of undetermined coefficients, putting  $f(x) = \alpha x + \beta x^2 + \gamma x^3 + \dots$ . When finding the coefficients of a power series  $f(x)$ , one should take into account the fact that the minimum degree with which  $x_1$  enters the expression  $X(x, x_1)$  is degree two. Note that the parameter  $\beta$  after the replacement  $x_1 = f(x)$  is included in the nonlinear part  $X(x, x_1)$ , starting with the coefficients of the third power of  $x$ ; subsequent parameters  $-\gamma$ , etc. are included in the expressions for  $X(x, x_1)$ , starting from higher powers of  $x$ , therefore, if we limit ourselves to only the coefficients of the first and second powers, such terms will not be included in the consideration. Equating the coefficients at the same powers, we find  $\alpha$  and  $\beta$  from the system of equations

$$\begin{cases} (-S_1 - S_2)\alpha + \frac{R_1}{b} = 0, \\ \left( M_{11} - \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} \frac{S_2}{R_1} \right) \alpha^2 + \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} \frac{1}{b} \alpha + (-S_1 - S_2)\beta = 0. \end{cases}$$

Let us set here  $b = 1/(S_1 + S_2)^2$ , then taking into account inequality (9) we obtain a solution to this system:

$$\alpha = (S_1 + S_2)R_1; \quad \beta = (S_1 + S_2)R_1 \left( R_1 p_2^0 M_{11} + r_1 e_{12} S_1 \right) / p_2^0. \quad (16)$$

Thus, taking into account formulas (16), the right-hand side of the first equation of system (15) is transformed to the following form:  $X(x, x_1) = Fx^2 + Gx^3 + o(\|x\|^3)$ , where using the equality  $R_2 = S_1 S_2 / R_1$  (critical case condition) we will have

$$\begin{aligned} F &= M_{12} S_1^2 + M_{11} S_2 R_1 + \left( \frac{S_2}{R_1} \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} + \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} \right) S_1 R_1; \\ G &= \left( R_1^2 M_{11} + R_1 S_1 \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} \right) \left( 2M_{11} S_2 - 2M_{12} R_2 + \left( \frac{R_2}{S_1} \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} + \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} \right) (S_1 - S_2) \right) - \\ &\quad - (S_1 + S_2) (H_{22} S_1^3 + S_2 R_1^2 H_{21}). \end{aligned} \quad (17)$$

*Note 1.* If in our studies we use not the first of equalities (11), but the second, we will obtain formulas for  $F$  and  $G$  similar to formulas (17), but with the replacement of the indices 1 by 2 and 2 by 1, namely, we will have the expressions

$$\begin{aligned} F &= M_{11} S_2^2 + M_{12} S_1 R_2 + \left( \frac{S_1}{R_2} \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} + \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} \right) S_2 R_2; \\ G &= \left( R_2^2 M_{12} + R_2 S_2 \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} \right) \left( 2M_{12} S_1 - 2M_{11} R_1 + \left( \frac{R_1}{S_2} \frac{r_2 e_{21}}{p_1^0} + \frac{r_1 e_{12}}{p_2^0} \right) (S_2 - S_1) \right) - \\ &\quad - (S_2 + S_1) (H_{21} S_2^3 + S_1 R_2^2 H_{22}). \end{aligned} \quad (17^*)$$

Thus, the conducted studies of the model lead to the following statement.

*Statement 1.* The economic equilibrium  $p_1 = p_1^0$ ,  $p_2 = p_2^0$  of the market of two interchangeable goods is asymptotically stable if the margin of safety of each of the competing goods is strictly positive, i.e.  $v_1 + d_1 + c_1 - r_1(1 - e_1) > 0$ ,  $v_2 + d_2 + c_2 - r_2(1 - e_2) > 0$ , and one of the following two conditions is met:

$$1) (v_1 + d_1 + c_1 - r_1(1 - e_1))(v_2 + d_2 + c_2 - r_2(1 - e_2)) > \left( c_1 + r_1 \frac{p_1^0}{p_2^0} e_{12} \right) \left( c_2 + r_2 \frac{p_2^0}{p_1^0} e_{21} \right), \text{ or}$$

$$2) (v_1 + d_1 + c_1 - r_1(1 - e_1))(v_2 + d_2 + c_2 - r_2(1 - e_2)) = \left( c_1 + r_1 \frac{p_1^0}{p_2^0} e_{12} \right) \left( c_2 + r_2 \frac{p_2^0}{p_1^0} e_{21} \right),$$

$F = 0$ ,  $G < 0$ , where the values of  $F$  and  $G$  are determined by formulas (5), (17). In all other cases, except  $F = 0$ ,  $G = 0$ , the equilibrium is unstable.

In the case of  $F = 0$ ,  $G = 0$ , further research is needed.

*Note 2.* It is easy to show that with appropriate values of the model parameters, the quantities  $F$  and  $G$  can take on values of different signs, including vanishing. Therefore, each of the options for the signs of the quantities  $F$  and  $G$  indicated in the statement can be implemented.

*Note 3.* In the critical case, in contrast to the study of the stability of economic equilibrium using the first approximation system, the conditions of stability or instability are cumbersome expressions that include all the parameters of the mathematical model. To explain these conditions based on the expressions  $F$  and  $G$ , let us consider the so-called absolutely symmetric case. We are talking about a situation where both competing products correspond to completely matching values of the model parameters, namely,  $v = v_j$ ,  $d = d_j$ ,  $c = c_j$ ,  $r = r_j$ ,  $p = p_j^0$ ,  $p'_j = p'$ ,  $p''_j = p''$ ,  $j = 1, 2$ ,  $e = e_1 = e_2$ ,  $e_{12} = e_{21}$ .

In this case we have  $R = S$  and then  $F = 2S^2 \left( \frac{v}{p'} - \frac{d}{p''} - \frac{re}{p^0} + \frac{re_{12}}{p^0} \right)$ . Consequently, the conditions that  $F = 0$  or  $F \neq 0$  are respectively equivalent to the relations:

$$\frac{v}{p'} - \frac{d}{p''} = \frac{r(e - e_{12})}{p^0} \text{ or } \frac{v}{p'} - \frac{d}{p''} \neq \frac{r(e - e_{12})}{p^0}.$$

From an economic point of view, the first of these equalities means a certain parity between producers, consumers and the state, taking into account the properties of price elasticity of demand and cross-price elasticity. Therefore, it follows from the theorem that if this parity is violated, i.e.  $F \neq 0$ , the model is unstable. In the case of  $F = 0$ , the expression for  $G$  is simplified and takes the form  $G = -4S^4 H_2 < 0$ . Therefore, we obtain the asymptotic stability of economic equilibrium.

3. *Constant sales volume.* For a special case with a constant sales volume  $q_j(p) = q_j^0$ ,  $j = 1, 2$ , the model is described by a system of differential equations

$$\begin{cases} \dot{p}_1 = -\frac{v_1(p_1 - p_1^0)p'_1}{p_1 - p_1^*} - \frac{d_1(p_1 - p_1^0)p''_1}{p_1^{**} - p_1} + r_1(p_1 - p_1^0) - c_1((p_1 - p_1^0) - (p_2 - p_2^0)), \\ \dot{p}_2 = -\frac{v_2(p_2 - p_2^0)p'_2}{p_2 - p_2^*} - \frac{d_2(p_2 - p_2^0)p''_2}{p_2^{**} - p_2} + r_2(p_2 - p_2^0) - c_2((p_2 - p_2^0) - (p_1 - p_1^0)). \end{cases}$$

The conditions for asymptotic stability in the first approximation for such a system are given by the inequalities 1)  $S_1 > 0, S_2 > 0$ ; 2)  $S_1 S_2 - c_1 c_2 > 0$ , where the safety margin of competing goods is determined by the formula  $S_j = v_j + d_j + c_j - r_j, j = 1, 2$ . For the critical case, when  $S_1 S_2 = c_1 c_2$  formulas (17) respectively take the form  $F = H_{12} S_1^2 + H_{11} S_2 R_1$ ;  $G = 2H_{11} R_1^2 (H_{11} S_2 - H_{12} R_2) - (S_1 + S_2) (H_{22} S_1^3 + H_{21} S_2 R_1^2)$ .

Formulas (17\*) are transformed in a similar way. In this case, the conclusions of an economic nature noted in Note 3 are formally obtained under the condition that price elasticity ( $e = 0$ ) and cross-price elasticity ( $e_{12} = 0$ ) are equal to zero. At  $F = 0$ , i.e.  $H_{12} = -H_{11} S_2 c_1 / S_1^2$ , and  $S_1 S_2 = c_1 c_2$  (the condition for the critical case of one zero root), the expression  $G$  is transformed to the form

$$G = (S_2 + S_1) (2H_{11}^2 c_1^2 S_2 - H_{22} S_1^4 - H_{21} S_2 S_1 c_1^2) / S_1.$$

Therefore, here the conditions for asymptotic stability and instability, respectively, take the form of inequalities  $c_1^2 S_2 (2H_{11}^2 - H_{21} S_1) < H_{22} S_1^4$  and  $c_1^2 S_2 (2H_{11}^2 - H_{21} S_1) > H_{22} S_1^4$ .

3.1. *The case of identical parameters of competitors.* If, as above, we assume that the goods are competitors are equal, i.e. their parameters completely coincide, then

$F = SH_1 (S + c)$ . Provided that  $F = 0$  (i.e.  $H_1 = 0$ ) and  $S = R = c$  (the condition for the critical case of one zero root), the expression  $G$  is transformed to the form  $G = -4c^4 H_2$ . Therefore, the following statement follows from Statement 1.

*Statement 2.* Let the following conditions hold for a market of two interchangeable goods:

- 1)  $v = v_j, d = d_j, c = c_j, r = r_j, p = p_j^0, p'_j = p', p''_j = p'', j = 1, 2, e = e_1 = e_2, e_{12} = e_{21}$ ;
- 2) sales volumes are constant  $q_j(p) = q_j^0, j = 1, 2$ .

Then the economic equilibrium  $p_1 = p_1^0, p_2 = p_2^0$  is asymptotically stable if one of the following two conditions is satisfied: 1)  $v + d > r$  or 2)  $v + d = r, \frac{v}{p'} = \frac{d}{p''}$ .

In all other cases, the equilibrium is unstable.

## 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](https://www.jstor.org/stable/44346456?seq=1#metadata_info_tab_contents)
2. Arrow K. J., Debreu G. Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*. 1954. Vol. 22. Issue 3. P. 265–290.
3. Risk, Uncertainty, and Profit (Boston MA: Hart, Schaffner and Marx; Houghton Mifflin), 1921. 381 p.
4. Андрейчикова А. М. Еволюція поглядів на проблему ризику в економічній науці. *Економічний вісник Національного гірничого університету*. 2014. № 1. (45). С.38-49.
5. Дебела І. М. Класифікація станів системи за вектором параметрів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2022. №11. С.114–119.
6. Димова Г.О., Ларченко О.В. Моделі і методи інтелектуального аналізу даних: навчальний посібник. Херсон : Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2021. 142 с.
7. Білоусова, Т. (2021). Математична модель оптимального ринку багатьох товарів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2021. №10. С. 135-142.
8. Podlubny I. Fractional Differential Equations. *Mathematics in Science and Engineering / I. Podlubny – Academic Press, San Diego, Calif, USA, 1993.*

**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](https://www.jstor.org/stable/44346456?seq=1#metadata_info_tab_contents)
  2. Arrow K. J., Debreu G. Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*. 1954. Vol. 22. Issue 3. P. 265–290.
  3. Risk, Uncertainty, and Profit (Boston MA: Hart, Schaffner and Marx; Houghton Mifflin), 1921. 381 p.
  4. Andreichykova A. M. (2014) Evoliutsiia pohliadiv na problemu ryzyku v ekonomichnii nauki [Evolution of views on the problem of risk in economic science]. *Ekonomichniy visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Economic Bulletin of the National Mining University*, 1(45), 38-49 [in Ukrainian].
  5. Debela I. M. (2022) Klasyfikatsiya staniv sy'stemy za vektorom parametriv [Classification of system states by parameter vector]. *Tavriiskyyi naukovyyi visnyk. Seriya: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics*, 10, 114-119 [in Ukrainian].
  6. Dymova H.O. & Larchenko O.V. (2021) Modeli i metody intelektual'noho analizu danykh: navchal'nyy posibnyk [Models and Methods of Data Mining: Tutorial]. Publishing house FOP Vyshemyrskyy V.S. [in Ukrainian].
  7. Bilousova T.P. (2021) Matematychna model optimalnoho rynku bahatokh tovariv [Mathematical model of the optimal market of many goods]. *Tavriiskyyi naukovyyi visnyk. Seriya: Ekonomika – Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics*, 10, 135-142 [in Ukrainian].
  8. Podlubny I. *Fractional Differential Equations. Mathematics in Science and Engineering / I. Podlubny – Academic Press, San Diego, Calif, USA, 1993.*
-

---

# ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.8/9-021.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.10>

### ОЦІНКА ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОДОВОЇ СИРОВИНИ У БЕЗВІДХОДНОМУ ЛАНЦЮГУ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ ЗА ВМІСТОМ ТИТРОВАНИХ КИСЛОТ

---

**Іванова І. Є.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри рослинництва та садівництва імені професора В. В. Калитки  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
ORCID ID: 0000-0003-2711-2021  
Scopus-Author ID: 57217024041

**Кривонос І. А.** – старший викладач кафедри іноземних мов  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
ORCID ID: 0000-0001-7079-5150  
Scopus-Author ID: 57216844469

**Басанець С. В.** – аспірант спеціальності «Агрономія»  
Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
ORCID ID: 0009-0004-6158-7367

Визначено вплив абіотичних чинників на накопичення вмісту титрованих кислот у плодах черешні з метою формування безвідходного ланцюга використання плодової сировини. В умовах гуманітарного контексту та розбудови переробної та харчової галузі південного регіону у післявоєнний період питання набуло надзвичайної актуальності.

Дослідження формування фонду титрованих кислот в плодах черешні модельних сортів проводили 12 років. Для дослідження були обрані плоди черешні 33 модельних сортів. Програмою досліджень передбачено виділити модельні сорти черешні трьох термінів досягання з високим показником титрованих кислот для подальшої збереженості їх якості та біологічною цінністю плодів для переробного циклу.

В ході проведення експерименту визначено, що максимальні показники вмісту титрованих кислот від 0,53% до 1,00% відмічено у сортів «Валерій Чкалов», «Ділема», «Удівительна». Оптимальні параметри цукрово-кислотного індексу визначено у 31 модельного сорту черешні всіх термінів досягання. Для всіх груп модельних сортів, незалежно від

---

терміну досягання, домінуючий вплив на формування фонду титрованих кислот мали абіотичні умови, що склалися протягом років досліджень (фактор А).

Визначена сильна та середня кореляційна залежність між 11 погодними факторами та вмістом титрованих кислот для модельних сортів черешні раннього, середнього, пізнього термінів досягання. Встановлено діапазони долі участі погодних факторів, що мають максимальний вплив на формування фонду титрованих кислот в плодах черешні  $\Delta_i$  від 10,37% до 34,06%.

Ранжування абіотичних параметрів за ступенем їх впливу на накопичення титрованих кислот в плодах черешні модельних сортів трьох строків досягання виявило, що для всіх термінів досягання максимальний вплив та 1 ранг має фактор середньомісячна сума опадів в травні ( $X_1$ ); для сортів середнього строку досягання середня мінімальна відносна вологість повітря в травні ( $X_2$ ).

Прогнозування якісних характеристик плодів на етапі їх формування дозволить заздалегідь провести розподіл сировини для безвідходного ланцюга використання фруктів і в подальшому запропонувати сорти черешні як для зберігання, так і для переробки.

**Ключові слова:** плоди черешні, органічні кислоти, абіотичні фактори, математичні моделі, статистичний аналіз, безвідходний ланцюг розподілу плодів.

### **Ivanova I. Ye., Kryvonos I. A., Basanets S. V. Quality characteristics evaluation of fruit raw materials in the waste-free chain of its processing by titrated acids content**

The influence of abiotic factors on the accumulation of titratable acids in sweet cherry fruits has been determined in order to form a waste-free chain of fruit raw materials use. In the context of the humanitarian context and the development of the processing and food industry in the southern region in the post-war period, the issue has become extremely relevant.

The study of titratable acids in sweet cherry fruits of model varieties was carried out for 12 years. Sweet cherry fruits of 33 model varieties were selected for the study. The research programme provides for the selection of model sweet cherry varieties of three ripening periods with a high level of titratable acids for further preservation of their quality and biological value for the processing cycle.

During the experiment, it was determined that the maximum titratable acids content from 0,53% to 1,00% was observed in the varieties "Valerii Chkalov", "Dilema", "Udivitelna". The optimal parameters of sugar-acid index were determined in 31 model sweet cherry varieties of all ripening periods. For all groups of model varieties, regardless of the ripening period, the dominant influence on the formation of the titratable acid fund was exerted by abiotic conditions that developed during the years of research (factor A).

A strong and medium correlation between 11 weather factors and the content of titratable acids for model varieties of sweet cherries of early, medium, and late ripening was determined. The ranges of participation of weather factors that have the maximum influence on the formation of the fund of titrated acids in sweet cherry fruits  $\Delta_i$  from 10,37% to 34,06% were determined.

The ranking of abiotic parameters by the degree of their influence on the accumulation of titratable acids in sweet cherry fruits of model varieties of three ripening periods revealed that for all ripening periods the maximum influence and rank 1 has the factor of average monthly precipitation in May ( $X_1$ ); for varieties of medium ripening period the average minimum relative humidity in May ( $X_2$ ).

Predicting the quality characteristics of the fruits at the stage of its formation will allow us to distribute raw materials in advance for a waste-free fruit use chain and to offer cherry varieties for both storage and processing.

**Key words:** sweet cherry fruit, organic acids, abiotic factors, mathematical models, statistical analysis, waste-free fruit distribution chain.

**Постановка проблеми.** Проблемам та перспективам формування якості, зберігання та подальшої переробки черешні різних сортів та термінів досягання її плодів приділяють значну увагу у своїх дослідженнях вчені багатьох країн [1-3]. За даними канадських, болгарських та угорських науковців на зміну обсягів виробництва та показники валового збору плодів черешні впливають об'єктивні та суб'єктивні причини. Загальносвітовий валовий збір плодів черешні за останні 2 роки в середньому становив 2563,6 тис. тон. Обсяг виробництва плодів черешні в Україні 84,6 тис. тон, це становить 3,3% від загальносвітового [4; 5]. При сприятливих абіотичних умовах плоди черешні набувають гарну транспортабельність, високу товарність та відмінний смак [6].



Однак, ряд показників якості, зокрема, вміст титрованих кислот плодів черешні є мінливим показником. Він має істотні зміни під впливом зовнішніх абіотичних стресорів. Враховуючі вищенаведене, в завдання наших досліджень входило на прикладі брендової культури південного регіону України, що, на жаль, має стислий термін зберігання та споживається переважно в свіжому вигляді, дослідити механізм формування фонду титрованих кислот під впливом абіотичних стресових параметрів. В подальшому отримані результати досліджень допоможуть зробити прогноз потенційної збереженості плодів черешні в безвідходному ланцюзі переробки плодової сировини, що є актуальним в гуманітарному контексті та на етапі розбудови переробної галузі Півдня Степової зони України в післявоєнний період.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження робіт науковців південних регіонів України було проведено і визначено оптимальний комплекс показників якості плодів черешні за багатьма параметрами. Використання методу багатокритеріальної оптимізації шляхом геометричної згортки критеріїв дозволило визначити кращий з 6 сортів, що оцінювались за біохімічними параметрами та органолептичною оцінкою як в свіжому, так і замороженому вигляді. Методи математичної статистики допомогли виділити та отримати ранжований ряд сортів черешні за показниками, що мали несумісні одиниці виміру і були переведені в єдині критерії оцінки. За вмістом редукованих цукрів, титрованих кислот, вітаміну С, фенольних речовин та дегустаційними балами кращими були виділені 3 сорти черешні – «Міраж», «Празднічна», «Мелітопольська Чорна» [5; 7].

За даними дегустаційної комісії з науковців півдня України було проаналізовано окремо смак 53 сортозразків черешні та виділено сорти – «Новинка Туровцева», «Бігаро Туровцева», «Чорна Туровцева», «Випускниця», «Імпульс», «Славяновка», «Суперниця», «Візитка» [8]. Щодо формування оптимального смаку, то в плодах черешні гармонійно поєднуються цукровість з приємною кислотою. Плоди черешні містять ряд вітамінів, ферментів та мінеральних солей, що дуже корисно для організму людини. В свіжих плодах черешні кількість вільних органічних кислот, а також їх вміст кислих та середніх солей складає в середньому 0,43-1,00%, де яблучна кислота складає понад 90% загальної кислотності плодів [9; 10].

Таким чином, масову частку як цукрів, так і кислот у плодах черешні можна віднести до інтегральних показників, що визначають її придатність до охолодження, транспортування, холодильного зберігання та різних способів подальшої переробки. Визначення цього параметру має велике наукове та практичне значення. Прогнозування вмісту титрованих кислот дозволить точно встановити терміни збирання плодів, завчасно визначити об'єми та напрямки її технологічної обробки. Гармонійність смаку плодів культури показує цукрово-кислотний індекс (ЦКІ). Він визначається як співвідношення відсоткового вмісту цукрів до відсоткового вмісту кислот. На думку багатьох авторів, найбільш гармонійним смаком відрізняються плоди з ЦКІ 15-30 в.о. [11].

Адже, на фоні ускладнення загальноекономічної, екологічної ситуації, яка склалася останнім часом по всьому світу все більшого значення на рослини набувають абіотичні погодні стресові чинники. Багаторазовий вплив комплексу несприятливих стресових факторів при формуванні фонду цукрів, кислот, вітамінів черешні призводить до втрати потенційної стресової стійкості та проявляється у зниженні якості плодів [12 - 15].

Для аналізу впливу факторів зовнішніх стресових умов на накопичення якісних параметрів плодів (сухі розчинні речовини, цукри, титровані кислоти) в плодовій

сировині запропоновано використати методи регресійно-кореляційного аналізу, а також, методи факторіального аналізу - метод головних компонент. Основним питанням при побудові та аналізі регресійної моделі є факт, що кількість досліджуваних факторів перевищує кількість експериментальних значень досліджуваного показника за 12 років досліджень. Тому, застосовувати метод найменших квадратів для побудови регресійної моделі не можливо. Науковцями запропоновано для побудови регресійної залежності на першому етапі побудувати систему головних компонент, які потім виступають в якості факторів регресійної моделі [16].

На основі наведених літературних джерел, можна підкреслити те, що питання прогнозування вмісту титрованих органічних кислот у плодах черешні залежно від частки участі стресових абіотичних чинників методом головних компонент є актуальним для подальшого вдосконалення технології транспортування, зберігання та переробки плодової сировини.

Таким чином, **метою роботи** є визначення впливу стресових абіотичних погодних факторів на накопичення титрованих органічних кислот у плодах черешні залежно від трьох термінів досягання та створення математичних моделей прогнозування їх вмісту для забезпечення подальшого збереження біологічної цінності плодової сировини у безвідходному циклі використання.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводились впродовж 2008-2019 рр. [17]. Для дослідження були обрані плоди черешні 33 модельних сортів трьох термінів досягання (таблиця 1):

Таблиця 1

**Перелік модельних сортів черешні, що взяті для дослідження, 2008-2019 рр.**

I група сортів раннього терміну досягання	II група сортів середнього терміну досягання	III група сортів пізнього терміну досягання
Світ Ерліз, Мерчант, Бігаро Бурлат, Рубінова рання, Валерій Чкалов, Казка, Забута	Кордія, Октавія, Винка, Первисток, Темп, Улюблениця Туровцева, Талісман, Ділема, Мелітопольська чорна, Оріон, Червнева рання, Дачниця, Простір	Каріна, Регіна, Міраж, Крупноплідна, Удівительна, Зодіак, Сюрприз, Колхозниця, Космічна, Празднічна, Анонс, Темпоріон, Меотида

Масову концентрацію титрованих кислот (ТК) визначали титрометричним методом [20] – титруванням 0,1N розчином NaOH. За формулою 1:

$$X = (M \cdot K \cdot \text{Он} \cdot 100) / (Mn \cdot \text{Ор}) \quad (1)$$

де X – загальна кислотність, % (100г); M – кількість 0,1 н розчину лугу, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>; K – коефіцієнт перерахунку на яблучну кислоту 0,0067; Он – об'єм, до якого доведена наважка, мл; Mn – наважка досліджуваної речовини, г; Ор – об'єм розчину, взятий для титрування, мл.

Дослідження залежності титрованих кислот черешні від абіотичних факторів проводили за наступною схемою [9]:

1. Визначення вмісту титрованих кислот за наведеною вище методикою шляхом проведення експериментальних досліджень.

2. Систематизація інформації та створення структури даних погодних умов роки досліджень.

3. На основі даних погодних умов у роки досліджень були розраховані показники: гідротермічний коефіцієнт, різниці температур за певні періоди, суми активних температур, суми ефективних температур.

4. На основі кореляційного аналізу визначені погодні фактори, що суттєво впливають на накопичення титрованих кислот черешні для плодів сортів раннього, середнього та пізнього термінів досягання.

5. Проведено аналіз визначених у пункті 4 факторів методами регресійного аналізу з метою визначення ступеня впливу кожного фактору на показник титрованих кислот для груп сортів 3-х термінів досягання.

Визначення частки впливу кожного з погодних факторів, що були відібрані на підставі побудови регресійної моделі проводили методом головних компонент.

Використання методу головних компонент пов'язано з наявністю мультиколінійності та порушенню умов теореми Гауса-Маркова [19].

Тому, для побудови регресійної моделі суттєвого перевищення кількості незалежних перемінних над кількістю експериментів нами застосовано метод головних компонент.

Алгоритм проведення досліджень:

1. Розрахунок набору головних компонент:

$$PC_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot x_{ij}, \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

2. Будуємо регресійне рівняння залежності між показником що досліджуємо  $Y$  (вміст цукрів в плодах черешні) и головними компонентами:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot PC_i, \quad (2)$$

Модель перетворюємо шляхом підстановки у формулу 2 через вихідний набір факторів та отримуємо від показників погодно-кліматичних факторів:

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot X_j, \quad (3)$$

де  $X_j$  – фактори;  $a_j$  – параметри моделі;  $\hat{Y}$  – показники вмісту цукрів черешні. Проводимо аналіз та будуємо за формулою (3) регресії.

3. Для визначення ступеню впливу кожного з факторів на досліджувані показники використовуємо дельта-коефіцієнти  $\Delta_j$ .

$$\Delta_i = \left| \frac{\tilde{a}_i \cdot r_{yx_i}}{R^2} \right|, \quad (4)$$

де  $\tilde{a}_i$  – параметри регресійної моделі в стандартизованих факторах  $\tilde{X}_i$

$r_{yx_i}$  – парні коефіцієнти кореляції

$R^2$  – коефіцієнт детермінації

Для виконання статистичного аналізу застосовані засоби сучасних комп'ютерних технологій DataMining – програмне середовище RStudio.

Дослідження впродовж 12 років визначили, що середній вміст титрованих кислот (ТК) у плодах черешні знаходився на рівні 0,61% (таблиця 2). Модельними сортами раннього терміну досягання, які, за результатами досліджень, накопичували максимальну кількість титрованих кислот, є «Забута», «Валерій Чкалов», «Світ Ерліз», а найменшою – «Мерчант», «Рубінова Раня».

Таблиця 2  
**Вміст титрованих кислот (ТК) та цукрово-кислотний індекс (ЦКІ) у плодах  
 черешні сортів раннього терміну досягання, %  
 (2008–2019 рр.),  $\bar{x} \pm s\bar{x}$ , n=5**

Помологічний сорт	Середній вміст ТК, %	Варіація за роками, V <sub>p</sub> , %	ЦКІ, в.о.
Рубінова рання	0,38±0,08	20,7	32,5
Валерій Чкалов	0,53±0,10	19,7	23,6
Світ Ерліз	0,53±0,11	21,6	24,2
Мерчант	0,37±0,07	20,1	28,5
Казка	0,49±0,10	21,4	23,7
Бігаро Бурлаг	0,47±0,09	20,5	23,6
Забута	0,53±0,11	20,3	23,5
Середнє значення	0,47±0,11	24,3	25,4
НІР <sub>05</sub>	0,029	–	

У групі сортів середнього терміну досягання мінімальною (сорт Темп) та максимальною (Ділема, Червнева рання) кількістю титрованих кислот характеризувалися плоди зазначених сортів (таблиця 3).

Таблиця 3  
**Вміст титрованих кислот (ТК) та цукрово-кислотний індекс (ЦКІ) у плодах  
 черешні сортів середнього терміну досягання, %  
 (2008–2019 рр.),  $\bar{x} \pm s\bar{x}$ , n=5**

Помологічний сорт	Середній вміст ТК, %	Варіація за роками, V <sub>p</sub> , %	ЦКІ, в.о.
Винка	0,67±0,13	19,7	18,3
Первисток	0,64±0,13	20,1	19,4
Темп	0,57±0,12	21,3	23,9
Улюблениця Туровцева	0,70±0,15	22,0	15,5
Талісман	0,70±0,13	19,7	20,8
Ділема	0,72±0,14	20,0	17,9
Мелітопольська чорна	0,63±0,13	20,6	17,7
Кордія	0,63±0,14	22,5	20,9
Октавія	0,66±0,13	19,7	20,9
Оріон	0,61±0,13	22,6	22,0
Червнева рання	0,71±0,20	29,3	15,5
Дачниця	0,69±0,14	20,3	22,6
Простір	0,66±0,13	19,74	19,2
Середнє значення	0,66±0,14	20,7	19,5
НІР <sub>05</sub>	0,038	–	

Максимальна масова частка ТК у групі сортів пізнього строку досягання зафіксована у плодах сорту «Удівительна» (таблиця 4).

Таблиця 4  
**Вміст титрованих кислот (ТК) та цукрово-кислотний індекс (ЦКІ) у плодах  
 черешні сортів пізнього терміну достигання, %  
 (2008–2019 рр.),  $\bar{x} \pm s\bar{x}$ , n=5**

Помологічний сорт	Середній вміст ТК, %	Варіація за роками, $V_p$ , %	ЦКІ, в.о.
Крупноплідна	0,72±0,139	19,2	19,9
Каріна	0,65±0,116	17,7	18,9
Регіна	0,67±0,134	20,1	17,3
Міраж	0,68±0,132	19,3	20,1
Удівительна	1,00±0,201	20,0	13,0
Зодіак	0,65±0,129	19,8	20,2
Сюрприз	0,62±0,117	18,7	21,3
Колхозниця	0,74±0,149	20,0	16,9
Космічна	0,63±0,123	19,4	21,2
Празднічна	0,59±0,114	19,2	21,6
Анонс	0,66±0,138	20,7	18,5
Темпоріон	0,63±0,092	14,5	20,4
Меотида	0,70±0,149	21,2	20,1
Середнє значення	0,69±0,163	23,6	19,0
НІР <sub>05</sub>	0,025	–	

Серед сортів групи середнього та пізнього термінів достигання максимальний середній вміст ТК зафіксовано у плодах сортів «Ділема», «Червнева Рання», «Удівительна», «Колхозниця» та «Крупноплідна» (таблиці 3, 4).

Значення коефіцієнтів варіації дозволили констатувати, що найбільший вплив погодних чинників на вміст титрованих кислот виявлено для сортів «Світ Ерліз» ( $V_p=21,6\%$ ) та «Казка» ( $V_p=21,4\%$ ). Мінімальний коефіцієнт варіації зафіксовано у сорту «Валерій Чкалов» - 19,7%. У сортів середнього терміну достигання мінімальні коефіцієнти варіації визначені для плодів сортів «Винка», «Галісман», «Октавія», «Простір» ( $V_p=19,7\%$ ). У групі модельних сортів пізнього терміну достигання за вмістом ТК найбільш стабільним був сорт «Каріна» ( $V_p=17,7\%$ ).

За даними таблиць 2–4 діапазон середніх значень цукрово-кислотного індексу (ЦКІ) у плодах черешні трьох груп складає 13,0–25,4 в.о. З оптимальними параметрами ЦКІ визначено 31 модельний сорт черешні всіх термінів достигання. Діапазон показника становив в інтервалі 16,9–28,5 в.о. Винятком були сорти «Удівительна» (ЦКІ – 13,0 в.о.) та «Рубінова рання» (ЦКІ – 32,5 в.о.).

На формування фонду титрованих кислот у плодах модельних сортів всіх трьох груп домінуючий вплив мали абіотичні погодні параметри років досліджень (фактор А) з часткою впливу 70,3% для групи достигання раннього терміну, 44,5% – для групи середнього терміну достигання і 45,8% – для групи пізнього терміну достигання (таблиця 5).

Таблиця 5

**Результати двофакторного дисперсійного аналізу впливу абіотичного  
погодного фактору та сорту на формування фонду титрованих кислот  
для трьох груп модельних сортів**

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступінь свободи	Дисперсія	F <sub>факт</sub>	F <sub>таб.095</sub>	Вплив, %
<b>Сорти черешні раннього терміну досягання</b>						
Фактор А (рік)	2,020	11	0,184	594,0	1,8	70,3
Фактор В (сорт)	1,070	6	0,178	576,8	2,2	8,3
Взаємодія АВ	0,253	66	0,004	12,4	1,4	19,5
<b>Сорти черешні середнього терміну досягання</b>						
Фактор А (рік)	6,955	11	0,632	1159,9	1,8	44,5
Фактор В (сорт)	0,823	12	0,069	125,8	1,8	25,1
Взаємодія АВ	1,934	132	0,015	26,9	1,3	27,9
<b>Сорти черешні пізнього терміну досягання</b>						
Фактор А (рік)	5,738	11	0,522	2129,7	1,8	45,8
Фактор В (сорт)	4,504	12	0,375	1532,3	1,8	35,9
Взаємодія АВ	2,166	132	0,016	66,9	1,3	17,3

Для групи сортів середнього та пізнього термінів досягання істотним був і вплив фактору сортових особливостей (фактор В) з часткою впливу 25,1 і 35,9%, відповідно. Для плодів сортів групи раннього терміну досягання вплив цього фактору був низьким, з часткою 8,3 %.

Регресійна модель залежності накопичення показника титрованих кислот від абіотичних параметрах у стандартизованому вигляді має наступний вигляд:

– для ранніх сортів:

$$\hat{Y}_1 = 0,62875\tilde{X}_1 + 0,1820\tilde{X}_2 + 0,2612\tilde{X}_3 + 0,13290\tilde{X}_4 + 0,490352\tilde{X}_5 - \\ - 0,17954\tilde{X}_6 - 0,0456\tilde{X}_7 + 0,19142\tilde{X}_8 + 0,062705\tilde{X}_9 + 0,267523\tilde{X}_{10} + 0,12964\tilde{X}_{11}$$

– для середніх сортів:

$$\hat{Y}_2 = 0,489599\tilde{X}_1 + 0,312162\tilde{X}_2 + 0,335628\tilde{X}_3 - 0,0361\tilde{X}_4 + 0,335628\tilde{X}_5 - \\ - 0,19027\tilde{X}_6 + 0,066303\tilde{X}_7 + 0,2263\tilde{X}_8 - 0,22744\tilde{X}_9 + 0,347166\tilde{X}_{10} + 0,30343\tilde{X}_{11}$$

– для пізніх сортів:

$$\hat{Y}_3 = 0,445998\tilde{X}_1 + 0,121565\tilde{X}_2 + 0,217837\tilde{X}_3 + 0,28610\tilde{X}_4 + 0,428744\tilde{X}_5 - \\ - 0,26322\tilde{X}_6 - 0,26471\tilde{X}_7 + 0,099087\tilde{X}_8 + 0,063256\tilde{X}_9 + 0,180767\tilde{X}_{10} + 0,053937\tilde{X}_{11}$$

На підставі побудованих моделей для кожного фактору розраховані коефіцієнти  $\Delta_i, i = 1..14$  за формулою 4.

Ранжування погодних факторів за ступенем їх впливу на накопичення титрованих кислот в плодах черешні трьох строків досягання виявило, що для сортів черешні раннього, середнього та пізнього термінів досягання максимальний вплив та 1 ранг має фактор середньомісячна сума опадів в травні ( $X_1$ ); для сортів

середнього строку досягання середня мінімальна відносна вологість повітря в травні ( $X_3$ ).

Згідно з даними таблиці 6, до другої групи відносяться фактори, що мають середній вплив на накопичення титрованих кислот в плодах черешні раннього, середнього термінів досягання зі значенням  $\Delta_i$  від 3,26% до 9,31%. До погодних факторів, що мають середній вплив на накопичення титрованих кислот виділені:

– для групи сортів раннього терміну досягання: середньомісячна відносна вологість повітря ( $X_2$ ) та різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами ( $X_6$ ) в травні; середня мінімальна відносна вологість повітря ( $X_4$ ) в червні; сума опадів в період після цвітіння до досягання плодів ( $X_8$ ); середня мінімальна відносна вологість повітря в період збору плодів ( $X_{10}$ );

– для групи сортів середнього терміну досягання: середня мінімальна відносна вологість повітря ( $X_4$ ) та різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами повітря ( $X_7$ ) в червні, сума опадів в період після цвітіння до досягання плодів ( $X_8$ ), середня мінімальна ( $X_{10}$ ) та середня відносна ( $X_{11}$ ) вологість повітря в період збору плодів.

– для групи сортів пізнього терміну досягання: середньомісячна відносна вологість повітря ( $X_2$ ) та середня мінімальна відносна вологість повітря ( $X_3$ ) в травні, сума опадів в період після цвітіння до досягання плодів ( $X_8$ ), середня мінімальна відносна вологість повітря ( $X_{10}$ ) в період збору плодів.

В другій групі факторів для плодів черешні трьох строків досягання виявлено 2 спільні погодні фактори, що мають вплив на накопичення титрованих кислот в плодах раннього, середнього, пізнього термінів зберігання – сума опадів в період після цвітіння до досягання плодів ( $X_8$ ) та середня мінімальна відносна вологість повітря ( $X_{10}$ ) в період збору плодів.

Аналіз показників ряду ранжування погодних факторів другої групи щодо їх впливу на досліджуваний показник підтверджує помірний вплив факторів на накопичення титрованих кислот в плодах черешні. Так, в групі сортів раннього терміну досягання фактори ( $X_2, X_4, X_6, X_8, X_{10}$ ) займають 4-8 ранг; в групі сортів середнього терміну досягання для факторів ( $X_4, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}$ ) характерний 5-9 ранг; в групі сортів пізнього терміну досягання погодні фактори другої групи ( $X_2, X_3, X_8, X_{10}$ ) займають 3-9 ранги за ступенем їх впливу.

До третьої групи відносяться інші погодні фактори, що мають слабкий вплив на накопичення титрованих кислот. Згідно з даними таблиці 6, значення  $\Delta_i$  для сортів раннього строку досягання від 0,90% до 2,56%; для групи сортів середнього терміну досягання  $\Delta_i$  0,75% – 0,85%; пізнього терміну досягання 0,88%. Сумарний відсоток долі впливу факторів цієї групи для групи сортів раннього терміну досягання становить – 4,57%, для сортів середнього терміну досягання – 1,60%, для групи сортів пізнього терміну досягання – 1,76%. Для всіх груп сортів визначено спільний погодний фактор, що займає у ряді ранжування 11 місто та за отриманими даними не суттєво впливає на накопичення фонду титрованих кислот трьох термінів досягання це різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами в період збору плодів ( $X_9$ ).

Таким чином, на накопичення титрованих кислот у плодах черешні незалежно від терміну досягання найбільший вплив мають погодні умови травня, а саме – середньомісячна сума опадів (1 ранг), для сортів раннього терміну досягання вирішальними є погодні умови травня, середнього та пізнього строку досягання травня та червня.

Таблиця 6

Таблиця коефіцієнтів парної кореляції між погодними факторами ( $X_i$ ) та вмістом титрованих кислот у плодах черешні раннього ( $r_{y_1, x_i}$ ), середнього ( $r_{y_2, x_i}$ ), пізнього ( $r_{y_3, x_i}$ ) термінів досягання

Фактор ( $X_i$ )	Умовні позначення фактору ( $X_i$ )	Парні коефіцієнти кореляції $r_{y_j, x_i}$ для груп сортів								
		ранні			середні			пізні		
		$r_{y_1, x_i}$	$\Delta_i, \%$	ранг	$r_{y_2, x_i}$	$\Delta_i, \%$	ранг	$r_{y_3, x_i}$	$\Delta_i, \%$	ранг
$X_1$	Середньомісячна сума опадів у травні, мм	0,962	34,06	1	0,856	11,52	4	0,802	23,99	1
$X_2$	Середньомісячна відносна вологість повітря у травні, %	0,677	6,94	5	0,702	18,33	2	0,635	5,18	7
$X_3$	Середня мінімальна відносна вологість повітря у травні, %	0,710	10,44	3	0,760	19,12	1	0,636	9,31	6
$X_4$	Середня мінімальна відносна вологість повітря в червні, %	0,435	3,26	8	0,305	5,91	8	0,569	10,93	4
$X_5$	Загальна кількість днів з опадами більше 1 мм у травні, %	0,797	22,02	2	0,724	15,07	3	0,672	19,33	2
$X_6$	Різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами травня, °C	-0,551	5,57	7	-0,609	0,85	10	-0,587	10,37	5
$X_7$	Різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами червня, °C	-0,430	1,11	10	-0,284	5,48	9	-0,649	11,54	3
$X_8$	Сума опадів в період після цвітіння до досягання плодів, %	0,569	6,13	6	0,524	7,15	7	0,503	3,35	9
$X_9$	Різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами в період збору плодів, °C	-0,255	0,90	11	-0,571	0,75	11	-0,207	0,88	11
$X_{10}$	Середня мінімальна відносна вологість повітря в період збору плодів, %	0,464	7,00	4	0,656	7,42	6	0,349	4,24	8
$X_{11}$	Середня відносна вологість повітря в період збору плодів, %	0,351	2,56	9	0,620	8,40	5	0,243	0,88	10



**Висновки.**

1. Максимальні показники вмісту титрованих кислот визначено у сортів «Валерій Чкалов», «Ділема», «Удівительна» (0,53, 0,72 та 1,00%, відповідно) при  $V_p=19,7-20,0\%$ .

2. Оптимальні параметри цукрово-кислотного індексу визначено у плодах 31 сортозразків черешні всіх термінів досягання з діапазоном показника в інтервалі 16,9–28,5 в.о.

3. Для всіх груп сортів, незалежно від терміну досягання, домінуючий вплив на формування фонду титрованих кислот мали погодні умови, що склалися протягом років досліджень.

4. Виконано кореляційний аналіз впливу погодних факторів на вміст титрованих кислот в плодах черешні раннього, середнього та пізнього термінів досягання. Визначена середня та сильна кореляційна залежність між 11 погодними факторами ( $X_i, i=1..11$ ) та вмістом титрованих кислот для сортів черешні раннього, середнього, пізнього термінів досягання ( $|r_{y,x_i}| \geq 0,55, i=1..11, j=1..3$ ).

5. На основі методів головних компонент та методу найменших квадратів побудовано моделі залежності накопичення фонду титрованих кислот від впливу погодних факторів для груп сортів раннього, середнього та пізнього термінів досягання.

6. На основі побудованих регресійних моделей виконано аналіз долі впливу кожного з погодних факторів на показник змісту титрованих кислот. Розраховані коефіцієнти відносного впливу факторів  $\Delta_i, \%$  показали, що найбільший вплив встановлений для групи температурних показників та показників вологості з максимальною долею участі  $\Delta_i \geq 10,37\%$  в загальному впливі факторів на показник змісту титрованих кислот в плодах черешні.

7. Встановлено діапазони долі участі погодних факторів, що мають максимальний вплив на формування фонду титрованих кислот в плодах черешні ( $\Delta, 10,37\%$  до  $34,06\%$ ).

8. Для сортів трьох термінів досягання визначено погодні параметри, що мають максимальний вплив на процес накопичення титрованих кислот в плодах черешні: для ранніх, середніх сортів виявився спільний вплив трьох погодних факторів це середньомісячна сума опадів, середня мінімальна відносна вологість повітря, загальна кількість днів з опадами більше 1 мм в травні; для пізніх сортів середньомісячна сума опадів, загальна кількість днів з опадами більше 1 мм, різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами повітря травня та середня мінімальна відносна вологість повітря та різниця між середніми максимальними та мінімальними температурами повітря червня.

9. Ранжування погодних факторів за ступенем їх впливу на накопичення титрованих кислот в плодах черешні трьох строків досягання виявило, що для сортів черешні раннього, середнього та пізнього термінів досягання максимальний вплив та 1 ранг має фактор середньомісячна сума опадів в травні ( $X_1$ ); для сортів середнього строку досягання середня мінімальна відносна вологість повітря в травні ( $X_3$ ).

10. На основі регресійного аналізу обґрунтовано, що на накопичення титрованих кислот у плодах черешні незалежно від терміну досягання найбільший вплив мають погодні умови травня, а саме - середньомісячна сума опадів (1 ранг), для сортів раннього терміну досягання вирішальними є погодні умови травня, середнього та пізнього строку досягання травня та червня.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Some biological properties and fruit quality parameters of new sweet cherry cultivars and perspective selections / H. Jänes et al. *Agronomy*. 2010. Research 8 (Special Issue III), P. 583–588.
2. New cultivars and future perspectives in professional fruit breeding in Estonia / K. Kask et al. *Agronomy*. 2010. Research 8 (Special Issue III), P. 603–614.
3. Physico-chemical and antioxidant properties of new sweet cherry cultivars from Iași, Romania / S. Sirbu et al. *Agronomy*. 2012. Research 10 (1–2), P. 341–352.
4. Horticulture in Iran can be an alternative to petroleum and a major source of international business with unique potential and challenges / E. Fallahi. *Hort-Science: a publication of the American Society for Horticultural Science*. 2017. 52(9), P. 1145–1147.
5. Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage / I. Ivanova et al. In: Nadykto V. (eds) *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer. 2019. Cham, P. 707–717. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_69)
6. Sweet cherry fruit firmness and postharvest quality of late-maturing cultivars are improved with low-rate, single applications of gibberellic acid / T.C. Einhorn et al. *HortScience*. 2013. 48 (8), P. 1010–1017.
7. Effect of Living Mulch on Chlorophyll Index, Leaf Moisture Content and Leaf Area of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) / T. Gerasko et al. In: Nadykto V. (eds) *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer. 2019. Cham, P. 681–688. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_66)
8. Diagnostics of parameters of interrelations of mineral nutrition and formation of yield of fruit crops for intensive technologies of their cultivation / T. Malyuk et al. *Banat's Journal of Biotechnology*. 2014. 9, P. 41–44.
9. Іванова І.Є., Сердюк М.Є., Кривонос І.А., Єременко О.А., Тимошук Т.М., Формування смакових якостей плодів черешні під впливом погодних чинників. *Наукові горизонти*. 2020. №4(89). С. 72–81.
10. Pomological and chemical characteristics of sweet cherry cultivars grown in Dalmatia, Croatia. / M. Radunic et al. *Acta Horticulturae*. 2014. 1020, P. 385–388.
11. Serdyuk, M., Stepanenko, D. Formation of the taste of plum fruits under the influence of abiotic factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. 4(10), P. 55–60.
12. Compositional changes in cell wall polysaccharides from five sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars during on-tree ripening / M.F. Basanta et al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. 62 (51), P. 12410–12427.
13. The effect of climatic conditions on sweet cherry fruit treated with plant growth regulators / S. Zeman et al. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2013. 11 (2), P. 524–528.
14. Martini C., Man M. *Monilinia fructicola*, *Monilinia laxa* (*Monilinia* Rot, Brown Rot) Postharvest Decay. *Control Strategies*. 2014. P. 233–265.
15. Postharvest properties of sweet cherry fruit depending on rootstock and conditions / E. Dziedzic et al. *Folia Horticulturae*. 2017. 29 (2), P. 113–121.
16. Kelechi, A.C. Regression and Principal Component Analyses: a Comparison Using Few Regressors. *American Journal of Mathematics and Statistics*. 2012. 2(1), P. 1–5.
17. Research methods of fruit, vegetable and berry products / M.E. Serdiuk et al. Melitopol. 2020. *Liuks*.
18. Chen M.-m., Ma J.-j. Application of Principal Component Regression Analysis in Economic Analysis, *3rd International Conference on Management Science, Education Technology, Arts, Social Science and Economics*. 2015. Atlantis Press <https://doi.org/10.2991/msetasse-15.2015.255>

19. Chigozie A.K. Regression and Principal Component Analyses: a Comparison Using Few Regressors. *American Journal of Mathematics and Statistics*. 2012. № 2(1). P. 1–5. <https://doi.org/10.5923/j.ajms.20120201.01>

#### REFERENCES:

1. Jänes, H., Ardel, P., Kahu, K., Kelt, K., Kikas, A. (2010). Some biological properties and fruit quality parameters of new sweet cherry cultivars and perspective selections. *Agronomy Research* 8 (Special Issue III), 583–588.
2. Kask, K., Jänes, H., Libek, A., Arus, L., Kikas, A., Kaldmäe, H., Unive, N., Univer, T. (2010). New cultivars and future perspectives in professional fruit breeding in Estonia. *Agronomy Research* 8 (Special Issue III), 603–614.
3. Sîrbu, S., Niculaua, M., Chiriță, O. (2012). Physico-chemical and antioxidant properties of new sweet cherry cultivars from Iași, Romania. *Agronomy Research* 10 (1–2), 341–352.
4. Fallahi, E. (2017). Horticulture in Iran can be an alternative to petroleum and a major source of international business with unique potential and challenges. *Hort-Science: a publication of the American Society for Horticultural Science* 52(9), 1145–1147.
5. Ivanova, I., Kryvonos, I., Shleina, L., Taranenko, G., Gerasko, T. (2019). Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham, 707–717.
6. Einhorn, T.C., Wang, Y., Turner, J. (2013). Sweet cherry fruit firmness and post-harvest quality of late-maturing cultivars are improved with low-rate, single applications of gibberellic acid. *HortScience*, 48 (8), 1010–1017.
7. Gerasko, T., Velcheva, L., Todorova, L., Pokoptseva, L., Ivanova, I. (2019). Effect of Living Mulch on Chlorophyll Index, Leaf Moisture Content and Leaf Area of Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham, 681–688.
8. Malyuk, T., Pcholkina, N., Pachev, I. (2014). Diagnostics of parameters of interrelations of mineral nutrition and formation of yield of fruit crops for intensive technologies of their cultivation. *Banat's Journal of Biotechnology*, 9, 41–44.
9. Ivanova, I., Serdyuk, M., Kryvonos, I., Yeremenko, O., & Tymoshchuk, T. (2020). Formation of flavoring qualities of sweet cherry fruits under the influence of weather factors. *Scientific Horizons*, 23(4), 72–81.
10. Radunic, M., Spika, M.J., Strikic, F., Ugarkovic, J., Cmelik, Z. (2014). Pomological and chemical characteristics of sweet cherry cultivars grown in Dalmatia, Croatia. *Acta Horticulturae*. 1020, 385–388.
11. Serdyuk, M., Stepanenko, D. (2015). Formation of the taste of plum fruits under the influence of abiotic factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4(10), 55–60.
12. Basanta, M.F., Ponce, Nora M.A., Salum, M.L., Rafo, M.D, Vicente, A.R, Erra-Balsolls, R, Stort, C.A. (2014). Compositional changes in cell wall polysaccharides from five sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars during on-tree ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62 (51), 12410–12427.
13. Zeman, S., Jemric, T., Cmelik, Z., Fruk, G., Bujan, M., Tompic, T. (2013). The effect of climatic conditions on sweet cherry fruit treated with plant growth regulators. *Journal of Food Agriculture and Environment* 11 (2), 524–528.
14. Martini, C., Man, M. (2014). *Monilinia fructicola*, *Monilinia laxa* (*Monilinia* Rot, Brown Rot) Postharvest Decay. *Control Strategies*, 233–265.
15. Dziedzic, E., Blaszczyk, J., Kaczmarczyk, E. (2017). Postharvest properties of sweet cherry fruit depending on rootstock and conditions. *Folia Horticulturae*. 29 (2), 113–121.

16. Kelechi, A.C. (2012). Regression and Principal Component Analyses: a Comparison Using Few Regressors. *American Journal of Mathematics and Statistics*. 2(1), 1–5.
  17. Serdiuk, M.E., Priss, O.P., Haprindashvili, N.A., Ivanova, I.Ye. (2020). Research methods of fruit, vegetable and berry products. Melitopol. *Liuks*.
  18. Chen, M.-m., Ma, J.-j. (2015). Application of Principal Component Regression Analysis in Economic Analysis, *3rd International Conference on Management Science, Education Technology, Arts, Social Science and Economics*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/msetasse-15.2015.255>
  19. Chigozie, A.K. (2012). Regression and Principal Component Analyses: a Comparison Using Few Regressors. *American Journal of Mathematics and Statistics*. 2(1). 1–5. <https://doi.org/10.5923/j.ajms.20120201.01>
-

UDC 641.1 + 641.51

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.11>

---

## FEATURES OF DIGESTIVE BOILERS IN THE RESTAURANT BUSINESS AND FOOD INDUSTRY

---

**Kryvoruchko M. Yu.** – PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor, Associate Professor at the Department of Design, Engineering  
and Land Surveying of the State University of Trade and Economics  
ORCID ID: 0000-0002-7378-1050

**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

**Rasulov R. A.** – PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor, Associate Professor at the Department of Design, Engineering  
and Land Surveying of the State University of Trade and Economics  
ORCID ID: 0000-0003-4140-3386

**Ratushenko A. T.** – PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor, Associate Professor at the Department of Food Technology  
of the Open International University of Human Development “Ukraine”  
ORCID ID: 0000-0001-7998-1080

**Gorkun A. O.** – Master,  
Postgraduate Student at the Department of Hotel, Restaurant and Tourism Business  
of the Kyiv University of Culture  
ORCID ID: 0009-0002-0370-4823

**Tonkykh O. H.** – PhD of Economic Sciences,  
Associate Professor, Associate Professor at the Department of Tourism, Hotel and  
Restaurant Business of the Kyiv National University of Technologies and Design  
ORCID ID: 0000-0001-7823-4761

*The article describes the features of thermal cooking technological equipment. The paper examines the peculiarities of the interaction of thermal cooking equipment with food raw materials and food products and gives an overview of the application for various technological processes in the food industry and restaurant establishments. Despite the large number of scientific works devoted to the topic of technological equipment, in particular cooking equipment, in Ukraine this is an insufficiently covered topic that needs research, given the current conditions in the national economy. The structure and principles of operation of digestive boilers with direct and indirect heating in catering establishments are considered. The use of boilers makes it possible to speed up the cooking process; specific energy consumption and heat loss are lower compared to stoves. During cooking in modern pans, heat losses exceed 50% of the used power of the burner. The working chamber of the boiler is surrounded by a steam-water shell, where superheated steam under pressure effectively transfers the heat of the contents of the cooking vessel through the entire surface of the wall. The tight lid on the cooking container prevents heat loss from above. Cooking boilers are installed in canteens, restaurants, and other food outlets with a large*

---

number of visitors. Electric boilers with indirect heating are equipped with a steam generator to produce steam from distilled water. The heating elements are TENS, which are fixed on the flange with a common block. The block is attached to the steam generator body using screws. In restaurants, mostly electric and gas boilers are used, less often – steam boilers. Performance indicators of boilers depend on the mode of operation and correct operation. All performance indicators affect the efficiency of the boiler or depend on it. The operational characteristics of the boilers are improved if the cooking vessel is heated by two groups of heaters located near the bottom and walls, and if the thermostats are correctly set, which prevent violent boiling of the liquid, including when the working chamber is not completely filled. The coefficient of useful action increases with an increase in the load factor of the cooking vessel during heating of the contents of the boiler to boiling, as the specific heat exchange surface decreases.

**Key words:** technological equipment, cooking equipment, TEN, digestion boiler, turbine valve, steam valve, vacuum valve, restaurant establishments.

**Криворучко М. Ю., Антоненко А. В., Расулов Р. А., Ратушенко А. Т., Горкун А. О., Тонких О. Г. Особливості стравоварильних котлів у ресторанному бізнесі та харчовій промисловості**

У статті описано особливості теплового варильного технологічного устаткування. У роботі розглянуто особливості взаємодії теплового варильного устаткування з продовольчою сировиною та харчовими продуктами та дано огляд застосування для різних технологічних процесів у харчовій промисловості та закладах ресторанного господарства. Незважаючи на велику кількість наукових праць, присвячених темі технологічного обладнання, зокрема варильного устаткування, в Україні це недостатньо висвітлена тема, яка потребує дослідження, враховуючи сучасні умови в національній економіці. Розглянуто будову та принципи дії стравоварильних котлів з прямим і непрямим нагрівом у закладах харчування. Використання котлів дає змогу прискорити процес варіння; питомі витрати енергії та втрати теплоти менші, порівняно з плитами. Під час варіння у сучасних каструлях теплові втрати перевищують 50 % від використаної потужності конфорки. Робоча камера котла оточена пароводяною оболонкою, де перегріта пара під тиском ефективно передає теплоту вмісту варильної ємності крізь усю поверхню стінки. Щільна кришка на варильній ємності запобігає втратам теплоти згори. Стравоварильні котли встановлюються в їдальнях, ресторанах, інших пунктах харчування з великою кількістю відвідувачів. Електричні котли з непрямим нагріванням оснащені парогенератором для виробництва пари з дистильованої води. Нагрівальними елементами є ТЕНи, які закріплюють на фланці спільним блоком. Блок приєднують до корпусу парогенератора за допомогою гвинтів. В закладах ресторанного господарства переважно використовують електричні і газові котли, рідше – парові. Показники роботи котлів залежать від режиму роботи та правильної експлуатації. Усі показники роботи впливають на коефіцієнт корисної дії котла або залежать від нього. Експлуатаційні характеристики котлів покращуються, якщо варильна ємність нагрівається двома групами нагрівачів, розміченими біля днища та стінок, та за умови правильного налаштування терморегуляторів, які запобігають бурхливому кипінню рідини, в тому числі під час неповного заповнення робочої камери. Коефіцієнт корисної дії зростає зі збільшенням коефіцієнта завантаження варильної ємності під час нагрівання вмісту котла до кипіння, оскільки знижується питома поверхня теплообміну.

**Ключові слова:** технологічне устаткування, варильне устаткування, ТЕН, стравоварильний котел, клапан-турбінка, паровий клапан, вакуумний клапан, заклади ресторанного господарства.

**Introduction.** Cooking is a process of hydrothermal processing of products in order to bring them to culinary readiness. During cooking, proteins are denatured and coagulated, the collagen of the connective tissue of meat and fish raw materials is transformed into gluten, the majority of vegetative microorganisms die, and enzymes are inactivated.

The medium for cooking is water, broth, milk, sauce, juice, syrup, moisture and saturated steam. Regardless of the intensity of the heat flow during cooking, overheating of the product surface does not occur, semi-finished products are gradually heated evenly throughout the entire volume to the state of culinary readiness.

The cooking process can be accelerated by increasing the temperature and pressure in the cooking vessel. The disadvantage is the increased thermal destruction of the

product components, which worsens the quality of culinary products. The rate of nutrient transition into cooking water depends on the difference in their concentrations in the environment and near the surface of the product. Thus, cooking is not only a heat exchange process, but also a complex mass exchange process.

Cooking can be done in the main way and in steam. Cooking in a large amount of liquid is characterized by a significant concentration difference between the product and the medium. If the products are immersed in boiling water, the output of the culinary product increases, since a smaller amount of extractive substances passes into the water. For the preparation of broths, on the contrary, they seek to transfer more nutrients into the environment, so the raw materials are put in cold water, and then brought to a boil. During steam cooking, the surface layer of the product is dehydrated, which reduces the loss of mass of finished products.

**Formulation of the problem.** Let's consider the dynamics of temperatures during the cooking of products in a digestive cauldron or in kitchen utensils. During heating of the cooking medium, its temperature rises to 100 °C. Next, the product is fed into the cooking container and the temperature of the cooking medium drops rapidly. The heating device must have sufficient power to quickly restore the temperature, otherwise the productivity of the equipment decreases, and the quality of culinary products deteriorates.

After restoring the cooking temperature, the intensity of heat supply to the cooking medium is reduced. In specialized cooking devices, this happens by automatically adjusting the power of the heaters. During cooking in a plate dish, the power of the heating elements is changed manually. After the heaters are completely turned off, the product is brought to readiness using the accumulated heat. In this way, for example, porridge is prepared in the conditions of restaurants.

Cooking boilers are designed for cooking food products in a large amount of liquid; sometimes used for steaming. The design of the boilers should ensure that the product is heated to no higher than 100 °C and ensure the regulation of the cooking mode within the limits of the boiling temperature. The technological environment of food boiling boilers is water or broth with a temperature of 100 °C.

**The aim of the study.** The purpose of the work is a scientific study of the principles of operation of thermal cooking equipment in restaurants and the food industry.

The object of the research is thermal cooking equipment and the principles of its operation.

The subject of the study is digester boilers with direct and indirect heating.

**Analysis of recent research and publications.** Scientific substantiation and development of competitive technological equipment is an urgent task, the solution of which will allow expanding the range of food products and obtaining products with specified properties.

The research of the following domestic and foreign scientists made a significant contribution to the solution of fundamental issues of technological equipment for the creation of food products: O.O. Grinchenko, A.B. Horalchuk, A.M. Dorokhovych, I.Yu. Zhigalenko, A.V. Ziolkovska, M.B. Kolesnykova, H.M. Lysyuk, L.P. Malyuk, L.M. Mostovoy, N.Ya. Orlova, M.I. Peresichny, P.P. Pivovarova, N.V. Prytulska, G.B. Rudavska, M.R. Ennis, J.C.F. Murray, G.O. Phillips, W.C. Weling, P.A. Williams et al. [1-10].

**Presentation of the main research material.** Cooking pots are used to prepare soups (first dishes), main hot dishes (second dishes), side dishes; cooking hot drinks, sweet dishes; boiling products for further use in the production of cold dishes and

snacks; boiling large amounts of water or milk; preparation of some universal semi-finished products (broths, sauces, etc.). With the help of special perforated inserts, it is possible to cook with steam. The technological medium of boilers is water or broth with a temperature of 100 °C.

The use of boilers makes it possible to speed up the cooking process; specific energy consumption and heat loss are lower compared to stoves. Yes, even during cooking in modern pans, heat losses exceed 50% of the used power of the burner. The working chamber of the boiler is surrounded by a steam-water shell, where superheated steam under pressure effectively transfers the heat of the contents of the cooking vessel through the entire surface of the wall. The tight lid on the cooking container prevents heat loss from above. Cooking boilers are installed in canteens, restaurants, and other food outlets with a large number of visitors.

The most widespread universal boilers, in which to cook any food products, prepare broths, soups, heat milk, prepare dairy culinary products, boil meat, fish, vegetables, prepare compotes, etc. Specialized devices designed for the preparation of certain types of food products (pasta products, sausages, etc.) have a simpler design – these devices are also classified as digestive boilers.

In restaurants, mostly electric and gas boilers are used, less often – steam boilers. Solid-fuel and liquid-fuel boilers are in demand in army and field conditions, as well as high-altitude hotels. According to the structural feature, such boilers are also modular and non-modular (island). The most common are boilers with a cylindrical cooking vessel or with a cooking vessel in the form of a parallelepiped. Boiling containers are stationary and tiltable (with the help of a worm mechanism, the cooking container rotates around a horizontal axis). Boilers with a cooking capacity of up to 250 dm<sup>3</sup> are in demand in the restaurant industry.

A design feature of boilers with direct heating is direct contact of the heating element or combustion products with the wall of the working chamber or the working environment. It is advisable to use such boilers at those enterprises where the cooking processes are auxiliary and short-term.

Cooking boilers with direct heating are electric, gas and solid fuel. They are simple in design and operation, but have significant disadvantages:

- uneven temperature distribution on the working surface;
- there must be local overheating of the surface and a high probability of the product burning;
- low efficiency;
- the thermal regime is difficult to regulate;
- due to unevenness of the temperature field on the surface of the working chamber, it is difficult to automate the brewing process;
- during work, constant monitoring of personnel and periodic mixing of the product in the working chamber is required.

Electric boilers with direct heating are divided into four groups according to the type of heater. The first group includes boilers with a closed-type electric heater installed in the bottom of the cooking vessel. With this way of placing heating elements, there is a high probability of products burning: power regulation in electric boilers with direct heating is carried out in a discrete way, that is, by turning off or turning on a certain number of heaters, which creates zones of local overheating of the working surface.

Equalization of the temperature field is possible by increasing the contact area of the heating elements with the working surface. This makes it possible to reduce the specific power of heating elements and reduce the probability of product burning. The named



structural solution is used in boilers of the second group, in which flexible tape heaters are used.

In boilers with band heaters, it is difficult to heat the bottom of the cooking vessel. When the working chamber is incompletely filled, a large part of it heats up without contact with the product. It is possible to effectively distribute the heat in the cooking vessel in boilers of the third group, in which the technology of sprayed semiconductor resistive layer is applied.

The electrical resistance of the resistive layer increases rapidly in a narrow temperature range and stabilizes at a certain level. The use of a resistive layer facilitates the automation of the apparatus, as the system becomes self-regulating.

Devices with a semiconductor resistive layer exist only as experimental samples. Mass distribution is hindered by the technical complications of uniform sputtering of the resistive layer and application of electrical insulation. The fourth group includes specialized cooking devices, where the heating element is immersed in the cooking medium inside the cooking container. Boilers with an immersed heater are mass-produced in the form of highly specialized small-sized devices for cooking sausages, dumplings, and pasta. To avoid contact of the product with the heating element and to reduce the possibility of product burning, the raw materials are placed in special perforated containers or mesh baskets. During the operation of such boilers, the cooking liquid should be changed in time to avoid thermal destruction of extractive water-soluble substances.

Fire boilers with direct heating work on gas, solid and liquid fuel. In these boilers, it is difficult to achieve uniform heating of the wall of the cooking vessel, so there is a high probability of products burning. During fuel burning, combustion products heat the outer wall of the cooking vessel. Combustion products have a maximum temperature (about 1000...2000 °C), which decreases during movement in gas ducts and at the exit is at least 300 °C. This leads to overheating of the working chamber.

There are ways to soften heat exchange:

- dilution of fuel combustion products with air, but this leads to a decrease in efficiency);
- use of a cooking vessel made of materials with a high coefficient of thermal conductivity and an increase in the wall thickness to 10...15 mm;
- use of a multi-layer structure with an aluminum layer. Operation of fire boilers with direct heating is possible only with constant monitoring of the cooking process by personnel.

In steam boilers with direct heating, the energy carrier is moist saturated steam that moves inside the steam heat exchanger located directly in the cooking vessel. The cooking vessel is not in direct contact with the heater. The wall of the steam heat exchanger is in direct contact with the cooking medium. Similarly to electric boilers, products are placed in mesh baskets. Thus, steam digester boilers with direct heating of the medium are used in restaurants as highly specialized heating devices.

Most of the digester boilers offered on the market today have indirect heating of the working chamber with the help of a steam-water jacket. The intermediate coolant between the heat generator and the wall of the cooking vessel is saturated steam with a temperature of up to 110 °C. Under conditions of constant pressure in the steam envelope on the wall of the cooking vessel, an isothermal field is formed, since the isobaric process is simultaneously isothermal for moist saturated steam. The use of an intermediate coolant in cooking devices with a shell creates a uniform temperature field on the wall of the cooking container.

Electric boilers with indirect heating are equipped with a steam generator to produce steam from distilled water. The heating elements are TENs, which are fixed on the flange with a common block. The block is attached to the steam generator body using screws.

The lampshades must be completely submerged in water. In the air, they overheat and quickly fail. The operation of heating elements in air is called "dry running". To avoid this phenomenon, it is impossible to allow the water level in the steam generator to decrease. The water level in the steam generator is regulated using a level tap.

An additional wall is placed around the cooking vessel of the boiler at a distance of 10...40 mm. It is hermetically connected to the cooking vessel by welding. The closed space formed is a vapor envelope. A steam generator is located below the shell. A drain tap is mounted from the bottom of the cooking vessel. The unit "cooking container-steam shell" is covered with thermal insulation and a decorative casing. In small-capacity boilers, this unit is placed on a fork-shaped bed, which makes it possible to rotate the cooking vessel around a horizontal axis using a worm gear or drive. This facilitates and accelerates the unloading of the finished product.

The steam generator with heating elements is filled with water to the required level through the filling funnel. The water level is regulated by the level tap. Measurement of pressure in the steam envelope and control of the technological process is carried out using an electric contact manometer or pressure switch. A double safety valve is provided to protect the shell from bursting under high pressure or crumpling during pressure reduction.

When the heaters are turned on, the water in the steam generator heats up and boils. Moist saturated steam moves up in the steam jacket, gives the latent heat of steam formation to the wall of the cooking vessel and condenses. The temperature of the cooking vessel increases and as it approaches the boiling point, the vapor pressure in the shell increases.

During the boiling of water in the working chamber, the pressure in the shell increases to such a level that the needle of the electrocontact manometer reaches the upper fixed contact needle. This leads to a short circuit in the electrical contact relay and the boiler power is automatically reduced. Relays are also provided in the steam generator. They turn off the heating elements when the water level in the steam generator drops below the permissible level.

Consider steam boilers with indirect heating. There are two design options for these digester boilers. Both designs involve the use of centralized steam supply. In the first version, the wall of the working chamber is heated by primary steam coming from the boiler room. The formed condensate from the shirt flows through the non-return valve to a special pipeline. A purge valve is provided to remove air from the shirt.

In the second version of the design, secondary steam is used, which is generated in a built-in steam generator using a steam tube heat exchanger. The primary steam moves in the heat exchanger, heats the water in the steam generator. Secondary steam is formed, which enters the steam-water jacket of the boiler.

Condensate from the jacket enters the steam generator, and from the heat exchanger – into a separate pipeline. Air is removed from the shirt and the heat exchanger in separate ways: a blow-off valve is provided for the heat exchanger, and air is removed from the shirt through a filling funnel. The main purpose of the watering can is to fill the steam generator with water.

The design using primary steam is more reliable than with a heat exchanger. A scheme with a steam-immersed heat exchanger that generates secondary steam is advisable if the primary steam is supplied with a pressure of at least 500 kPa, otherwise the surface

of the steam heat exchanger will not be sufficient. Technical means for the operation of safety systems and regulation of equipment are called fittings. Safety fittings include: double safety valve, turbine valve, safety explosion membrane. regulating fittings – electric contact manometer, pressure switch, devices for draining condensate. The safety valve includes a pressure gauge and a level control valve. For shut-off valves – water drain valves, steam valves, non-return valves, purge and air valves.

The turbine valve is installed on the hermetically sealed covers of the working chambers. The device prevents the pressure in the cooking vessel from increasing by more than 2.5 kPa (0.025 atm) above atmospheric. As a result of an increase in the pressure in the working chamber above the atmospheric pressure, the steam-air mixture from the cooking vessel comes out. The steam enters the spiral grooves of the turbine, where the force of the steam is divided into two components: horizontal and vertical. The horizontal component determines the rotational movement of the turbine. The vertical component of the force lifts the valve. Raising the valve reduces the working length of the turbine groove and the steam output increases. In an extreme situation, the turbine lifts and rotates the cargo sleeve. The sleeve pushes the upper valve up; due to this, the size of the opening for the release of steam into the atmosphere increases.

Even rotation of the ring on the rod indicates the proper operation of the valve. Too high a speed of rotation of the ring means a critical increase in pressure. It is necessary to reduce the intensity of heating.

A strong release of steam behind a stationary ring indicates sticking of the turbine to the valve body. This is an emergency that means the valve is malfunctioning. It is necessary to completely stop the cooking process. In some designs, it is possible to manually lift the turbine with a special lever if the turbine is stuck to the housing. This technique is also used to equalize the pressure in the working chamber with atmospheric pressure before opening the lid.

The electric contact manometer is designed to regulate the pressure level in the boiler shell and the cooking mode. A movable pointer (manometric) arrow indicates the amount of pressure in the shell, two fixed arrows are set on the minimum and maximum pressure marks. During the operation of the boiler, the manometric needle moves and when in contact with the needles or the electrical circuit is closed. This causes the heaters to turn on or off (or supply gas to the burner) To prevent deformation of the outer wall of the boiler shell as a result of pressure changes during steam heating or cooling, the shell is equipped with a double safety valve, which includes steam and vacuum valves.

A steam valve prevents the shell from bursting as a result of increased pressure. When the critical pressure is reached, the steam lifts the spool with the cargo sleeve and escapes to the atmosphere. The vacuum valve is designed to equalize the pressure inside the shell with atmospheric pressure after the boiler is turned off, which prevents the shell from crumpling. When the pressure decreases, a vacuum is created in the shell, the spool of the vacuum valve rises and air enters the shell from the outside. The double safety valve is designed for the safe operation of the "boiler-steam jacket" unit under excess pressure up to 50 kPa. Some valves of this type are additionally equipped with a lever for manual lifting of the steam valve with a cargo sleeve. This makes it possible to remove air from the steam jacket, that is, to carry out blowing.

**Conclusions.** Performance indicators of boilers depend on the mode of operation and correct operation. All performance indicators affect the efficiency of the boiler or depend on it. The operational characteristics of the boilers are improved if the cooking vessel is heated by two groups of heaters located near the bottom and walls,

and if the thermostats are correctly set, which prevent violent boiling of the liquid, including when the working chamber is not completely filled. The coefficient of effectiveness increases with the increase in the load factor of the cooking vessel during heating of the boiler contents to boiling, as the specific heat exchange surface (ratio between the heating surface and the useful volume of the boiler working chamber) decreases. And vice versa, the efficiency of the boiler decreases under operating conditions with an incompletely filled cooking tank: reducing the boiler content by 1 dm<sup>3</sup> reduces the efficiency by 0.5%. In modern models of boilers, a mode of softened heat treatment of raw materials at temperatures of 75...80 °C is provided. As a result, 50% more ascorbic acid and other biologically active substances are stored in vegetables. Generalized information about modern innovative constructive solutions of digester boilers indicate a significant expansion of the scope of application of these thermal devices.

#### BIBLIOGRAPHY:

1. Черевко О.І. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Харків: ХДУХТ. 2017. 591 с.
2. Yatsenko V.M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 2017. 619 с.
3. Інноваційні технології в житті сучасної людини. Серія монографій / [авт. кол.: А. В. Антоненко, Т. В. Бровенко, Г. А. Толоч ]. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2020. 209 с.
4. Антоненко А. В. Стратегії сталого розвитку в туризмі та готельно-ресторанному бізнесі: можливості і проблеми запровадження в Україні : кол. монографія / за ред. д-ра іст. наук, проф. Чепурди Г. М.; Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. 189 с.
5. Русавська В.А. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції. Київ: Видавництво Ліра. 2018. 420с.
6. Сучасна траєкторія розвитку науково-технічного прогресу в Україні та світі : колективна монографія / За заг. ред. Т. А. Ємел'янової. – Львів-Торунь : Ліга-Прес, 2021. 420 с.
7. Wissenschaft für den modernen Menschen: wirtschafts, management, marketing, tourismus, rechts und politikwissenschaften. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft» [Browenko T.V., Antonenko A.V. and others] Buch 4., Teil 6. 2021.
8. Мазаракі А.А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ: КНТЕУ. 2012. 1116 с.
9. Львович І.Я. Перспективні тренди розвитку науки: техніка и технології. Одеса: КУПРІЄНКО СВ. 2016. 197 с.
10. Antiushko, D., Bozhko, T., Shapovalova, Nutritional value of a dry soluble gerodietetic product for enteral nutrition. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. № 5. С. 35–42.

#### REFERENCES:

1. Cherevko O.I. (2017). Innovacijni tehnologii harchovoї produkції funkcional'nogo priznachennya. Harkiv: HDUHT. 591 s.
2. Yatsenko V.M. (2017). Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 619 s.
3. Gamayunova V.V. (2020) Innovacionnye tehnologii v zhizni sovremennogo cheloveka. Odessa: KUPRIENKO SV. 209 s.

4. Chepurda H.M. (2021). Stratehii staloho rozvytku v turyzmi ta hotelno-restorannomu biznesi: mozhlyvosti i problemy zaprovadzhennia v Ukraini. Cherkasy. ChDTU, p. 189.
  5. Rusavs'ka V.A. (2018). Teoretiko-praktichni pidhodi do efektyvnogo funkcionuvannya rinku gotel'no-restorannih poslug: stan, problemi, tendencii. Kiiv: Vidavnytvo Lira. 420 s.
  6. T.A. Yemelianova. (2021). Suchasna traiektoriia rozvytku naukovo-tekhnichnoho prohresu v Ukraini ta sviti / kolektyvna monohrafiia. Lviv-Torun. Liha-Pres, p. 420.
  7. Wissenschaft für den modernen Menschen: wirtschafts, management, marketing, tourismus, rechts und politikwissenschaften. (2021). Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft» [ Brovenko T.V., Antonenko A.V. and others] Buch 4., Teil 6.
  8. Mazaraki A.A. (2012). Tekhnologiya harchovih produktiv funkcional'nogo pryznachennya. Kiiv: KNTEU. 1116 s.
  9. L'vovich I.YA. (2016) Perspektivnye trendy razvitiya nauki: tekhnika i tekhnologii. Odesa: KUPRIENKO SV. 197 s.
  10. Antiushko, D., Bozhko, T. (2021). Nutritional value of a dry soluble gerodietetic product for enteral nutrition. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, (5), 35–42.
-

УДК 631.53:658.562  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.12>

## ЗАСТОСУВАННЯ АНТИМІКРОБНОЇ УПАКОВКИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА

**Маринін А. І.** – кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник, завідувач Проблемної науково-дослідної  
лабораторії Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0001-6692-7472

**Святненко Р. С.** – кандидат технічних наук,  
старший дослідник, старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної  
лабораторії Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0003-0895-6982

**Шевченко О. Ю.** – доктор технічних наук,  
професор, ректор Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-8818-2667

**Гармаш Д. В.** – доктор філософії,  
старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії  
Національного університету харчових технологій  
ORCID ID: 0000-0002-2053-6529

**Демченко В. Л.** – доктор хімічних наук,  
старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу зварювання пластмас  
Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук  
України  
ORCID ID: 0000-0001-9146-8984

**Рибальченко Н. П.** – кандидат біологічних наук,  
старший дослідник, старший науковий співробітник відділу антибіотиків  
Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного  
Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0002-0505-3406

Соціальна та економічна еволюція, включаючи зміни в споживчому попиті, покращення рівня життя, збільшення промислового виробництва, розвиток практик роздрібно-торгівлі, нові маркетингові цілі та зміни у способі життя споживачів, є основними силами, що сприяють еволюції нових і інноваційних методів пакування. Ці фактори ведуть до необхідності розробки упаковки, яка не тільки відповідає сучасним вимогам, але й враховує майбутні тренди. Основними цілями упаковки є забезпечення безпеки та якості харчових продуктів, а також подовження їх терміну придатності. Сучасна упаковка еволюціонує від простих методів зберігання до комплексних аспектів, таких як зручність для споживача, забезпечення цілісності упаковки під час транспортування і зберігання, ефективний маркетинг у точках продажу, зменшення витрат матеріалів та ресурсів, підвищення безпеки харчових продуктів і врахування екологічних проблем. Це включає впровадження нових матеріалів, які є більш екологічно чистими, технологій, що зменшують відходи та енергетичні витрати, а також інноваційні підходи до упаковки, які відповідають сучасним стандартам сталого розвитку та ефективності.

В статті описано результати досліджень впливу різних типів упаковки на фізико-хімічні властивості насіння гарбуза протягом періоду зберігання. Результати дослідження показують, що упаковка ПЛА-ПКЛ (80-20 мас. %)–Ag виявилася найбільш ефективною для збереження якості насіння гарбуза, забезпечуючи стабільність фізико-хімічних параметрів протягом тривалого періоду. Досліджено також вміст олії та вологисть насіння гарбуза та зроблено висновок про їхню стабільність незалежно від типу упаковки. Ці результати мають важливе значення для промислових виробників та сільськогосподарських підприємств, які здійснюють упаковку та зберігання насіння гарбуза.

З отриманих результатів фізико-хімічних показників насіння гарбуза встановлено, що всі отримані показники відповідають вимогам ДСТУ 5046:2008 «Насіння кавуна, дині, гарбуза. Технологія вирощування. Основні положення».

**Ключові слова:** насіння гарбуза, упаковка, фізико-хімічні показники, термін зберігання, біополімерна плівка, наносрібло.

**Marynin A. I., Svyatnenko R. S., Shevchenko O. Yu., Harmash D. V., Demchenko V. L., Rybalchenko N. P. The use of antimicrobial packaging for storing pumpkin seeds**

Social and economic evolution, including changes in consumer demand, improved living standards, increased industrial production, evolving retail practices, new marketing objectives and changes in consumer lifestyles, are the main forces driving the evolution of new and innovative packaging methods. These factors lead to the need to develop packaging that not only meets current requirements, but also takes into account future trends. The main goals of packaging are to ensure the safety and quality of food products, as well as to extend their shelf life. Modern packaging has evolved from simple storage methods to complex aspects such as convenience for the consumer, ensuring the integrity of the package during transportation and storage, effective marketing at the point of sale, reducing the consumption of materials and resources, improving food safety and taking into account environmental issues. This includes the introduction of new materials that are more environmentally friendly, technologies that reduce waste and energy costs, and innovative approaches to packaging that meet today's sustainability and efficiency standards.

The article describes the results of research on the influence of different types of packaging on the physical and chemical properties of pumpkin seeds during storage. The results of the study show that PLA-PCL (80/20)Ag packaging was the most effective for preserving the quality of pumpkin seeds, ensuring the stability of physicochemical parameters over a long period. The oil content and moisture content of pumpkin seeds were also studied and a conclusion was made about their stability regardless of the type of packaging. These results are important for industrial producers and agricultural enterprises that pack and store pumpkin seeds.

From the obtained results of the physical and chemical indicators of pumpkin seeds, it was established that all the obtained indicators meet the requirements of DSTU 5046:2008 «Seeds of watermelon, melon, pumpkin. Cultivation technology. Substantive provisions».

**Key words:** pumpkin solution, packaging, physical and chemical parameters, shelf life, biopolymer film, nanosilver.

**Постановка проблеми.** Збереження поживних якостей гарбузового насіння важливо підтримувати за допомогою відповідних методів пакування, а також пакувальних матеріалів та умов зберігання в роздрібній торговій мережі. Упаковка відіграє ключову роль у збереженні та захисті продукції від псування до моменту їх використання споживачами. Важливо, щоб самі пакувальні матеріали були спроектовані таким чином, щоб захищати продукт від окисного псування, гідролізу, забруднення пилом, поглинання зовнішніх запахів і присмаків, термічного розкладання та мікробного зараження.

Одним із найважливіших аспектів зберігання насіння є його захист від негативних зовнішніх впливів, таких як волога, світло, температурні коливання та шкідники. Традиційні пакувальні матеріали, такі як папір та поліетилен, здатні забезпечувати певний рівень захисту, але вони мають свої обмеження [1, с. 149].

Відомо [2, с. 98] що, одна з проблем виробництва та зберігання насіння пов'язана зі швидкістю псування, оскільки хімічна нестабільність ліпідів є одним із головних факторів зниження продуктивності насіння різних видів олійних під час зберігання.

Автори стверджують, що тип упаковки, який використовується для зберігання, має велике значення для збереження життєздатності та міцності насіння [3, с. 70]. А також упаковка, яка використовується для зберігання, повинна сповільнювати процес псування з метою зменшення дихання, таким чином зберігаючи початковий вміст вологи в насінні, що зберігається [4, с. 29].

Одним з рішень вищезгаданої проблеми є модифікована упаковка, яка використовувалася в кількох продуктах харчування [5, с. 108]. Термін «модифікована упаковка» стосується інноваційних рішень розробки упаковки, які допомагають збільшити термін придатності, підвищити безпеку, показати інформацію про якість і контролювати свіжість харчових продуктів, фруктів, фармацевтичних препаратів і багатьох типів інших продуктів [6, с. 78].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У деяких попередніх дослідженнях вивчався вплив упаковки на термін зберігання та якість харчових продуктів. Автори [7, с. 488] повідомили про нанесення на упаковку з м'ясних продуктів покриття з оксиду титану, яке вкрите наносріблом. Отримані результати показали, що упаковка має ряд переваг порівняно з традиційною упаковкою. Вчені [8, с. 412] наносили наночастинки срібла та оксид цинку на упаковку апельсинового соку та отримали позитивний результат. Упаковка з нанокompозитної плівки, що містить наносрібло, продемонструвала більш виражену антимікробну дію, порівняно з оксид цинку протягом 112 днів зберігання апельсинового соку. Автори [9, с. 8] досліджували вплив модифікованої упаковки на зберігання фіташок, а також додавання наночастинок оксиду цинку до упаковки для підвищення ефективності захисту від мікробного забруднення та псування продукту. Їхні результати дослідження вказують на значне збільшення терміну придатності фіташок за умови застосування модифікованої упаковки з наночастинками цинку оксиду.

Автори [10, с. 4] досліджували застосування біонанокompозитних плівок на основі агару, в які включено наночастинки оксиду цинку, як активний пакувальний матеріал для продовження терміну зберігання зеленого винограду та встановили, що розроблені зразки здатні ефективно зберігати зелений виноград, підвищуючи його термін зберігання та забезпечуючи захист від мікробного забруднення.

Автори [11, с. 745] проводячи оцінку упаковки, яка містила срібло (Ag) і оксид цинку (ZnO) на термін зберігання свіжого апельсинового соку встановили, що використання пакувальних матеріалів LDPE (поліетилен низької щільності), які містять наночастинки Ag і ZnO, є перспективним підходом для збереження та подовження терміну зберігання свіжого апельсинового соку при температурі 4 °C. Також вони з'ясували, що якість пакувальної плівки, зокрема, дисперсія наночастинок у полімерній матриці без їх агломерації, має значний вплив на антимікробну дію цих пакувальних матеріалів.

Автори [12] досліджували антимікробну активність пакувальних біополімерних матеріалів з наночастинками срібла для довготривалого зберігання харчових продуктів. Було встановлено, що матеріали ПЛА-ПКЛ з наночастинками Ag демонстрували антимікробний ефект щодо *S. aureus* та *E. coli*. Розроблені біополімерні матеріали є перспективними для застосування в харчовій промисловості для пакування харчових продуктів, що дозволить збільшувати термін зберігання різних груп продуктів, без зміни показників якості та безпечності.

**Постановка завдання.** Метою дослідження був аналіз фізико-хімічних показників насіння гарбуза протягом зберігання в різних видах упаковки.

Дослідження проводилися наступним чином. Пройшовши термічну обробку в електропечі при температурі 120 °C протягом 40 хв, зразки масою 30 г лущеного



насіння гарбуза закривали під вакуумом у різні типи упаковок. Після чого упаковані зразки насіння гарбуза розміщували на полицях при попаданні непрямого сонячного світла та за кімнатної температури. Спостереження за змінами складу гарбузового насіння в різних видах упаковки тривало протягом 3 місяців. Для тестування використовувалися наступні види упаковки (контроль), ПА/ПЕ, ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) та ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) - Ag.

Показники якості визначали за стандартними методиками: прозорість, смак та запах згідно з ГОСТ 5472-50 [13, с. 4].

Визначення кислотного числа, згідно з ДСТУ 4350:2004, здійснювали за допомогою методу, який полягає в розчиненні визначеної маси олії у суміші розчинників із подальшим титруванням вільних жирних кислот водним або спиртовим розчином калію або натрію гідроксиду [14, с. 8].

Показники перекисного числа визначали за допомогою методу ДСТУ 4570:2006, який ґрунтується на реакції взаємодії продуктів окиснення олій та жирів (пероксидів та гідрпероксидів) із калій йодидом у розчині оцтової кислоти і хлороформу та подальшому кількісному визначенні йоду, що виділився, розчином натрій тіосульфату титриметричним методом, та виражається як  $\frac{1}{2}$  О ммоль/кг олії [15, с. 5].

Визначення олійності олійного матеріалу проводили методом екстракції в апараті Сокслета NZ 45/40 з використанням петролейного ефіру при тривалості екстракції 8 год.

**Виклад основного матеріалу.** Результати досліджень фізико-хімічних показників насіння гарбуза протягом відповідного періоду зберігання представлені в таблиці 1 та на рис. 1-4.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники якості насіння гарбуза (контроль)**

Показники	Контроль	ДСТУ 5046:2008
Масова частка вологи, %, не більше	11	12,0
Масова частка порожнього і пошкодженого насіння, %, не більше	2,0	2,0
Масова частка сторонніх домішок рослинного походження (частини навколоплідника у вигляді плівки, залишки сухої м'якоти), %, не більше	1,8	2,0
Масова частка сторонніх домішок органічного походження (плоди або рослини інших неотруйних речовин), %, не більше	1,2	2,0
Масова частка насіння з плямами сірого кольору (незалежно від форми, розмірів і інтенсивності), %, не більше	4,0	5,0
Масова частка насіння з плямами від темно-жовтого до темно-коричневого кольору (незалежно від форми, розмірів і інтенсивності), %, не більше	5,0	8,0
Зараженість шкідниками	0	Не допускається
Масова частка металоманітної домішки (часток не більше 0,3 мм у найбільшому лінійному розмірі, а маса окремих її часток не повинна перевищувати 0,4 мг), %, не більше	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$

Продовження таблиці 1

Олійність, %	48,2	Не менше 40
Кислотне число, мг КОН/г	0,8	4
Перекисне число, $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг	2,3	10
Анізидинове число, у.о.	1,2	Не нормується

З отриманих результатів (таблиця 1) фізико-хімічних показників насіння гарбуза встановлено, що всі отримані показники відповідають вимогам ДСТУ 5046:2008 «Насіння кавуна, дині, гарбуза. Технологія вирощування. Основні положення».

Наступним етапом дослідження було дослідження зміни фізико-хімічних показників насіння гарбуза в різних видах упаковки протягом визначеного періоду зберігання.

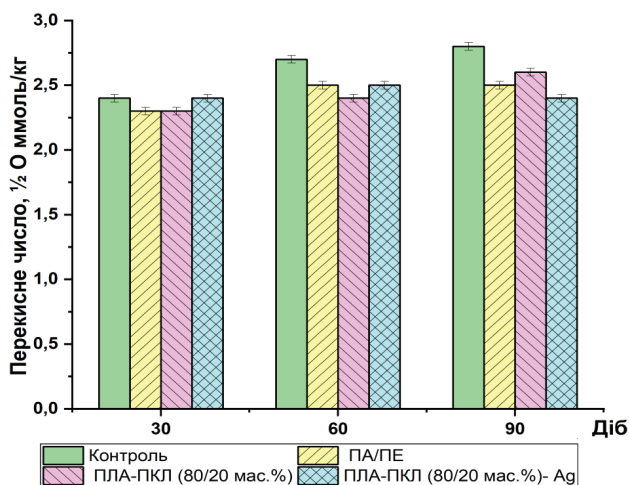


Рис. 1. Перекисне число насіння гарбуза в процесі зберігання

Перекисне число або показник, наприклад, при контролі якості олій та жирів у харчовій промисловості, де високий рівень перекисних сполук може вказувати на погіршення якості продукту через окислення [16, с. 45].

З результатів дослідження (рис. 1) встановлено, що перекисне число у насінні гарбуза змінювалося протягом трьох місяців зберігання при пакуванні у різних упаковках. У перший місяць зберігання, контроль та насіння в упаковці ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) - Ag показали найнижчі рівні перекисного числа (2,3 та 2,4  $\frac{1}{2}$  O ммоль/кг відповідно), в той час як запаковані зразки в упаковку ПА/ПЕ та ПЛА-ПКЛ показали однакові значення (2,3  $\frac{1}{2}$  O ммоль/кг). Протягом наступних двох місяців, рівень перекисного числа зріс у всіх зразках, проте в упаковці ПА/ПЕ та ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) - Ag спостерігався менший зріст порівняно з запакованим зразком в упаковку ПЛА-ПКЛ. На третій місяць, рівень перекисного числа знову зріс у всіх зразках, за винятком упаковки ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) - Ag, що може свідчити про певну ефективність цієї упаковки.

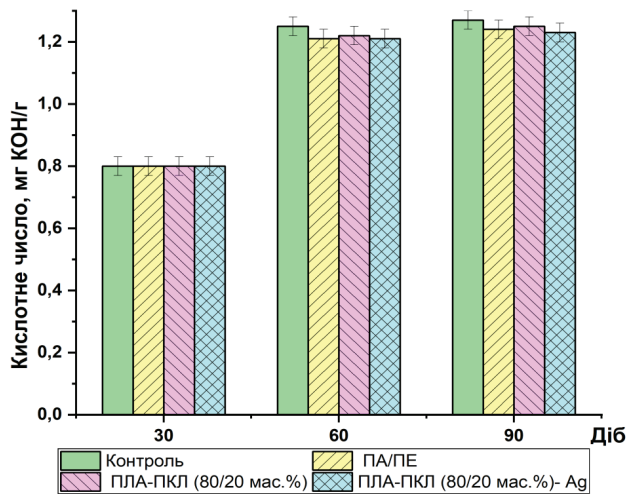


Рис. 2. Кислотне число насіння гарбуза при зберіганні

Кислотне число є одним із основних якісних показників, які характеризують ступінь свіжості жиру, та регламентується стандартами на всі види харчових жирів. В разі неправильного зберігання кількість вільних жирних кислот зростає і подальше їх окиснення призводить до появи дефектів смаку та запаху, а у разі більш глибоких процесів – до непридатності жиру для харчових цілей [17, с. 257].

Аналіз отриманих результатів вказує на те, що кислотне число насіння гарбуза змінювалося протягом часу та в залежності від типу упаковки (рис. 2). Встановлено, що на третій місяць зберігання спостерігався незначний підвищений рівень кислотного числа для всіх зразків. Проте, упаковка ПЛА-ПКЛ (80-20 мас. %) - Ag проявила себе як більш стабільна з найменшими змінами кислотного числа протягом часу зберігання.

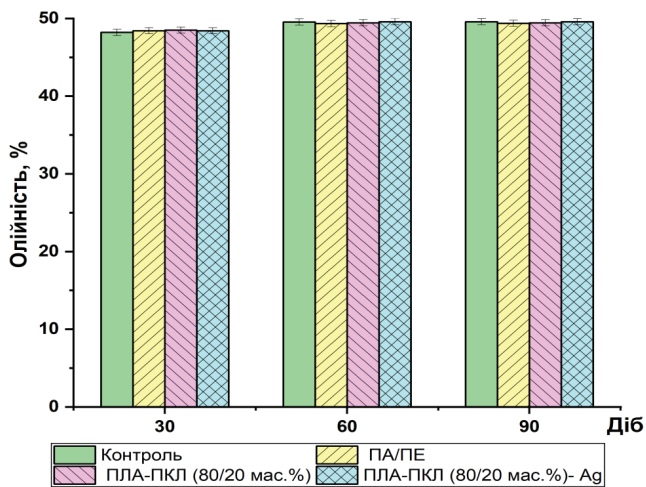


Рис. 3. Олійність насіння гарбуза при зберіганні

Вимірювання вмісту олії в насінні є важливим показником для визначення його олійності [18, с. 100].

Отримані значення вмісту олії в насінні гарбуза (рис. 3) за період зберігання залишалися стабільними та незмінними. Контрольний зразок та три види упаковки (ПА/ПЕ, ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) та ПЛА-ПКЛ (80:20 мас. %)-Ag) відзначалися стабільністю вмісту олії на рівні 48,2%. Це може свідчити про ефективність обраних умов зберігання та використаної упаковки.

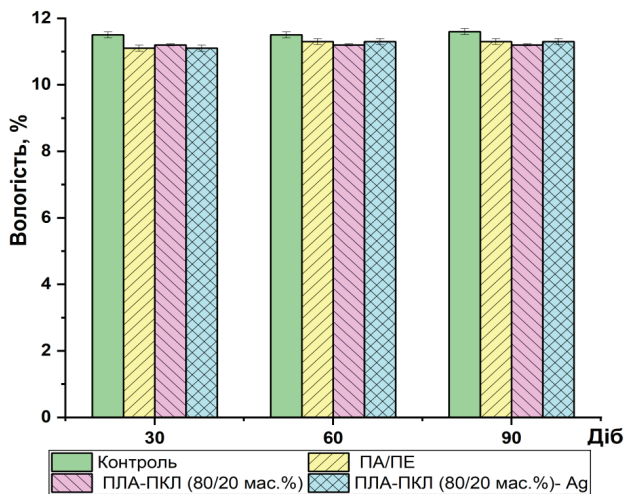


Рис. 4. Вологість насіння гарбуза при зберіганні

З результатів дослідження (рис. 4) встановлено, що вологість насіння гарбуза залишалася стабільною протягом періоду зберігання незалежно від типу упаковки. Навіть при використанні різних матеріалів упаковки, таких як ПА/ПЕ, ПЛА-ПКЛ, та ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%), вологість залишалася на стабільному рівні без значних відмінностей протягом періоду зберігання. Це свідчить про ефективність упаковки у збереженні вологості насіння гарбуза протягом тривалого періоду зберігання.

Робота виконана частково за фінансової підтримки гранту Національного фонду досліджень України (Розробка антимікробних пакувальних біополімерних матеріалів та технології їх зварювання для тривалого зберігання харчових продуктів), ідентифікатор програми 2022.01/0019) та наукового проекту МОН України (Науково-практичні засади пакувальних систем для харчових продуктів з регуляцією ефективності зберігання в умовах продовольчої кризи), номер держреєстрації 0123U102059.

**Висновки.** Встановлено, що протягом трьох місяців зберігання насіння гарбуза в упаковках ПА/ПЕ, ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) та ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) -Ag виявлено зміни перекисного числа у насінні гарбуза в залежності від типу упаковки. Упаковка ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) -Ag та контрольний зразок продемонстрували найнижчі рівні перекисного числа у перший місяць зберігання. На третій місяць зберігання, упаковка ПЛА-ПКЛ (80-20 мас.%) -Ag виявилася найефективнішою з точки зору збереження якості насіння гарбуза.

Кислотне число насіння гарбуза змінювалося з часом в залежності від типу упаковки. При пакуванні насіння в упаковці ПЛА-ПКЛ (80-20)-Ag було виявлено менші зміни кислотного числа протягом відповідного терміну зберігання.

Досліджено вміст олії в насінні гарбуза та встановлено, що за період зберігання в упаковках ПА/ПЕ, ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) та ПЛА-ПКЛ (80:20 мас.%) - Ag даний показник залишався стабільним та незмінним. Усі варіанти упаковки демонстрували стабільність вмісту олії на рівні 48,2%, що свідчить про ефективність обраних умов зберігання.

Встановлено, що вологість насіння гарбуза залишалася стабільною протягом відповідного періоду зберігання незалежно від типу упаковки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Harrington, James F.; Kozlowski, T. T. Seed storage and longevity. *Seed biology*, 1972. № 3. P. 145-245.
2. Freitas, R. A., dos Santos Dias, D. C. F., dos Santos Dias, L. A., de Almeida Oliveira, M. G., & Jose, I. C. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de algodão submetidas ao envelhecimento artificial. 2006. Vol. 22, no. 1.
3. Guedes, R. S., Alves, E. U., Bruno, R. L. A., Gonçalves, E. P., Costa, E. G., & Medeiros, M. S. Armazenamento de sementes de Myracrodruon urundeuva Fr. All. em diferentes embalagens e ambientes. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. 2012. №14. P. 68-75.
4. TONIN, G. A.; PEREZ, S. C. J. G de A. Qualidade fisiológica de sementes de *Ocotea porosa* (NEES ET MARTIUSEX. NEES) após diferentes condições de armazenamento e sementeira. *Revista Brasileira de Sementes*. 2006. v. 28, n. 2, P. 26 - 33.
5. Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*. 2008. 19. P. 103-112.
6. Hassanzadeh, P., Moradi, M., Vaezi, N., Moosavy, M. H., & Mahmoudi, R. Effects of chitosan edible coating containing grape seed extract on the shelf-life of refrigerated rainbow trout fillet. In *Veterinary Research Forum* Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran. 2018. Vol. 9, No. 1, p. 73.
7. Khodaei, S. M., Gholami-Ahangaran, M., Karimi Sani, I., Esfandiari, Z., & Eghbaljoo, H. Application of intelligent packaging for meat products: A systematic review. *Veterinary Medicine and Science*. 2023. 9(1), 481-493.
8. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimani-Zad, S. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food control*. 2011. 22(3-4), 408-413.
9. Kazemi, M. M., Hashemi-Moghaddam, H., Mohammadi Nafchi, A., & Ajodnifar, H. Application of modified packaging and nano ZnO for extending the shelf life of fresh pistachio. *Journal of Food Process Engineering*. 2020. 43(12), e13548.
10. Kumar, S., Boro, J. C., Ray, D., Mukherjee, A., & Dutta, J. Bionanocomposite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf life extension of green grape. *Heliyon*, 2019. 5(6). 1-8.
11. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimani-Zad, S. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010. 11(4). 742-748.
12. Rybalchenko, N. P., Hnatiuk, T. T., Artiukh, L. O., Naumenko, K. S., Zaremba, P. Y., Demchenko, V. L., ... & Marynin, A. I. Antimicrobial and Antiviral Activity of Nanocomposites Based on Polyelectrolyte Complexes with Silver Nanoparticles. *Mikro biolohichniy Zhurnal*, 2024. 86(2), 36-50. <https://doi.org/10.15407/microbiolj86.02.036>
13. ГОСТ 5472-50 Олії рослинні. Визначення запаху, кольору і прозорості. Зі зміною.
14. ДСТУ 4350:2004. Олії. Методи визначення кислотного числа. [Чинний від 2005-01-10]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.
15. ДСТУ 4570:2006. Жири рослинні та олії. Метод визначення пероксидного числа. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.

16. Саган, Х. І. Розробка рецептурної композиції молочного щербету для веганів з використанням продуктів переробки насіння гарбуза з її впровадженням на кондитерському підприємстві в м. Хмельницький. 2022.

17. Овсянникова Л. К., Валевська Л. О., Гришук Ю. В., Євдокимова Г. Й. Вплив умов зберігання на зміну показників якості нових сортів льону. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2018. Вип. 1(27). С. 255-268.

18. Коваленко Р.В. Обґрунтування процесу підготовки насіння соняшника до переробки в олію : магістер. кваліфікаційна робота : 181, Харчові технології. / Римма Вадимівна Коваленко; наук. кер. Олег Олександрович Тертишний; Дніпровський держ. аграр.-екон. ун-т. Інженерно-технологічний ф-т, Каф. харчових технологій. Дніпро, 2022. 100 с.

#### REFERENCES:

1. Harrington, J. F., & Kozlowski, T. T. (1972). Seed storage and longevity. *Seed biology*, 3, 145-245.

2. Freitas, R. A., dos Santos Dias, D. C. F., dos Santos Dias, L. A., de Almeida Oliveira, M. G., & Jose, I. C. (2006). Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de algodão submetidas ao envelhecimento artificial.

3. Guedes, R. S. et al. Armazenamento de sementes de Myracrodruon urundeuva Fr. All. em diferentes embalagens e ambientes. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, v. 14, n. 01, p. 68-75, 2012.

4. Tonin, G. A.; Perez, S. C. J. G de A. Qualidade fisiológica de sementes de Ocotea porosa (NEES ET MARTIUSEX. NEES) após diferentes condições de armazenamento e semeadura. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 28, n. 2, p. 26- 33, 2006.

5. Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19, S103-S112.

6. Hassanzadeh, P., Moradi, M., Vaezi, N., Moosavy, M. H., & Mahmoudi, R. (2018). Effects of chitosan edible coating containing grape seed extract on the shelf-life of refrigerated rainbow trout fillet. *In Veterinary Research Forum* (Vol. 9, No. 1, p. 73). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran.

7. Khodaei, S. M., Gholami-Ahangaran, M., Karimi Sani, I., Esfandiari, Z., & Eghbaljoo, H. (2023). Application of intelligent packaging for meat products: A systematic review. *Veterinary Medicine and Science*, 9(1), 481-493.

8. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimani-Zad, S. (2011). Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food control*, 22(3-4), 408-413.

9. Kazemi, M. M., Hashemi-Moghaddam, H., Mohammadi Nafchi, A., & Ajodnifar, H. (2020). Application of modified packaging and nano ZnO for extending the shelf life of fresh pistachio. *Journal of Food Process Engineering*, 43(12), e13548.

10. Kumar, S., Boro, J. C., Ray, D., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2019). Bionano-composite films of agar incorporated with ZnO nanoparticles as an active packaging material for shelf life extension of green grape. *Heliyon*, 5(6).

11. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Soleimani-Zad, S. (2010). Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 742-748.

12. Rybalchenko, N. P., Hnatiuk, T. T., Artiukh, L. O., Naumenko, K. S., Zarembo, P. Y., Demchenko, V. L., ... & Marynin, A. I. (2024) Antimicrobial effect of biopolymer packaging materials with silver nanoparticles for food storage. *Microbiological Journal*, 86(2), 36-50. <https://doi.org/10.15407/microbiolj86.02.036>

13. Olii roslynni. Vyznachennia zapakhu, koloru i prozorosti. HOST 5472-50 Zi zminoiu. [in Ukrainian].

14. Olii. Metody vyznachennia kyslotnoho chysla. DSTU 4350:2004. [Chynnyi vid 2005-01-10]. Vyd. ofits. Kyiv. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2005. 20 s. [in Ukrainian].

15. Zhyry roslynni ta olii. Metod vyznachennia peroksydnoho chysla. DSTU 4570:2006. [Chynnyi vid 2008-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2008. 18 s. [in Ukrainian].

16. Sahan, Kh. I. (2022). Rozrobka retsepturnoi kompozytsii molochnoho shcherbetu dlia vehaniv z vykorystanniam produktiv pererobky nasinnia harbuza z yii vprovadzheniam na kondyterskomu pidpriemstvi v m. *Khmelnytskyi*. [in Ukrainian].

17. Ovsianynkova L. K., Valevska L. O., Hryshchuk Yu. V., Yevdokymova H. Y. (2018). [Vplyv umov zberihannia na zminu pokaznykiv yakosti novykh sortiv lonu. Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli]. Vyp. 1(27). С. 255-268. [in Ukrainian].

18. Kovalenko R.V. (2022). [Obgruntuvannia protsesu pidhotovky nasinnia soniashnyka do pererobky v oliiu]: mahister. kvalifikatsiina robota : 181, Kharchovi tekhnolohii. / Rymma Vadymivna Kovalenko; nauk. ker. Oleh Oleksandrovych Tertyshnyi; Dniprovskiy derzh. ahrar.-ekon. un-t. Inzhenerno-tekhnolohichniy f-t, Kaf. kharchovykh tekhnolohii. – Dnipro, – 100 s. [in Ukrainian].

УДК 614.9:579. 62:613, 287:613,287.5  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.13>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОЗАМОРОЖЕНИХ БОРОШНЯНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

**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

**Семенов О. М.** – кандидат технічних наук,  
доцент, доцент кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації  
харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»  
ORCID ID: 0000-0002-9990-2658

**Косташ В. Б.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент, доцент кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації  
харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»  
ORCID ID: 0000-0002-2182-7723

Наведені результати вивчення оптимізації технології борошняних швидкозаморожених напівфабрикатів-вареників. Досліджено реологічні характеристики плодово-ягідних композицій з круп'яними напівфабрикатами залежно від виду та кількості плодово-ягідної частини та круп'яного напівфабрикату та обґрунтовані оптимальні співвідношення плодово-ягідної сировини та круп'яного напівфабрикату. Для дослідження впливу співвідношення плодово-ягідного пюре : круп'яний напівфабрикат на показники якості начинок використовували 9 композицій, що включали 3 види крупи (манна, вівсяна та кукурудзяна) та 3 співвідношення плодово-ягідного пюре : круп'яний напівфабрикат (10:1, 10:2, 10:3). Встановлено, що додавання крупи значно не вплинуло такі показники, як товщина тестової оболонки і товщина тесту в місяцях закладення. Масова частка начинки до маси виробу мала найбільше відхилення від стандарту у зразках з додаванням вівсяної крупи у співвідношенні 10:3 (47,8%). При додаванні манної крупи спостерігалось найменше відхилення від стандарту 08-22%. Зі збільшенням кількості крупи, що вводиться, спостерігалось невелике зниження балів за показниками смак і зовнішній вигляд. При співвідношенні пюре : круп'яний напівфабрикат 10:1 присмаку круп у всіх композиціях не відчувається, при співвідношенні 10:2 з'являється відповідний присмак круп, при співвідношенні 10:3 присмак круп явно виражений. Водночас зі збільшенням рецептурного вмісту крупи спостерігається ущільнення консистенції. Масова частка начинки маси виробу мала найбільше відхилення від стандарту у зразках з додаванням вівсяної крупи у співвідношенні 10:3 (47,8 %). При додаванні манної крупи спостерігалось найменше відхилення від стандарту 08-22%. При співвідношенні пюре : круп'яний напівфабрикат 10:1 присмаку круп у всіх композиціях не відчувається, при співвідношенні 10:2 з'являється відповідний присмак круп, при співвідношенні 10:3 присмак круп явно виражений.

**Ключові слова:** круп'яний напівфабрикат, крупа, начинка, органолептичні властивості, якість, стандарт, консистенція.

### ***Prylipko T. M., Semenov A. M., Kostash V. B. Optimization of the technology of quick-frozen flour semi-finished products***

The results of the study of technology optimization of quick-frozen flour semi-finished dumplings are presented. The rheological characteristics of fruit and berry compositions with cereal semi-finished products depending on the type and amount of fruit and berry part and cereal semi-finished products were studied and the optimal ratios of fruit and berry raw materials and cereal semi-finished products were substantiated. To study the influence of the ratio of fruit and berry puree: cereal semi-finished product on the quality indicators of fillings, 9 compositions were used, including 3 types of cereals (semolina, oat and corn) and 3 ratios of fruit and berry puree: cereal semi-finished product (10:1, 10:2, 10:3). It was established that the addition of groats did



*not significantly affect such indicators as the thickness of the test shell and the thickness of the test in the places of laying. The mass fraction of the filling to the mass of the product had the largest deviation from the standard in samples with the addition of oat groats in a ratio of 10:3 (47.8%). When semolina was added, the smallest deviation from the standard of 08-22% was observed. With an increase in the amount of groats introduced, a slight decrease in the scores for taste and appearance was observed. At a ratio of puree: cereal semi-finished product of 10:1, the flavor of cereals is not felt in all compositions, at a ratio of 10:2, a corresponding flavor of cereals appears, at a ratio of 10:3, the flavor of cereals is clearly expressed. At the same time, with an increase in the recipe content of groats, a thickening of the consistency is observed. The mass fraction of the filling of the mass of the product had the largest deviation from the standard in samples with the addition of oat groats in a ratio of 10:3 (47.8%). When semolina was added, the smallest deviation from the standard of 08-22% was observed. At a ratio of puree: cereal semi-finished product of 10:1, the flavor of cereals is not felt in all compositions, at a ratio of 10:2, a corresponding flavor of cereals appears, at a ratio of 10:3, the flavor of cereals is clearly expressed.*

**Key words:** *cereal semi-finished product, cereal, filling, organoleptic properties, quality, standard, consistency.*

**Постановка проблеми.** Правильне та збалансоване харчування – запорука здоров'я, а постійне розроблення нових видів продукції є об'єктивною умовою підтримання конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості в умовах ринкових відносин. Моніторинг стану сучасного ринку продовольчих товарів в Україні свідчить про те, що з кожним роком зростає питома вага різних видів напівфабрикатів, серед яких значне місце посідають заморожені [5, с. 17].

Однак важливим залишається питання якості та корисності цих видів напівфабрикатів. У Концепції державної політики у галузі здорового харчування велика увага приділяється створенню якісно нових харчових продуктів із заданим складом та функціональними властивостями, удосконаленню технології виготовлення [4, с. 78].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливе місце серед харчових продуктів займають швидкозаморожені борошняні напівфабрикати. Підвищенню популярності заморожених напівфабрикатів сприяють масована реклама та прискорення темпу життя. Частка споживачів напівфабрикатів вареників становить близько 33% кількості сімей, споживають напівфабрикати [6, с. 226].

Продукція розглянутого сегмента асоціюється із сучасним стилем життя мегаполісів. Тому вдосконалення технології, підвищення якості та розширення асортименту швидкозаморожених напівфабрикатів є актуальним.

Для забезпечення збалансованого харчування школярів різних вікових груп з урахуванням медико-біологічних вимог розроблено рецептури та технологію виробництва швидкозаморожених плодоовочевих страв підвищеної харчової цінності. Особливість цих продуктів – наявність добавок цілеспрямованої дії, що підвищують їхню поживну цінність, калорійність, з радіопротекторними та захисними властивостями, що особливо актуально у зв'язку з несприятливою екологічною обстановкою у багатьох регіонах України [3, с. 72, 7, с. 38].

Для підвищення біологічної цінності борошняних кулінарних виробів пропонується додавання до борошна вищих сортів висівків, підвищення виходу борошна з можливістю включення в нього всіх частин алейронового прошарку та зародка, додавання хімічних препаратів, добавок тваринного походження тощо [1, с. 187].

Досліджень щодо впливу цих інгредієнтів на організм досить мало, тому є необхідність їх детального вивчення. З метою заміни висококалорійних інгредієнтів для кулінарних виробів пропонується додавання порошку, пюре, пасти з топінамбура. Водночас, зі зниженням калорійності, підвищується вміст вітамінів і мінеральних речовин у готових стравах. Однак залишилися не дослідженими показники якості цього виду продукції [2, с. 483].

Аналізуючи дані щодо цієї проблематики, можна підкреслити, що є певні недоопрацювання, які потребують додаткових досліджень.

**Постановка завдання.** Метою роботи стала оптимізація технології борошнених швидкозаморожених напівфабрикатів-вареників. Основні завдання дослідження:

- Провести виробничо-економічну характеристику підприємства;
- Вивчити технологічні процеси приготування заморожених напівфабрикатів вареників;
- Виявити вплив додавання круп у різному співвідношенні на показники якості плодово-ягідної начинки для вареників.

**Виклад основного матеріалу.** Практична значимість полягає у вивченні реологічних характеристик плодово-ягідних композицій з круп'яними напівфабрикатами залежно від виду та кількості плодово-ягідної частини та круп'яного напівфабрикату; обґрунтовано оптимальні співвідношення плодово-ягідної сировини та круп'яного напівфабрикату.

У традиційній технології виготовлення начинок підвищення в'язкості використовують манну крупу. Вибір і дослідження властивостей міцності круп'яних напівфабрикатів для плодово-ягідних начинок є актуальним, оскільки це специфічний компонент вареників, що змінює свої властивості залежно від ряду факторів.

Як об'єкти дослідження використовувалися: плоди та ягоди (смородина чорна); борошно пшеничне хлібопекарське вищого гатунку за ГОСТ 26574-85; крупа манна (ГОСТ 7022-97).

Нами було досліджено крупи, які можна використовувати під час виготовлення начинок надання їм в'язкісних властивостей. Досліджували три види крупи: манна, вівсяна та кукурудзяна.

Крупи попередньо подрібнювали, розділяли на фракції шляхом просіювання через сита певного номера (сита № 2, № 4, № 6), потім варили при рекомендованому співвідношенні вода крупа – 1 : 2.

Після охолодження крупи, що пройшла гідротермічну обробку, консистенцію напівфабрикат мав студнеподібну. Об'єктивну та повну інформацію для правильного використання різних видів круп можна отримати лише внаслідок систематичних використань на дослідних зразках.

Якість виготовлених виробів оцінювали за органолептичним та фізико-технологічним показниками (табл. 1).

Для дослідження впливу співвідношення плодово-ягідне пюре : круп'яний напівфабрикат на показники якості начинок використовували 9 композицій, що включають 3 види крупи (манна, вівсяна та кукурудзяна) та 3 співвідношення плодово-ягідне пюре : круп'яний напівфабрикат (10:1, 10:2, 10:3).

З даних таблиці 1 видно, що додавання крупи значно не вплинуло такі показники як товщина тестової оболонки і товщина тесту в місцях закладення. Масова частка начинки до маси виробу мала найбільше відхилення від стандарту у зразках з додаванням вівсяної крупи співвідношенні 10:3 (47,8%). При додаванні манної крупи спостерігалось найменше відхилення від стандарту 08-22%.

Органолептична оцінка є одним з основних критеріїв при виборі найбільш оптимальних поєднань рецептурних компонентів досліджуваних начинок і складалася з таких показників як зовнішній вигляд, вид на розрізі, смак та запах. Зі збільшенням кількості крупи, що вводиться, спостерігалось невелике зниження балів за показниками смак і зовнішній вигляд. При співвідношенні пюре:

Таблиця 1

**Вплив круп'яного напівфабрикату  
на фізико-технологічні показники вареників**

Вид круп'яного напівфабрикату	Співвідношення пюре : круп'яний напівфабрикат	Фізико-технологічні показники		
		масова частка начинки до маси виробу, % не менше	товщина тестової оболонки, мм не більше	товщина тіста у місцях закладення, мм не більше
Без крупи (st)	-	45	2,5	4
манна	10:1	45,8	2,5	4
	10:2	46,5	2,5	4
	10:3	47,2	2,5	4,2
вівсяна	10:1	46,3	2,5	4
	10:2	46,9	2,5	4,2
	10:3	47,8	2,5	4,2
кукурудзяна	10:1	46,0	2,5	4
	10:2	46,8	2,5	4,2
	10:3	47,4	2,5	4,2

круп'яний напівфабрикат 10:1 присмаку круп у всіх композиціях не відчувається, при співвідношенні 10:2 з'являється відповідний присмак круп, при співвідношенні 10:3 присмак круп явно виражений. Водночас зі збільшенням рецептурного вмісту крупи спостерігається ущільнення консистенції.

Отже, велика роль виробництві напівфабрикатів посідає виготовлення начинки і тесту; відповідно зниження їхньої собівартості дозволить знизити собівартість продукту. Також необхідно приділити особливу увагу і зовнішньому вигляду продукту – як до приготування, так і після. Істотним недоліком вареників із плодово-ягідними начинками є те, що після приготування за рахунок витікання начинки продукт погіршує зовнішній вигляд. Цю проблему можна вирішити за рахунок додавання мелених круп, що пройшли гідротермічну обробку. На смакові якості продукту це ніяк не впливає, але дає змогу покращити його структурні якості, а також споживчі властивості після приготування, збільшити кількість корисних речовин та знизити собівартість начинки.

**Висновки.** Масова частка начинки маси виробу мала найбільше відхилення від стандарту у зразках з додаванням вівсяної крупи у співвідношенні 10:3 (47,8 %). При додаванні манної крупи спостерігалось найменше відхилення від стандарту 08-22%. При співвідношенні пюре: круп'яний напівфабрикат 10:1 присмаку круп у всіх композиціях не відчувається, при співвідношенні 10:2 з'являється відповідний присмак круп, при співвідношенні 10:3 присмак круп явно виражений.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. James S. J., James C. Food Technologies: Freezing. *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. Vol. 3. P. 187–195.
2. James S.J., James C. Chapter 20: Chilling and Freezing. *Food Safety Management*, 2014. P. 481–510.
3. Prylipko T.M., Kostash V. 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.

4. 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.

5. Вінникова Л.Г. Заморожені рублені м'ясні напівфабрикати. *Технологія м'яса і м'ясних продуктів*. 2006. 237 с.

6. Мазаракі А.А., Пересічний М. І., Кравченко М. Ф. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т. 2012. 1115 с.

7. Стріха Л. О., Підпала Т. В., Крамаренко О. С. Оптимізація параметрів технологічного процесу виробництва м'ясних напівфабрикатів. 2019.

#### REFERENCES:

1. James S. J., James C. (2014). Food Technologies: Freezing. *Encyclopedia of Food Safety*. Vol. 3. P. 187–195.

2. James S.J., James C. (2014). Chapter 20: Chilling and Freezing. *Food Safety Management*, P. 481–510.

3. Prylipko T.M., Kostash V. 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.

4. 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.

5. Vinnykova L.H. (2006). Zamorozheni rubleni miasni napivfabrykaty. *Tekhnolohiia miasa i miasnykh produktiv*. 237 s.

6. Mazaraki A.A., Peresichnyi M. I., Kravchenko M. F. (2012). *Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia: monohrafiia*. Kyiv: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t. 1115 s.

7. Strikha L. O., Pidpala T. V., Kramarenko O. S. (2019). *Optymizatsiia parametriv tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva miasnykh napivfabrykativ*.

УДК 664.921

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.14>

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СНЕКІВ М'ЯСНИХ

**Соєва Н. А.** – кандидатка технічних наук,

доцентка, доцентка кафедри харчових технологій

Дніпровського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0003-4750-2473

**Леусенко О. О.** – здобувач вищої освіти освітньої програми «Харчові технології»

Дніпровського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0004-8988-7206

М'ясо – гарне джерело тваринного білка та жиру, мікро- та макроелементів. Снеки м'ясні доволі зручні: вони не займають багато місця, мають тривалий термін зберігання, високий вміст поживних речовин. В умовах війни в Україні виробництво снєків м'ясних набуває особливого значення. Через перебої з електропостачанням, обстріли та інші наслідки бойових дій, українці часто стикаються з труднощами під час приготування їжі. Окрім того, снєки м'ясні відіграють важливу роль у забезпеченні раціону українських військових. Тому випуск такої продукції вітчизняними виробниками є вкрай необхідним в нинішній ситуації. Метою дослідження визначено розроблення рецептури та технології снєків м'ясних, а саме джерок. Виготовлено 4 зразки джерок за однаковою рецептурою, використавши однакові режими сушіння, але на основі різної м'ясної сировини – індичатини (зразок №1), свинини (зразок №2), курятини (зразок №3) та яловичини (зразок №4). При виготовленні джерок м'ясних втрати у масі становили майже половину. Найбільше втратив у масі зразок №2 – 62,5 %. Всі шматочки одержаних джерок гарно утримували форму після сушіння, мали властивий м'ясний колір, смак та запах були приємними, відповідали використаній сировині, без сторонніх присмаків та запахів. При дегустації всі зразки отримали достатньо високі бали. Найменше балів було у зразка №1 (джерки індичі). Найвищі бали серед зразків отримали №2 (джерки свинячі) та №4 (джерки яловичі), у яких далі визначили склад, поживну та енергетичну цінність. За вмістом протеїну та клітковини переважали джерки яловичі – на 0,45 % та на 0,17 % відповідно, а за вмістом жирів і золи переважали джерки свинячі – на 3,52 % та на 0,06 % відповідно. Слід відзначити високий вміст білка у готовому продукті – 82,55 % (джерки свинячі) та 83,0 % (джерки яловичі). Зразок джерок яловичих значно переважав свинячі за вмістом заліза (97432,6 мг/кг) та цинку (128,02 мг/кг). Досліджувані зразки джерок значно переважали над виробничими за вмістом білка та енергетичною цінністю, а також мали менший вміст жиру та вуглеводів. Вирішено впровадити досліджувані зразки м'ясних джерок №2 (свинячі) та №4 (яловичі). З приводу подальших досліджень у даному напрямі перспективним буде визначення амінокислотного складу, раціональних режимів сушіння, строку зберігання та умов пакування готового продукту.

**Ключові слова:** індичатина, свинина, курятина, яловичина, снєки м'ясні, джерки.

### **Sova N. A., Leusenko O. O. The features of meat snacks production technology**

Meat is a good source of animal protein and fat, micro- and macroelements. Meat snacks are quite convenient: they do not take up much space, have a long shelf life, and a high content of nutrients. In the conditions of the war in Ukraine, the production of meat snacks acquires special importance. Due to power outages, shelling and other consequences of hostilities, Ukrainians often face difficulties when preparing food. In addition, meat snacks play an important role in ensuring the diet of the Ukrainian military. Therefore, the production of such products by domestic manufacturers is absolutely necessary in the current situation. The purpose of the research is to develop the recipe and technology of meat snacks, namely jerky. 4 samples of jerky were made according to the same recipe, using the same drying modes, but on the basis of different meat raw materials – turkey (sample No. 1), pork (sample No. 2), chicken (sample No. 3) and beef (sample No. 4). During the production of meat jerky, the mass loss was almost half. Sample No. 2 lost the most weight – 62.5%. All pieces of the obtained jerky kept their shape well after drying, kept their characteristic meat color, the taste and smell were pleasant, corresponded to the raw materials

*used, without extraneous tastes and smells. During the tasting, all samples received sufficiently high points. Sample No. 1 (turkey jerky) had the fewest points. The highest scores among the samples were obtained by No. 2 (pork jerky) and No. 4 (beef jerky), in which the composition, nutritional and energy value were further determined. The content of protein and fiber was dominated by beef jerky – by 0.45% and 0.17%, respectively, and by the content of fat and ash, pork jerky prevailed – by 3.52% and by 0.06% respectively. It should be noted the high protein content in the finished product – 82.55% (pork jerky) and 83.0% (beef jerky). The sample of beef jerky significantly exceeded pork jerky in terms of iron (97432.6 mg/kg) and zinc (128.02 mg/kg). The studied samples of jerky were significantly superior to the production samples in terms of protein content and energy value, and also had a lower content of fat and carbohydrates. It was decided to implement researched samples of meat jerky No. 2 (pork) and No. 4 (beef). Regarding further research in this area, it will be promising to determine the amino acid composition, rational drying regimes, storage period and packaging conditions of the finished product.*

**Key words:** turkey, pork, chicken, beef, meat snacks, jerky.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в Україні все більше набуває популярності тема здорових перекусів з високою поживною цінністю та іншими корисними речовинами. Більшість продуктів для перекусу мають високу калорійність, великий вміст жирів, цукру та холестерину, але низький коефіцієнт насичення. Це спонукає розвивати тему здорових та зручних перекусів.

М'ясо – гарне джерело тваринного білка та жиру, мікро- та макроелементів, при правильній обробці має низьку калорійність і завдяки тривалому перетравленню у шлунку, насичує організм людини. Снеки м'ясні доволі зручні: вони не займають багато місця, мають тривалий термін зберігання завдяки низькому вмісту вологи, високий вміст поживних речовин. В умовах війни в Україні виробництво снєків м'ясних набуває особливого значення. Через перебої з електропостачанням, обстріли та інші наслідки бойових дій, українці часто стикаються з труднощами під час приготування їжі. Орім того, снєки м'ясні відіграють важливу роль у забезпеченні раціону українських військових. Тому випуск такої продукції вітчизняними виробниками є вкрай необхідним в нинішній ситуації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** М'ясна галузь займає вагоме місце у структурі харчової промисловості України. Виробництво м'ясних продуктів є традиційною спеціалізацією української харчової індустрії. Основними видами продукції м'ясної галузі є свіже м'ясо (яловичина, свинина, птиця та інші види м'яса), напівфабрикати м'ясні (котлети, пельмені, тощо), вироби ковбасні та делікатеси м'ясні, консерви м'ясні, снєки м'ясні та інші м'ясопродукти.

М'ясна сировина – це м'ясо забитих тварин, призначене для споживання людиною або для виробництва харчових продуктів. М'ясо є важливим компонентом раціону людини, оскільки воно забезпечує організм повноцінним білком, необхідним для побудови та відновлення клітин тіла. Крім того, м'ясо є джерелом заліза, цинку, вітамінів групи В та інших поживних речовин, необхідних для нормального функціонування організму. М'ясна сировина відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та поживності раціону людини [1, 2].

М'ясо є цінним джерелом високоякісного білка, що містить усі незамінні амінокислоти, необхідні для формування і відновлення тканин організму. Білки м'яса мають високу біологічну цінність та добре засвоюються організмом людини. Крім того, м'ясо багате на вітаміни групи В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>), які беруть участь у процесах енергетичного обміну, а також на мінеральні речовини, такі як залізо, цинк, селен та фосфор, які відіграють важливу роль у нормальному функціонуванні організму. М'ясо також є джерелом біологічно активних речовин, зокрема L-карнітину, креатину, коензиму Q10, які забезпечують вивільнення енергії в клітинах та сприяють підвищенню фізичної витривалості. Таким чином, м'ясна сировина забезпечує

організм людини цінними поживними речовинами, необхідними для росту, розвитку та підтримання здоров'я [3, 4].

Курятина посідає провідне місце серед найбільш затребуваних видів м'ясної сировини на світовому ринку. Її отримують від домашньої птиці – курчат-бройлерів, яких розводять цілеспрямовано для забезпечення населення високопоживним м'ясом. Куряче м'ясо широко використовують як у промислових масштабах для виробництва різноманітних харчових продуктів, так і в домашньому господарстві для приготування страв. М'ясо курятини легко перетравлюється, має невисоку калорійність порівняно з іншими видами м'яса і гарно підходить для дитячого харчування [5].

Свинина – один з найпоширеніших видів м'ясної сировини, яку отримують від свійських свиней. Вона посідає чільне місце серед найбільш споживаних різновидів м'яса у світовому масштабі. Свинина відзначається високою поживністю, однак її вживання потребує зваженого підходу задля збереження здоров'я. Свинина містить легкозасвоювані форми заліза у складі м'яса, вітамін  $B_1$  (тіамін) – важливий компонент для роботи нервової системи, селен і цинк, які мають в собі антиоксидантні властивості [5].

Індичка – велика птиця родини фазанових, одна з найбільших серед одомашнених птахів. Завдяки своїм натуральним якостям та відмінним смаковим властивостям, м'ясо індички стало популярним харчовим продуктом у багатьох країнах світу. М'ясу індички характерний високий вміст повноцінного білка, низький вміст холестерину у порівнянні з іншими видами м'яса, вміст вітамінів групи B, воно є джерелом заліза та інших важливих мінералів [5].

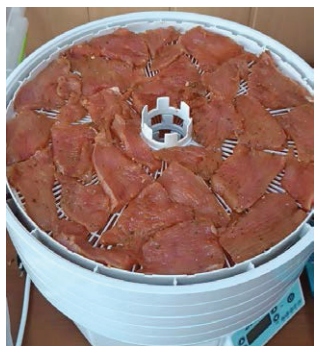
Яловичина – різновид м'ясної сировини, який отримують від великої рогатої худоби. Завдяки унікальним смаковим та поживним якостям, яловиче м'ясо широко використовують як для виробництва різноманітних харчових продуктів промислового виробництва, так і в домашній кулінарії. Яловичина забезпечує організм необхідними мінералами: фосфором, калієм, магнієм, є джерелом заліза у вигляді легкозасвоюваного гему, містить в собі вітаміни групи B [5].

Вчені України і світу приділяють значну увагу вивченню питання розробки технологій виробництва снєків м'ясних, а також питанню складу такого виду продукту, окисної стабільності та впливу на процес зберігання тощо. У якості основної сировини для вироблення даного виду продуктів використовують різне м'ясо: яловичину, свинину, курятину тощо [6–13]. Всі розглянуті види снєків м'ясних зручні у споживанні, мають високий вміст білка, тривалий термін зберігання. Це спонукало нас дослідити використання різної м'ясної сировини у технології снєків м'ясних, а саме джерок.

**Мета роботи.** Метою дослідження визначено розроблення рецептури та технології снєків м'ясних, а саме джерок. Для досягнення зазначеної мети поставлено ряд завдань, а саме вивчити асортимент снєків м'ясних, виготовити дослідні зразки джерок на основі курятини, індичатини, свинини та яловичини за однаковими рецептурними співвідношеннями компонентів та режимами висушування, провести дегустаційну оцінку одержаних дослідних зразків, визначити вміст вологи, протеїну, жиру, клітковини, золи, мікро- та макроелементів у дослідному зразку джерок, який визначиться кращим після дегустаційної оцінки.

**Матеріали і методи дослідження.** Нами вирішено виготовити джерки за однаковою рецептурою, використавши однакові режими сушіння, але на основі різної м'ясної сировини – індичатини, курятини, свинини та яловичини. Якість використаної сировини відповідала вимогам, зазначеним у діючій нормативній документації.

У результаті одержано 4 зразки джерок м'ясних: зразок №1 – індичі; зразок №2 – свинячі; зразок №3 – курячі; зразок №4 – яловичі. Дослідні зразки джерок м'ясних виготовляли наступним чином. Спочатку проводили підготовку м'яса: промивання його під водою для видалення залишків сухої крові, висушування від зайвої вологи, прибирання зайвого жиру, жил та плівок з м'яса, філеювання та нарізання сировини на готові шматочки (~5 мм в ширину, ~6 см в довжину). Далі готували маринад. Рецепт маринаду із розрахунку на 1 кг м'яса наступна: сіль нітритна – 20 г, соус соевий – 50 мл, паприка копчена – 10 г, часник сушений – 10 г, суміш прованських трав – 10 г, перець червоний – 5 г. Підготовлене та нарізане м'ясо маринували 12 год при температурі 0–4 °С. Наступним етапом було завантаження м'яса у сушарку Ezidri ultra fd1000 digital (рис. 1), зразки розміщували рівним шаром, задавали температуру (60 °С) та час висушування (6 год). Після висушування дослідні зразки охолоджували.



а) зразок №1 (індичка)



б) зразок №2 (свинина)



в) зразок №3 (курятина)



г) зразок №4 (яловичина)

Рис. 1. Загальний вигляд дослідних зразків джерок м'ясних до висушування

Визначення складу дослідних зразків джерок м'ясних проводили в Науково-дослідному центрі біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК ДДАЕУ за стандартними методиками.

**Виклад основного матеріалу.** М'ясні снеки (джерки, чіпси, сухарі тощо) – це різновиди оброблених і висушених харчових продуктів з м'яса, призначених для вживання як перекуси або закуски. М'ясні снеки – загальна назва для шматочків або смужок висушеного м'яса різних видів. Джерки – це сушене м'ясо, яке



піддають тривалому маринуванню та повільному сушінню при низьких температурах, що забезпечує їм довгий термін зберігання. М'ясні чіпси – тонкі, хрусткі пластинки, виготовлені з висушеного м'яса, часто із додаванням приправ. Сухарі м'ясні нагадують традиційні хлібні сухарі, але виготовлені з підсушених та підсмажених кубиків або скибочок м'яса, що надає їм хрустку текстуру. Усі ці снеки характеризуються зручністю споживання у дорозі або як швидкий перекус, є джерелом білка, проте можуть містити певну кількість солі, жирів та інших домішок залежно від рецептури та виробника [14].

Цікавим було вивчити асортиментний ряд снекової м'ясної продукції, яку можна придбати в Україні. Проаналізувавши дванадцять різних торгових марок, виявлено, що різноманіття та представлений асортимент продукції снеків м'ясних великий, кожен зможе знайти для себе продукт згідно своїм вимогам та смакам. На рис. 2 можна побачити аналіз сировини, яку оператори ринку використовують для виробництва снеків м'ясних.

Можна зробити висновок – курятина є абсолютним фаворитом серед інших видів м'яса, пояснити це явище можна її недорогою вартістю, високим вмістом білка, низьким вмістом жиру, гіпоалергенними властивостями та простотою в реалізації. Друге місце в рейтингу бере на себе яловичина, на нашу думку, це пов'язано з її специфічними властивостями (аромат та смак), які теж завоювали свою певну аудиторію м'ясоїдів. Аутсайдером виявилась індичка, на дванадцять операторів ринку частка її використання становить лише 6 %, слід зауважити, що індичка теж має власний специфічний присмак при температурній обробці, напевно, більшість споживачів не розуміють цієї особливості, але і на цей продукт знайдеться свій споживач.

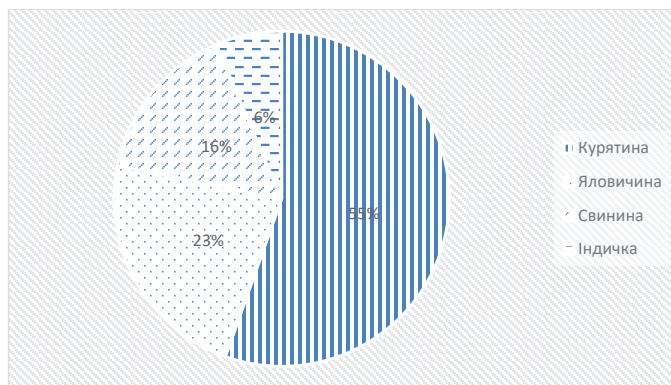


Рис. 2. Аналіз сировини, яку використовують для виробництва снеків м'ясних

Для порівняння одержаних даних із даними минулих років, наведемо інформацію щодо структури асортименту снекової м'ясної продукції українських виробників за видом м'яса у 2011 р. [15]. За проведеними дослідженнями Молоканова Л.В. та Орешіної О.О. у 2011 р. курятина теж посідала перше місце серед проаналізованої сировини (33 %), а от друге місце займала свинина (22 %), третє – яловичина (16 %). Індичку використовували так само як і зараз 6 % виробників.

При виготовленні дослідних зразків джерок м'ясних втрати у масі становили майже половину (табл. 1). Найбільше у масі втратив зразок №2 – 62,5 %.

Після виготовлення зразків джерок м'ясних (рис. 3) провели визначення їх органолептичних показників якості та дегустаційну оцінку.

Всі шматочки гарно утримували форму після сушіння, мали властивий м'ясний колір, смак та запах були приємними, відповідали використаній сировині, без сторонніх присмаків і запахів, маринад гарно пропитав зразки своїми додатковими ароматами і поліпшив остаточний смак та запах. При дегустації всі зразки отримали достатньо високі бали (рис. 4). Найменше балів було у зразка №1 (джерки індичі). Найвищі бали серед зразків отримали №2 (джерки свинячі) та №4 (джерки яловичі). Далі досліджували склад джерок свинячих та яловичих, зразки №2 та №4 відповідно (табл. 2, 3).

Таблиця 1

### Втрати у масі при виготовленні зразків джерок м'ясних

№ з/п	Показник	Зразок джерок м'ясних			
		індичі	свинячі	курячі	яловичі
1	Маса продукту до висушування, г	1175	1175	1175	1175
2	Маса продукту після висушування, г	611,20	441,00	562,80	600,60
3	Втрати у масі, г	563,80	734,00	612,20	574,40



Зразок №1 (індичі)



Зразок №2 (свинячі)



Зразок №3 (курячі)



Зразок №4 (яловичі)

Рис. 3. Загальний вигляд зразків джерок м'ясних

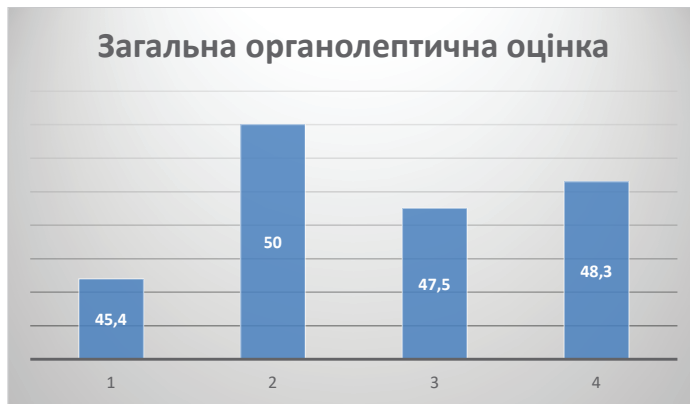


Рис. 4. Загальна органолептична оцінка

Таблиця 2

## Склад зразків джерок м'ясних

Масова частка, % у перерахунку на сухі речовини	Джерки свинячі	Джерки яловичі
Вологи	38,44	45,04
Протеїну	82,55	83,0
Жиру	6,77	3,25
Клітковини	0,32	0,49
Золи	6,75	6,69

Проаналізувавши показники табл. 2, можна зробити висновок, що за вмістом протеїну та клітковини переважають джерки яловичі (зразок №4) – на 0,45 % та на 0,17 % відповідно, а за вмістом жирів і золи переважають джерки свинячі (зразок №2) – на 3,52 % та на 0,06 % відповідно. Ці різниці є не суттєвими, тому фаворита визначити складно. Слід відзначити високий вміст білка у готовому продукті – 82,55 % (джерки свинячі) та 83,0 % (джерки яловичі).

За результатами аналізу табл. 3 можна побачити, що зразок джерок яловичих значно переважає свинячі за вмістом залізу та цинку. Ці мінерали дуже важливі для нашого організму, адже залізо відіграє велику роль у транспортуванні кисню в організмі, крім того, залізо відповідає за активність ферментів, синтез білка і роботу імунної системи. Цинк також несе в собі властивості щодо імунної системи, сприяє загоєнню ран, роботі мозку та сенсорних органів, статевій функції та здоров'я шкіри.

Досліджувані зразки джерок значно переважають над іншими виробничими зразками за вмістом білка, а також мають менший вміст жиру та вуглеводів (табл. 4).

**Висновки.** Після опрацювання всіх отриманих результатів досліджень ми вирішили впровадити досліджувані зразки м'ясних джерок №2 (свинячі) та №4 (яловичі). Хоча джерки яловичі мають дещо кращий нутрієнтний склад, аніж джерки свинячі, вони мали трохи гірші показники при споживанні готового продукту – декому було складно розжовувати, а також не подобався специфічний присмак. Але є категорія споживачів, яким до вподоби присмак продуктів із яловичини, тому їм такі джерки будуть до смаку.

Таблиця 3

**Вміст макро- і мікроелементів у зразках джерок м'ясних**

Назва показника	Джерки свинячі	Джерки яловичі
<b>Макроелементи</b>		
Кальцій, г/кг	0,68	0,89
Фосфор, г/кг	7,95	8,09
Магній, г/кг	1,02	1,0
Натрій, %	3,05	2,76
<b>Мікроелементи</b>		
Залізо, мг/кг	28,99	7432,6
Цинк, мг/кг	47,43	128,02
Мідь, мг/кг	1,88	3,22
Марганець, мг/кг	2,07	3,12

Таблиця 4

**Порівняльна характеристика дослідних із виробничими зразками джерок м'ясних**

Назва продукту	Виробник	Вміст, г/100 г			Енергетична цінність, кКал/100 г
		білків	жирів	вуглеводів	
1	2	3	4	5	6
Об'єкту (джерки свинячі)	Компанія «Драйд Фудз»	39	20	5	285
Свинина Фірмова (джерки свинячі)	ТМ «МН'ЯСО»	50	15	0,8	320
Wild Willy Pork Jerky (джерки свинячі)	ТМ «Jack's Meat», Польща	64	11	2,7	364
Beef Jerky класичний смак (джерки яловичі)	ТМ «Jack's Meat», Польща	70,4	2,66	6,08	347
Яловичина в'ялена Техаська (джерки яловичі)	Компанія «Драйд Фудз»	46	9	5	285
Джерки «ЇDLO» яловичі	ТМ «ЇDLO»	46	9	5	285
Дослідний зразок № 2 (джерки свинячі)		82,55	6,77	3,15	403,1
Дослідний зразок № 4 (джерки яловичі)		83	3,25	2,43	370,4

З приводу послідувачих досліджень у даному напрямі перспективним буде визначення амінокислотного складу, раціональних режимів сушіння, строку зберігання, умов пакування готового продукту.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Meat. *Food and Agriculture Organization Term Porta*: веб-сайт. URL: [https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/meat/en/?ADMCMMD\\_view=1](https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/meat/en/?ADMCMMD_view=1) (дата звернення 13.04.2024).

2. What is meat? *National Heart, Lung, and Blood Institute*: веб-сайт. URL: <https://www.nhlbi.nih.gov/health/educational/wecan/eat-right/distortion.htm> (дата звернення 13.04.2024).
3. FoodData Central. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*: веб-сайт. URL: <https://fdc.nal.usda.gov/> (дата звернення 13.04.2024).
4. Dietary Guidelines. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*: веб-сайт. URL: <https://www.dietaryguidelines.gov/resources/2020-2025-dietary-guidelines-online-materials> (дата звернення 13.04.2024).
5. Загальні технології харчової промисловості. Частина 1: навчальний посібник / В.Ф. Перцевой та ін. Суми: СНАУ, 2021. 317 с.
6. Спосіб виробництва снєків м'ясних: Пат. 66027 Україна: МПК А23L, 1/31. №u 2011 05539; заяв. 29.04.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №24.
7. Zdanowska-Sąsiadek Z., Marchewka J., Olav Horbańczuk Ja., Wierzbicka A. et al. Nutrients Composition in Fit Snacks Made from Ostrich, Beef and Chicken Dried Meat. *Molecules*. 2018. 23 (6). 1267.
8. Serra A., Gallart-Palau X., Koh W.Y., Chua Z.Ji.Yu. et al. Prooxidant modifications in the cryptome of beef jerky, the deleterious post-digestion composition of processed meat snacks. *Food Research International*. 2019. Vol. 125. 108569.
9. Jamadar D., Shree V., Wagh R. A review on meat-based snack industry. *J. Exp. Zool. India*. 2022. Vol. 25, No. 1. pp. 325–329.
10. Nimitkeatkai H., Pasada K., Jarerat A. Incorporation of Tapioca Starch and Wheat Flour on Physicochemical Properties and Sensory Attributes of Meat-Based Snacks from Beef Scraps. *Foods*. 2022. 11 (7). 1034.
11. Антонів А.Д. Жирнокислотний склад м'ясних снєків з додаванням продуктів бджільництва. *Здоров'я людини і нації*. 2024. №2. С. 7–15.
12. Паламарчук І.П., Муштрук М.М., Штонда О.А. Оцінка якості та харчової цінності м'ясних снєків. *Здоров'я людини і нації*. 2024. №2. С. 36–43.
13. Lima Í.A., do Carmo L.R., Andrade B.F., de Oliveira Th.L.C. et al. Technological and sensory characteristics in development of innovative symbiotic boneless dry-cured lamb meat snack. *Meat Science*. 2024. Vol. 216. 109578.
14. М'ясні снєки: джерки. *Академія сушіння «DRY FOOD»*: веб-сайт. URL: <https://dryfoodacademy.com/blog/pro-susheni-produkty/shho-take-dzherky/> (дата звернення 13.04.2024).
15. Молоканов Л.В., Орешина О.О. Хімічний склад вітчизняних м'ясних снєків. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2011. №1 (52). С. 119–124.

#### REFERENCES:

1. Meat. *Food and Agriculture Organization Term Porta*. Retrieved from: [https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/meat/en/?ADMCMMD\\_view=1](https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/meat/en/?ADMCMMD_view=1).
2. What is meat? *National Heart, Lung, and Blood Institute*. Available at: <https://www.nhlbi.nih.gov/health/educational/wecan/eat-right/distortion.htm> [Accessed 13 April 2024].
3. FoodData Central. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*. Retrieved from: <https://fdc.nal.usda.gov/>.
4. Dietary Guidelines. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*. Retrieved from: <https://www.dietaryguidelines.gov/resources/2020-2025-dietary-guidelines-online-materials>.
5. Pertsevoi, V.F. et al. (2021). *Zahalni tekhnolohii kharchovoi promyslovosti. Chastyna 1: navchalnyi posibnyk* [General technologies of the food industry]. Sumy: SNAU [in Ukrainian].
6. Sposib vyrobnytstva snekiv miasnykh [Method of production of meat snacks]: pat. 66027 Ukraine: A23L, 1/31. №u 2011 05539; Application 29.04.2011; Publ. 10.11.2011, Bul. №24 [in Ukrainian].

7. Zdanowska-Sąsiadek, Ż., Marchewka, J., Olav Horbańczuk, Ja., Wierzbicka, A. et al. (2018). Nutrients Composition in Fit Snacks Made from Ostrich, Beef and Chicken Dried Meat. *Molecules*, 23 (6), 1267.
  8. Serra, A., Gallart-Palau, X., Koh, W.Y., Chua, Z.Ji.Yu. et al. (2019) Prooxidant modifications in the cryptome of beef jerky, the deleterious post-digestion composition of processed meat snacks. *Food Research International*, Vol. 125, 108569.
  9. Jamadar, D., Shree, V., Wagh, R. (2022). A review on meat-based snack industry. *J. Exp. Zool. India*, Vol. 25, No. 1, pp. 325–329.
  10. Nimitkeatkai, H., Pasada, K., Jarerat, A. (2022). Incorporation of Tapioca Starch and Wheat Flour on Physicochemical Properties and Sensory Attributes of Meat-Based Snacks from Beef Scraps. *Foods*, 11 (7), 1034.
  11. Antoniv, A.D. (2024). Zhynokyslotnyi sklad miasnykh snekiv z dodavanniam produktiv bdzhilnytstva [Fatty acid composition of meat snacks with the addition of beekeeping products]. *Zdorovia liudyny i natsii – Human and nation health*, №2, 7–15 [in Ukrainian].
  12. Palamarchuk, I.P., Mushtruk, M.M., Shtonda, O.A. (2024). Otsinka yakosti ta kharchovoi tsinnosti miasnykh snekiv [Evaluation of the quality and nutritional value of meat snacks]. *Zdorovia liudyny i natsii – Human and nation health*, №2. 36–43.
  13. Lima, Í.A., do Carmo, L.R., Andrade, B.F., de Oliveira, Th.L.C. et al. (2024). Technological and sensory characteristics in development of innovative symbiotic boneless dry-cured lamb meat snack. *Meat Science*. Vol. 216. 109578.
  14. Miasni sneky: dzherky [Meat snacks: jerky]. *Akademiia sushinnia «DRY FOOD» – «DRY FOOD» drying academy*. Retrieved from: <https://dryfoodacademy.com/blog/pro-susheni-produkty/shho-take-dzherky/>.
  15. Molokanov, L.V., Oreshyna, O.O. (2011). Khimichnyi sklad vitchyznianskykh miasnykh snekiv [Chemical composition of domestic meat snacks]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of the Poltava University of Economics and Trade*, №1 (52). 119–124.
-

УДК 664.681:664.654.2  
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.15>

## ВИКОРИСТАННЯ СТАБІЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ТЕХНОЛОГІЇ БІСКВІТНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

**Юрченко С. Л.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-1286-081X  
Scopus-Author ID: 57220201511

**Колеснікова М. Б.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-6223-7105  
Scopus-Author ID: 57215434099

**Черемська Т. В.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії  
Державного біотехнологічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-6518-3889  
Scopus-Author ID: 57217485269

Бісквітний напівфабрикат та кондитерські вироби з його використанням протягом багатьох років є одними з найулюбленіших ласощів різних верств населення. Саме тому науковці приділяють значну увагу покращенню його споживних характеристик та застосовують різні інноваційні підходи в технології виробництва з метою отримання напівфабрикату зі стабільними характеристиками.

Асортимент бісквітних напівфабрикатів формується, головним чином, за рахунок варіювання рецептурних компонентів та особливостей технологічного процесу їх виробництва. Відомо, що при виробництві бісквітних напівфабрикатів використовують яйця курячі, які виконують роль піноутворювача та під час збивання з цукром забезпечують формування пінної структури. Неналежна якість піноутворювача, зменшення чи збільшення часу збивання, підвищена температура рецептурної суміші приводять до отримання задовільних показників піноутворюючої здатності та розширення системи.

З метою вирішення вищезазначених проблемних моментів науковці пропонують різні інновації в технології бісквітних напівфабрикатів, які є достатньо різнопланові та характеризуються як оптимізацією рецептурного складу так і застосуванням нових інгредієнтів, які поліпшують органолептичні та структурно-механічні властивості як випечених напівфабрикатів, так і готової продукції з їх використанням.

У статті розглянуто можливість використання стабілізаційних систем: гелю для збивання та емульгатора-покращувача в рецептурному складі бісквітних напівфабрикатів, що дозволить скорегувати функціональні властивості традиційного піноутворювача (яйця курячого).

Проведеними дослідженнями встановлено, що гель для збивання доцільно використовувати в концентрації 3,0%, а емульгатор-покращувач – 4,0% від маси рецептурних компонентів, що дозволяє забезпечити стійку піноподібну систему та її стабілізацію під час її формування.

Результатами дослідження є оптимізація рецептурного складу та технологія бісквітного напівфабрикату основного, яка полягає у зменшенні вмісту меланжу у рецептурі та скороченні часу збивання рецептурної суміші.

Присутність стабілізаційної системи у рецептурі бісквіту круглого сприяє покращенню показників його піноутворюючої здатності та зменшенню часу опрацювання

рецептурної суміші, що сприяє скороченню тривалості технологічного процесу виробництва бісквітного напівфабрикату.

**Ключові слова:** бісквітний напівфабрикат, стабілізаційна система, гель для збивання, піноутворююча здатність, час збивання.

**Iurchenko S. L., Kolesnikova M. B., Cheremskaya T. V. Use of stabilization systems in the technology of biscuit semi-finished products**

For many years, biscuit semi-finished product and confectionery products using it have been one of the favorite treats of different segments of the population. That is why scientists pay considerable attention to improving its consumer characteristics and apply various innovative approaches in production technology to obtain a semi-finished product with stable characteristics.

The assortment of biscuit semi-finished products is formed mainly by varying the recipe components and the specifics of the technological process of their production. It is known that in the production of biscuit semi-finished products, chicken eggs are used as a foaming agent, which, when whipped with sugar, ensure the formation of a foamy structure. Inadequate quality of the foaming agent, reduction or increase of the whipping time, increased temperature of the recipe mixture lead to unsatisfactory foaming performance and stratification of the system.

In order to solve the above-mentioned problems, scientists propose various innovations in the technology of biscuit semi-finished products, which are quite diverse and are characterized by both optimization of the recipe composition and the use of new ingredients that improve the organoleptic and structural and mechanical properties of both baked semi-finished products and finished products using them.

The article considers the possibility of using stabilization systems: whipping gel and emulsifier-improver in the formulation of biscuit semi-finished products, which will allow adjusting the functional properties of the traditional foaming agent (chicken egg).

The research has established that it is advisable to use a whipping gel at a concentration of 3,0% and an emulsifier-improver at 4,0% by weight of the recipe components, which allows for a stable foamy system and its stabilization during its formation.

The results of the study are the optimization of the recipe composition and the technology of the basic sponge cake semi-finished product, which consists in reducing the content of melange in the recipe and reducing the time of whipping the recipe mixture.

The presence of the stabilization system in the recipe of the round sponge cake improves its foaming ability and reduces the time of processing the recipe mixture, which helps to reduce the duration of the technological process of production of the sponge cake semi-finished product.

**Key words:** biscuit semi-finished product, stabilizing system, whipping gel, foaming ability, whipping time.

**Постановка проблеми.** Серед достатньо широкого асортименту борошняної кондитерської продукції, яка представлена на ринку України, значна частка припадає на виробництво з використанням бісквітного напівфабрикату, привабливі споживні характеристики якого зумовлюють стійкий попит на них різних верств населення [1].

Слід зазначити, що при виробництві бісквітних напівфабрикатів існує ряд проблемних моментів, основними з яких є: покращення якості та харчової цінності; отримання стабільного піноподібного тіста; інтенсифікація технологічного процесу тощо.

Основними чинниками, які впливають на формування піноподібної структури бісквітного тіста є: нестабільні характеристики сировини та необхідність мінімального механічного впливу на тісто під час його замішування та формування. За реологічними властивостями бісквітне тісто можна охарактеризувати, як слабо структуровану, термодинамічно нестійку піноподібну систему, тому однією з основних технологічних задач є її стабілізація під час її формування [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням підвищення харчової та біологічної цінності, поліпшення смаку, аромату і кольору бісквітного напівфабрикату займалися багато науковців. З метою вирішення зазначеної проблеми, авторами [3] пропонується внесення до рецептурного складу бісквітного напівфабрикату порошку гарбуза в кількості 5, 10, 15%. Проведеними дослідженнями



встановлено, що бісквіт з додаванням 5, 10, 15% порошку гарбуза характеризується рівномірним, тонкостінним, еластичним м'якушем. Зберігання бісквіту з добавкою порошку гарбуза підтвердило подовження збереження свіжості, завдяки комплексу складників.

Літературні джерела свідчать [4], що в технології бісквітних напівфабрикатів використовують різноманітну сировину, зокрема цільнозмелене борошно зі спельти. Зазначено, що удосконалення технологій бісквітів спрямоване на використання нетрадиційної сировини з метою регулювання поживної цінності та реологічних властивостей бісквітного тіста під час виробництва й випікання. Авторами досліджено тісто для бісквіта основного та модельні композиції із заміною 10, 20, 30, 40, 50 % борошна пшеничного вищого гатунку на борошно зі спельти. Встановлено, що використання борошна зі спельти у складі бісквіта основного сприяє зниженню в'язкості, проте підвищується збитість та стійкість бісквітного тіста, що є позитивним моментом при подальшому формуванні та випіканні.

Дослідниками [5] визначено вплив борошна «Здоров'я» та порошку керобу залежно від концентрації на органолептичні показники бісквітних напівфабрикатів та обґрунтування доцільності їх використання в їх складі. Борошно «Здоров'я» являє собою борошно, що пророщене із зерна пшениці в розчині морської харчової солі. Воно містить майже всі вітаміни, мінеральні речовини, харчові волокна зерна.

Порошок керобу містить у собі білки, вітаміни, харчові волокна, мікро- та макроелементи, тобто є концентратом цінних речовин, які можуть бути використані для збагачення бісквітних напівфабрикатів.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що заміна борошна пшеничного на борошно «Здоров'я» у кількості від 10 % до 30% в рецептурі бісквітного напівфабрикату сприяє покращенню його органолептичних показників. У результаті повної заміни какао-порошку на порошок керобу отримано масляний бісквітний напівфабрикат з найкращими органолептичними показниками.

Відомо, що за хімічним складом бісквітні напівфабрикати містять незначну кількість білка та велику кількість вуглеводів. З урахуванням вищезазначеного, дослідниками пропонується використання в їх складі порошку спіруліни у концентраціях 5,0...15,0%, що дозволить покращити харчову цінність [6].

Спіруліна багата на валін, лейцин, ізолейцин, треонін. Вміст білка в спіруліні досягає 68 %, який засвоюється організмом на 80...90%. Спіруліна містить значну кількість фосфору, заліза та кальцію. Результати дослідження показали, що оптимальна кількість порошку спіруліни в рецептурі бісквітного напівфабрикату становить 10,0%. Ця кількість не погіршує органолептичних показників напівфабрикату, однак сприяє підвищенню його харчової цінності; вміст білка у ньому збільшується на 50,0%.

Дослідження, проведені в обраному напрямі свідчать, що інновації в технологіях бісквітних напівфабрикатів достатньо різнопланові та характеризуються як оптимізацією рецептурного складу, так і використанням нових інгредієнтів, які сприяють покращенню споживних характеристик випечених напівфабрикатів.

**Метою дослідження** є вивчення можливості використання стабілізаційних систем, які характеризуються піноутворюючою та стабілізуючою дією в технології бісквітних напівфабрикатів, застосування яких дозволить скорегувати функціонально-технологічні властивості рецептурних компонентів бісквітних напівфабрикатів.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз існуючих технологій свідчить [6-8], що при виробництві бісквітних напівфабрикатів використовують харчові добавки різного походження, які виконують роль емульгаторів, стабілізаторів та піноутворювачів харчових систем. Введенням до рецептурного складу бісквітних напівфабрикатів харчових добавок досягається певна мета, яка полягає в покращенні властивостей нагивної сировини, удосконалення технології виробництва напівфабрикату, збільшення термінів їх зберігання тощо. У зв'язку з вищевикладеним, досліджено можливість використання стабілізаційних систем – гелю для збивання та емульгатора-покращувача в рецептурному складі бісквітних напівфабрикатів.

Гель для збивання (добавка 1) являє собою комплексну харчову добавку, яка містить у собі харчові емульгатори та стабілізатори. Виробники рекомендують використовувати її в кількості 3,0 % від маси рецептурних компонентів.

Емульгатор-покращувач (добавка 2) – паста, яка рекомендується до застосування при виробництві бісквітних напівфабрикатів в кількості 3,5...4,0% від маси рецептурних компонентів.

Досліджено функціональні властивості обраних добавок: спроможність їх до піноутворення та стійкість піни. Отримані результати свідчать, що зі збільшенням концентрації харчової добавки в модельних системах значення піноутворюючої здатності збільшується. Встановлено, що гель для збивання доцільно використовувати в діапазоні концентрації 2,5...3,0% (з частковою заміною меланжу), а емульгатор-покращувач – 3,5...4,0%.

Вивчення стійкості піни стабілізаційних систем впродовж 5 хв показало, що найвищі значення з даного показника спостерігаються при використанні гелю для збивання в концентрації 3,0%, а емульгатора-покращувача – 4,0%.

Літературні дані свідчать, що на формування властивостей бісквітних напівфабрикатів здійснює суттєвий вплив операція збивання цукрово-ячної суміші. З урахуванням цього досліджено вплив гелю для збивання на показники піноутворюючої здатності цукрово-ячної маси залежно від часу збивання.

Отримані дані свідчать, що при збиванні двокомпонентної модельної системи (меланж-цукор) протягом 1...2 хв показники піноутворюючої здатності становили 200 та 220% відповідно. Внесення гелю для збивання до складу даної системи приводить до того, що час збивання скорочується у 2 рази при отриманні аналогічних показників. На підставі отриманих даних можна стверджувати, що внесення гелю для збивання у концентрації 3,0% сприяє не тільки зменшенню відсотка меланжу у рецептурі, але й скороченню часу технологічного процесу на етапі збивання рецептурної суміші. Відповідно отриманим даним час збивання можна скоротити в 2 рази.

При удосконаленні технології бісквітного напівфабрикату основного досліджено можливість внесення гелю для збивання та опрацювання усіх інгредієнтів бісквіту одночасно без попереднього збивання меланжу з цукром. Встановлено, що отриманий напівфабрикат за удосконаленою технологією характеризується ніжною, пористою, еластичною структурою, яка не поступається характеристикам бісквітного напівфабрикату основного, виготовленого за традиційною технологією.

Досліджено можливість використання харчової добавки 2 (емульгатор-покращувач) в рецептурі бісквіту круглого. Встановлено вміст добавки – 4,0% від маси усіх рецептурних компонентів та передбачено зменшення в рецептурі відсотка курячого яйця (ячного білка та жовтка) за результатами визначення піноутворюючої здатності та стійкості піни модельних систем (рис. 1, 2).

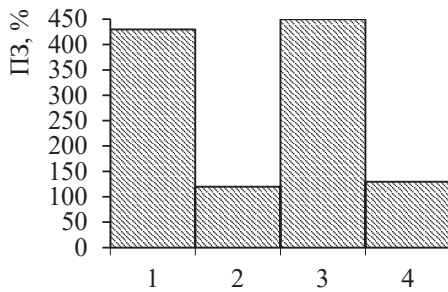


Рис. 1. Піноутворююча здатність модельних систем:

1 – білок яйця, 2 – жовток яйця;  
3 – білок+добавка 2;  
4 – жовток+добавка 2

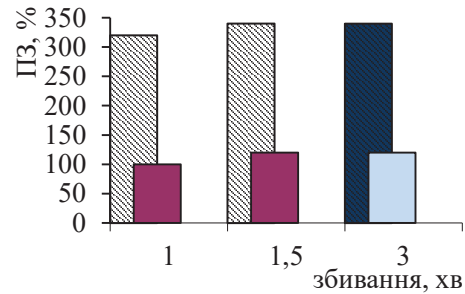


Рис. 2 Піноутворююча здатність модельних систем від часу збивання:

■ – білок яйця; □ – жовток яйця;  
▨ – білок+добавка 2;  
■ – жовток+добавка 2

Отримані результати свідчать, що в присутності харчової добавки 2 (емульгатор-покращувач) значення піноутворюючої здатності модельних систем трохи вище, чим у нативних. Слід зазначити, що заміна яєчного білка та жовтка на добавку 2 у співвідношенні 4,0% від маси рецептурних компонентів приводить до збільшення значень піноутворюючої здатності і становить 450% в порівнянні з 430% для білка та білка з харчовою добавкою й 130% та 120% відповідно для жовтка яйця та жовтка з добавкою.

Дослідження піноутворюючої здатності модельних систем від часу збивання показало, що системи, у яких була присутня харчова добавка 2, характеризуються меншим часом збивання при отриманні однакових значень. При збиванні протягом 3 хв піноутворююча здатність білка та жовтка яйця становить 340% та 120%. Такі ж саме показники отримуємо при збиванні даних систем з харчовою добавкою 2, але впродовж 1,5 хв.

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що присутність харчової добавки 2 в обраних системах покращує показники піноутворюючої здатності та зменшує час опрацювання рецептурної суміші, що сприяє скороченню тривалості технологічного процесу виробництва бісквітного напівфабрикату.

Одержані результати враховано при удосконаленні рецептур бісквітних напівфабрикатів (бісквіта основного та бісквіта круглого) з використанням в їх стабілізаційних систем (табл. 1).

Таблиця 1

### Рецептури бісквітних напівфабрикатів з використанням стабілізаційних систем

Найменування сировини	Масова частка сухих речовин, %	Витрати сировини на 10 кг напівфабрикату, г			
		бісквіт основний		бісквіт круглий	
		В натурі	В сухих речовинах	В натурі	В сухих речовинах
Борошно пшеничне вищого гатунку	85,50	2812,0	2404,3	3894,0	3329,4
Крохмаль картопляний	80,00	694,0	555,2	-	-
Цукор білий	99,85	3471,0	3465,8	3419,0	3413,9

Продовження таблиці 1

Меланж	27,00	5783,6	1562,0	-	-
Жовтки яйця	46,00	-	-	3282,24	1509,8
Білки яйця	12,00	-	-	4922,9	591,7
Гель для збивання	12,00	388,2	465,8	-	-
Харчова добавка 2 (емульгатор-покращувач)	9,0	-	-	341,88	30,76
Есенція	0,00	34,7	0,0	22,8	0,0
Кислота лимонна	98,00	-	-	15,2	14,9
Усього	-	13183,5	8453,1	15898,0	8946,3
Вихід	75,00/ 84,00	10000,0	7500,0	10000,0	8400,0

Технологічну схему виробництва бісквітного напівфабрикату основного з використанням гелю для збивання надано на рис. 3.

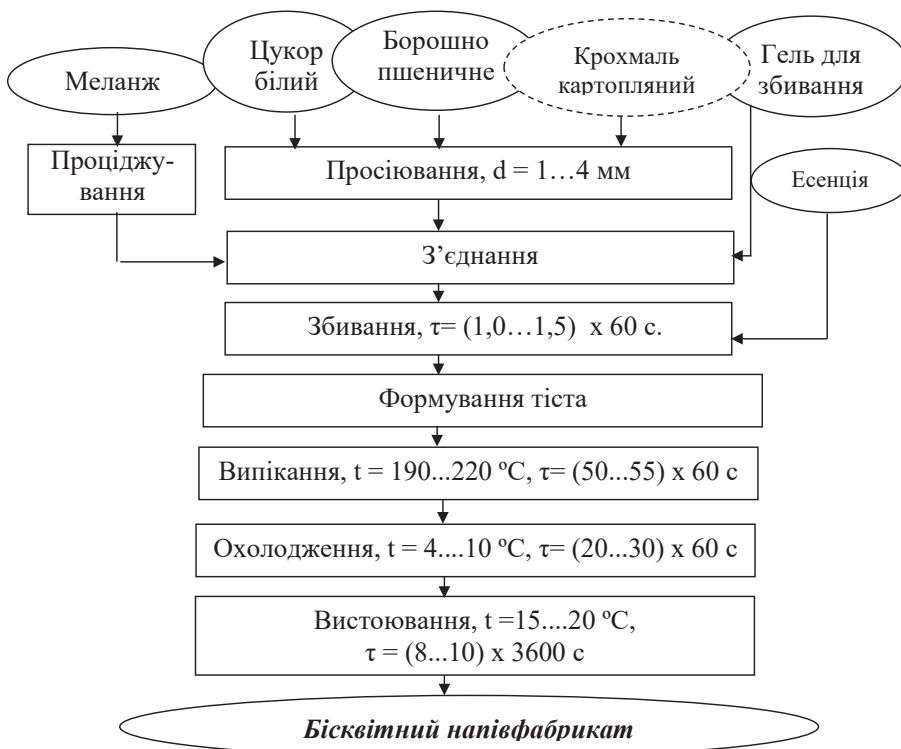


Рис. 3 Технологічна схема виробництва бісквітного напівфабрикату основного з використанням гелю для збивання

На підставі проведених досліджень встановлено, що використання стабілізаційних систем в рецептурному складі бісквітних напівфабрикатів не призводить до погіршення показників їх якості. Удосконалені напівфабрикати характеризувалися сталими органолептичними показниками.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено можливість використання стабілізаційних систем в технології бісквітних напівфабрикатів, які

дозволяють покращити показники піноутворюючої здатності та стійкості піни яйця курячого та отримати напівфабрикат тіста зі стабільними структурно-механічними характеристиками.

Визначено оптимальні концентрації стабілізаційних систем у складі бісквітних напівфабрикатів: гель для збивання – 3,0%, емульгатор-покращувач – 4,0% від маси рецептурних компонентів. Зазначено, що використання стабілізаційних систем у рецептурному складі бісквітних напівфабрикатів дозволяє отримати напівфабрикати з більшою пористістю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ринок кондитерських виробів в Україні: солодощі на будь-який смак. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-konditerskih-izdelij-v-ukraine-sladosti-na-lyuboj-vkus> (дата звернення 11.02.2022).
2. Технологія борошняних кондитерських і хлібобулочних виробів: навчальний посібник / За заг. ред. Лисюк Г.М. Суми : ВТД «Університетська книга», 2013. 464 с.
3. Філь М.І., Коропецька Т.О. Мікроскопічні дослідження нового бісквітного напівфабрикату. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*, 2018. Т. 20. № 90. С. 75-78.
4. Кравченко М., Романовська О., Марусяк Т. Реологічні властивості бісквітного тіста з борошном зі спельти. *Товари і ринки*, 2021. №2. С. 94-102.
5. Кравченко М. Ф., Романовська О. Л., Органолептичний аналіз бісквітних напівфабрикатів з борошном «Здоров'я» та порошком керобу. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19. Т. 1. С. 240-247.
6. Кошель О. Ю., Мазуренко І. К., Сабадаш С. М. Перспективи покращення біологічної цінності бісквітних виробів у закладах ресторанного господарства. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2022. Вип. 4 (50). С. 40-45.
7. Паста «Естер М 03» у бісквітних виробках. URL: <https://harch.tech/2021/11/08/pasta-emulgator-ester-m-03-egh-ingredients/> (дата звернення 08.12.2021).
8. Бордунова О. Г., Самохіна Є. А., Василенко О.О., Головка Т.М., Болгова Н.В., Применко В.Г., Коваленко А. І. Сухе молоко А2 в технології низькоглютенових бісквітів із буряком. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2023. Вип. 2 (52). С. 13-20.

### REFERENCES:

1. Rynok kondyterskykh vyrobiv v Ukraini:solodoshchi na bud-yakyi smak. [Confectionery market in Ukraine: sweets for every taste]. (n.d.). Retrieved from <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-konditerskih-izdelij-v-ukraine-sladosti-na-lyuboj-vkus> [in Ukrainian].
2. Lysiuk, H.M. (Eds.). (2013). *Tekhnolohiia boroshnianykh kondyterskykh i khlibobulochnykh vyrobiv [Technology of flour confectionery and bakery products]*. Sumy: VTD «Universytetska knyha» [in Ukrainian].
3. Fil, M.I. & Koropetska, T.O. (2018). *Mikroskopichni doslidzhennia novoho biskvitnoho napivfabrykatu. [Microscopic studies of a new biscuit semi-finished product]*. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho – Scientific Bulletin of LNUHMB named after S.Z. Hzhyskyi*, T. 20, 90, 75-78 [in Ukrainian].
4. Kravchenko, M., Romanovska, O. & Marusiak, T. (2021). *Reolohichni vlastyvo-sti biskvitnoho tista z boroshnom zi spelyty. [Rheological properties of sponge cake dough with spelt flour]*. *Tovary i rynky – Commodities and markets*, 2,94-102 [in Ukrainian].
5. Kravchenko, M. F & Romanovska, O. L. (2019). *Orhanoleptychnyi analiz biskvitnykh napivfabrykativ z boroshnom «Zdorovia» ta poroshkom kerobu. [Organoleptic*

analysis of biscuit semi-finished products with Zdorovye flour and carob powder]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, V.19, T. 1, 240-247 [in Ukrainian].

6. Koshel, O. Yu., Mazurenko, I. K. & Sabadash, S. M. (2022). Perspektyvy pokrashchennia biolohichnoi tsinnosti biskvitnykh vyrobiv u zakladakh restorannoho hospodarstva. [Prospects for Improving the Biological Value of Biscuit Products in Restaurant Business]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv» – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and automation of production processes"*. V. 4 (50), 40-45 [in Ukrainian].

7. Pasta «Ester M 03» u biskvitnykh vyrobakh. Паста «Естер М 03» у бісквітних виробках. [Pasta "Ester M 03" in biscuit dishes]. (n.d.). Retrieved from <https://harch.tech/2021/11/08/pasta-emulgator-ester-m-03-egh-ingredients> [in Ukrainian].

8. Bordunova, O. H., Samokhina, Ye. A., Vasylenko, O.O., Holovko, T.M., Bolhova, N.V. & Prymenko, V.H. et al. (2023). Sukhe moloko A2 v tekhnolohii nyzkohliutenovykh biskvitiv iz buriakom. [A2 milk powder in the technology of low gluten biscuits with beets]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv» – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and automation of production processes"*, V.2 (52), 13-20 [in Ukrainian].

УДК 547.97: 547.9

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.3.16>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ВИХІД БАРВНИХ РЕЧОВИН ІЗ ВИЖИМОК БУЗИНИ ЧОРНОЇ

**Ярмош Т. А.** – аспірантка,  
асистент кафедри технології харчування  
Сумського національного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0001-7884-6792

**Перцевой Ф. В.** – доктор технічних наук,  
професор кафедри технології харчування  
Сумського національного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3111-5017  
Scopus-Author ID: 57190932700  
Researcher ID: ABD-5115-2020

Представлена в статті інформація є фрагментом наукового дослідження. У роботі представлено дослідження впливу технологічних факторів на вихід барвних речовин з вижимок бузини чорної. У попередніх джерелах було встановлено, що такі фактори, як температура, тривалість настоювання/ екстрагування, розмір частинок рослинної сировини, гідромодуль та рН середовище суттєво впливають на вилучення пігментів. Тому основною метою даного дослідження є встановлення оптимальних параметрів настоювання вичавок з бузини чорної. Дослідження сировини проводили в лабораторії кафедри харчових технологій Сумського національного аграрного університету. Бузину чорну збирали на території Сумської області 2023 року на стадії повної стиглості. Контроль якості сировини проводили за фізико-хімічними та органолептичними показниками. Для імітації промислового виробництва з ягід бузини вичавлювали сік, а вичавки використовували для дослідження. Для інактивації ферментів свіжі вичавки бузини обробляли розчином лимонної кислоти та висушували при температурі ( $50 \pm 5^\circ\text{C}$ ) протягом 6 годин до вмісту сухих речовин ( $30,8 \pm 0,5\%$ ).

Процес настоювання залежить від ряду факторів, які впливають на добування пігменту. Тому в роботі вивчався кожен фактор впливу окремо, а саме: температура ( $t$ ),  $^\circ\text{C}$ , тривалість ( $\tau$ ), хв; розмір частинок ( $a$ ), мм; концентрація лимонної кислоти ( $c$ ), %.

Підвищення температури і тривалості настоювання покращує ефективність екстракції пігменту. Оптимальними умовами настоювання є температура  $60-70^\circ\text{C}$ ; тривалість  $120-180$  хв. Додавання лимонної кислоти стабілізує колір і підвищує вміст пігменту за рахунок зниження рН середовища. Максимальне значення барвних речовин досягається при введенні лимонної кислоти в кількості ( $1-1,3\%$ ) від загальної маси. Зменшення розміру частинок вичавок з ягід бузини призводить до збільшення концентрації фарбувальних речовин. Зі зменшенням розміру частинок площа поверхні вичавок збільшується, що призводить до збільшення контакту між розчинником і фарбувальними речовинами. Найбільша концентрація барвників спостерігається при розмірі частинок  $0,1$  мм –  $0,2$  мм, але при цьому відбувається часткова зміна кольору від червоного до коричневого, оскільки на колір впливають подрібнені кісточки ягід. Тому було визначено оптимальні умови настоювання, а саме: температура,  $60-70^\circ\text{C}$ ; тривалість  $120-180$  хв; розмір часток,  $0,5-0,4$  мм та концентрація лимонної кислоти  $1-1,3\%$ .

**Ключові слова:** натуральні харчові барвники; синтетичні харчові барвники; барвні речовини; екстракти; колір; вижимки; чорна бузина; настоювання; біологічно активні речовини; екстрагування.

**Yarmosh T. A., Pertsevoi F. V. Study of the influence of technological factors on the release of coloring substances from black elder presses**

The information presented in the article is a fragment of scientific research. The paper presents a study of the influence of technological factors on the release of dyes from black elder pomace. In previous sources, it was established that factors such as temperature, duration of infusion/extraction,

particle size of plant material, hydromodulus and pH of the medium significantly affect the extraction of pigments. Therefore, the main goal of this study is to establish the optimal infusion parameters of black elderberry pomace. Research of raw materials was carried out in the laboratory of the Department of Food Technologies of the Sumy National Agrarian University. Black elderberry was collected in the territory of the Sumy region in 2023 at the stage of full ripeness. Quality control of raw materials was carried out according to physico-chemical and organoleptic parameters. To simulate industrial production, juice was squeezed from elderberries, and the juice was used for research. To inactivate the enzymes, fresh elderberries were treated with a solution of citric acid and dried at a temperature of  $(50 \pm 5^\circ\text{C})$  for 6 hours to a dry matter content of  $(30.8 \pm 0.5\%)$ .

The process of infusion depends on a number of factors that affect the extraction of pigment. Therefore, the work included each influencing factor separately, namely: temperature ( $t$ ),  $^\circ\text{C}$ , duration ( $\tau$ ), min; particle size ( $a$ ), mm; concentration of citric acid ( $c$ ), %. Increasing the temperature and duration of infusion increases the efficiency of pigment extraction. The optimal infusion conditions are a temperature of  $60\text{--}70^\circ\text{C}$ ; duration  $120\text{--}180$  min. The addition of citric acid stabilizes the color and pigment content to reduce ambient levels. The maximum value of coloring substances is achieved when citric acid is introduced in the amount  $(1\text{--}1.3\%)$  of the total mass. Reducing the particle size of elderberry extracts helps to increase the concentration of coloring substances. As the size of the particles decreases, the surface area of the extracts increases, which leads to an increase in the contact between the solvent and the dyes. The largest concentration of dyes is in the size of particles  $0.1\text{--}0.2$  mm, but at the same time there is a change in the partial color change from red to brown, the latter color is affected by crushed berry stones. Therefore, the temperature was determined by the optimal infusion conditions, namely: ( $t$ ),  $60\text{--}70^\circ\text{C}$ ; duration ( $\tau$ ),  $120\text{--}180$  min; particle size ( $a$ ),  $0.5\text{--}0.4$  mm and citric acid concentration ( $c$ ),  $1\text{--}1.3\%$ .

**Key words:** natural food dyes; synthetic food dyes; dyes; extracts; color; pomace; black elder; infusion, biologically active substances; extraction.

**Актуальність теми дослідження.** Антоціани — це натуральні пігменти, які забарвлюють сировину в червоний, синій та фіолетовий колір. Антоціани володіють антиоксидантною та протизапальною дією, тому їх використання в харчуванні є корисним для здоров'я. Вони широко використовують в харчовій промисловості в якості барвників і є здоровою альтернативою заміни синтетичним барвникам. Одним із основних джерел антоціанів є плоди бузини чорної. Вона володіє протівірусною, імуномодулюючою, протизапальною, сечогінною, детоксикуючою дією. В Європі плоди бузини вважають суперфудом, оскільки вона містить значну кількість вітамінів та мінералів.

Вичавки бузини є цінним ресурсом для біоактивних фітохімічних речовин, таких як феноли і антоціани. За статистичними даними, опублікованими Продовольчою та сільськогосподарською організацією (FAO), у 2020 році в Європі було вироблено 43 804 т. свіжих фруктів, включно з бузиною. Високий попит на продукти та дієтичні добавки на основі бузини призвів до збільшення виробництва її протягом останніх кількох років, в основному через пандемію COVID-19 [1]. Прогнозується, що до 2025 року річний темп зростання ринку бузини становитиме  $6,52\%$ , що призведе до утворення великої кількості відходів після переробки бузини та відкриття можливостей для їх утилізації. Тому актуальним є дослідження вичавок плодів бузини чорної у якості сировини для отримання натуральних барвників.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на високу харчову і фармакологічну цінність, вичавки бузини чорної є недостатньо використаним ресурсом. При переробці вичавок бузини у якості джерела барвників дуже важливо усвідомлювати вплив кожного фактору на стабільність антоціанів, щоб мінімізувати їх втрати. На їх стабільність впливає хімічний склад сировини, природа антоціанів, кислотність середовища (pH), температура, кисень, ферменти, активність води та різні домішки [2]. Тобто, при дії різних факторів вони можуть зберігатися або руйнуватися. Тому доцільним є дослідження факторів, які впливають на стабільність антоціанів бузини.



**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Бузина – це дикоросла рослина у вигляді куща висотою до 2-5 метрів, з високою урожайністю (50т/га) та стійкістю до шкідників і хвороб [3, 4]. Ягоди бузини можна вживати в їжу, коли вони повністю дозріли, але в незрілому виді вони отруйні та містять ціаногенні глікозиди, які під дією природної деградації перетворюються на синильну кислоту. Існує понад 25 різновидів бузини, але в Україні поширена чорна та червона бузина. В Україні бузина є дикорослою і масового культивування поки що не отримала, але в Данії, Німеччині, США, Румунії та Словенії її активно культують для виробництва соків, БАД, екстрактів, барвників, сиропів, напоїв та ліків.

Стебло, листя, квіти, плоди і корінь бузини застосовують при бронхітах, кашлі, простудних інфекціях верхніх дихальних шляхів, лихоманці. Плоди та квіти бузини використовуються в традиційній австрійській медицині у вигляді чаю, желе, соку чи сиропу для лікування розладів дихальних шляхів, порожнини рота, шлунково-кишкового тракту, шкіри, а також при вірусних інфекціях, лихоманці, застуді та грипі. Ефірні олії бузини мають високий вміст летких молекул. Домінуючі сполуки бузини характеризуються біологічною активністю, особливо ліналоол, терпінєол, лімонен, каріофілен, які мають антигіпертензивну, протиракову, антимікробну, антиоксидантну та седативну дію. Антоціани бузини можуть зменшити неврологічні захворювання та ризик серцево-судинних захворювань та надавати протизапальну дію, пов'язану з ожирінням і діабетом. Пігменти регулюють рівень глюкози в крові, нормалізуючи секрецію інсуліну та резистентність.

Згідно з даними [4], зрілі ягоди бузини містять (83-85%) вологи, (6-8%) моноцукрів, (1,5-2%) сахарози, (1,3-1,4%) органічних кислот, (1,0-1,2%) пектинових речовин. Було встановлено, що бузина містить аскорбінову кислоту (58,5 мг/100 г), флавоноїдів (65,9 мг/100 г), антоціанів (742,2 мг/100г), барвни (750 мг/100 г) та фенольні (1080 мг/100 г) речовин. Серед антоціанів бузини чорної найбільш поширені ціанідин-3-самбубіозид і ціанідин-3-глюкозид. Було доведено [5], що екстракт з бузини проявляє противірусну активність проти людського коронавірусу HCoV-NL63 та інгібуючу дію проти патогенних для людини штамів вірусу грипу А (IAV) KAN-1 та H5N1. Клінічні дослідження на людях показали, що екстракти чорної бузини знижують тяжкість симптомів та тривалість вірусних інфекцій групи В.

Науковцями доведено [4], що більшість поліфенолів і антоціанів у чорній бузині залишаються у вичавках після віджиму соку, так як вміст барвних речовин у м'якоті складає (764 мг/100 г), в шкірці (3198 мг/100 г) та в кісточці (49 мг/100 г) [5]. Незважаючи на високу харчову і фармакологічну цінність, вичавки бузини чорної є недостатньо використаним ресурсом. При використанні вичавок бузини у якості джерела барвників важливо усвідомлювати вплив кожного фактору на антоціани для мінімізації втрат [7].

Термічна обробка є одним із важливих факторів, що впливає на стабільність молекулярної структури антоціанів. Під дією тривалої термічної обробки антоціани зазнають процесу розщеплення та полімеризації. В результаті призводить до деградації та побуріння пігменту у присутності кисню. Доведено [8], що у всіх природних пігментів, включаючи антоціани, стабільність знижується з підвищенням температури. Отже, інтенсивність кольору знижується залежно від часу/температури, тоді як кількість коричневих пігментів полімерної фракції збільшується. З іншого боку термічна обробка може мати позитивний ефект за рахунок інактивації ферментів, які розщеплюють антоціани. Таким чином, короткочасна теплова обробка покращує стабільність антоціанів за рахунок інактивації нативних ферментів.

В процесі термічної обробки кисень виступає в ролі каталізатора в деградації антоціанів, шляхом прямого окисного механізму або за допомогою дії окислювальних ферментів. Дослідниками було доведено [9, 10], що стабільність антоціанів підвищується, якщо зберігати у вакуумі. Видалення кисню з розчину запобігає протіканню термічній деградації. Якщо зберігати харчові продукти при низькій температурі в присутності кисню, то процес деградації протікатиме не так інтенсивно, як при кімнатній температурі.

Наступним фактором, який впливає на інтенсивність та стабільність забарвлення є рН середовище. Зазвичай, антоціани існують у 4 різних формах, в залежності від кислотно-лужної рівноваги. В кислому середовищі рН1 антоціани набувають червоного забарвлення і стають добре розчинними у воді, при рН2-4 набувають фіолетово-червоного кольору, при рН5-6 стають безбарвними, а при рН7 і вище – розкладаються. Усі чотири форми антоціанів можуть співіснувати у кислому середовищі з рН5-6. Однак, потрібно враховувати природу антоціанів, так як вони можуть поводити себе по різному в залежності від сировини.

Аскорбінова кислота виступає у ролі антиоксиданту в організмі людини. Її додають у більшість харчової продукції для покращення біологічної цінності. Але коли аскорбінова кислота вступає у взаємодію з антоціанами, то призводить до деструкції пігменту. Дослідники стверджують [9], що аскорбінова кислота може призводити до деструкції або стабілізації антоціанів, і це залежить від сировини, так як у гранатовому соці вона сприяє стабілізації антоціанів, а у вишневому соці, навпаки, спричиняє швидке розкладання

Ферменти антоціанази також впливають на стабільність антоціанів. Вони виробляються рослиною, і можуть бути присутніми в її тканинах або виникати в результаті мікробного забруднення. Глікозидази розривають ковалентний зв'язок між залишком аглікону і глікозилу антоціану, що призводить до дестабілізації стійкості антоціанів. У присутності кисню ферменти виконують роль каталізатора і прискорюють процес деградації антоціанів. Першим ферментом, який вступає в реакцію з антоціанами є  $\beta$ -глюкозидаза. Під дією ферментів антоціани втрачають здатність до повного розчинення і перетворюються на безбарвні сполуки [11].

Світло є найголовнішим фактором, який впливає на деградацію антоціанів. Було проведено багато досліджень, щодо впливу світла на антоціани та встановлено, що світло необхідне для синтезу антоціанів в рослині, а з іншого боку прискорює розпад пігментів. Зберігання екстрактів протягом 10 діб під прямим сонячним випромінюванням сприяло втраті понад 50% антоціанів, а у темряві – 30%. Окрім втрати антоціанів, також втрачається антиоксидантна активність. Таким чином, чим довше антоціани будуть зберігатися на світлі, тим більші будуть їх втрати.

Таким чином, антоціани є найпоширенішою категорією водорозчинних природних барвників. Їх головне використання — харчові барвники, оскільки вони надають широкий спектр кольорів і можуть замінити синтетичні барвники. Так як синтетичні барвники проявляють токсичність на здоров'я людини. Крім основного використання як пігментів, антоціани також мають важливі антиоксидантні, протипухлинні, антимуtagenі та протидіабетичні властивості. Щоб отримати максимальну користь від властивостей антоціанів, важливо знати, як на їхню стабільність впливають фактори навколишнього середовища.

**Метою дослідження** є встановлення оптимальних параметрів настоювання вичавок бузини чорної.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз літератури показав, що у вітчизняних та закордонних учених недостатньо уваги приділено дослідженню вторинній сировині, а саме вижимок з ягід бузини. Результати дослідження сприятимуть раціональному використанню природних ресурсів, зменшенню кількості харчових відходів та розробці нових продуктів з цінними біологічно активними речовинами.

**Матеріали і методи дослідження.** Дослідження сировини проводилися в лабораторії кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету. Предметом дослідження були вижимки та ягоди бузини чорної, зібрані на території Сумської області у жовтні 2023 року.

Контроль якості сировини проводили за фізико-хімічними та органолептичними показниками за стандартними методиками [13 – 16]:

Сухі речовини (загальні)	ДСТУ 7804:2015
Сухі речовини (розчинні)	ДСТУ ISO 2173:2007
Титрована кислотність	ДСТУ 4957:2008
Масова концентрація фарбувальних речовин	ДСТУ 3845-99

У роботі було досліджено кожен фактор впливу окремо, а саме: температура (t), °С, тривалість (τ), хв; розмір частинок (a), мм; концентрація лимонної кислоти (c), %.

Оптична щільність екстрактів визначалася за допомогою фотоелектричного колориметра КФК-2 при довжині хвилі 315-630 нм і робочій кювети 10 мм. Настоювання при різних температурах проводили у термостаті.

Розмір часток вижимок бузини змінювалася від 0,1 мм – 1 см із кроком варіювання 0,3 мм; температура – від 20 – 90°С; тривалість настоювання від 30 хв. до 180 хв., концентрація лимонної кислоти в екстракті – 0,3% до 3,5%.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження були використані ягоди бузини чорної на стадії повного дозрівання. З метою імітування виробництва соків, з бузини чорної вичавлювали сік, а вижимки використовували для дослідження. З метою інактивації ферментів, свіжі вижимки бузини обробляли розчином лимонної кислоти та висушували при температурі (50±5°С) протягом 6 год.

Отримані дані вхідного контролю сировини зазначені у табл. 1.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники плодів та вижимок бузини чорної**

Назва зразка	Масова частка, %		
	Сухі речовини (загальні)	Сухі речовини (розчинні)	Титрована кислотність
Ягоди бузини (свіжі)	15,5±0,5	17,0±0,5	1,6±0,1
Вижимки бузини (свіжі)	30,8±0,5	19,0±0,5	1,4±0,1
Вижимки бузини (висушені)	85,0±0,5	-	-

*Джерело: розроблено автором*

За органолептичними показниками плоди бузини – цілі, округлої форми з діаметром 5-7 мм, чорного кольору та без стороннього запаху з кислувато-солодким смаком, що відповідає даному виду сировини.

Настій готували методом настоювання. В якості розчинника було використано дистильовану воду. Після настоювання настій фільтрували.



Рис. 1. Висушені вижимки бузини чорної: 1 – цілі; 2 – подрібнені  
Джерело: розроблено автором

Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини наведені на рис. 2–6.

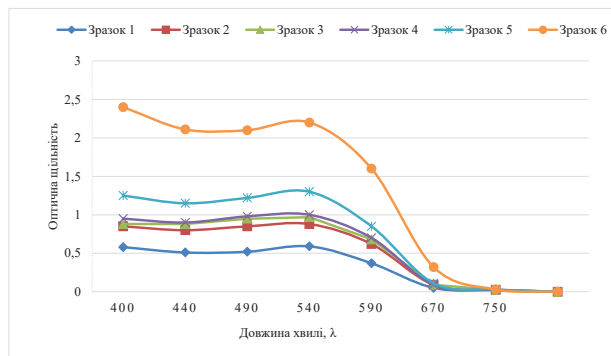


Рис. 2. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при температурі  $20 \pm 1,5^\circ\text{C}$ : 1 – 30 хв., 2 – 60 хв., 3 – 90 хв., 4 – 120 хв., 5 – 150 хв., 6 – 180 хв.  
Джерело: розроблено автором

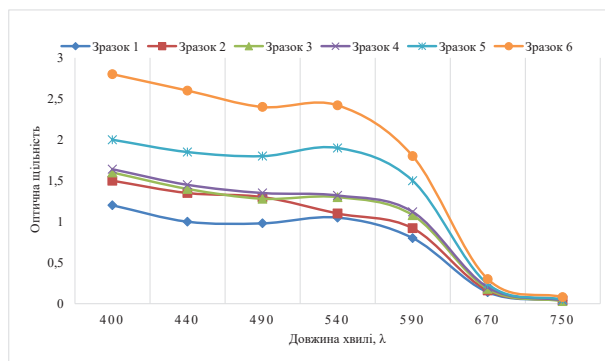


Рис. 3. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при температурі  $40 \pm 1,5^\circ\text{C}$ : 1 – 30 хв., 2 – 60 хв., 3 – 90 хв., 4 – 120 хв., 5 – 150 хв., 6 – 180 хв.  
Джерело: розроблено автором

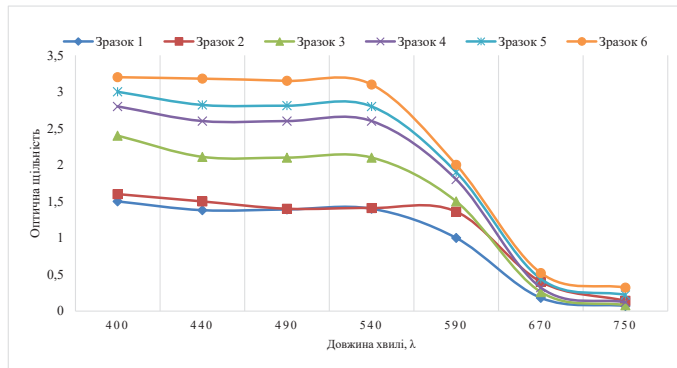


Рис. 4. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при температурі  $60 \pm 1,5^\circ\text{C}$ : 1 – 30 хв., 2 – 60 хв., 3 – 90 хв., 4 – 120 хв., 5 – 150 хв., 6 – 180 хв.

Джерело: розроблено автором

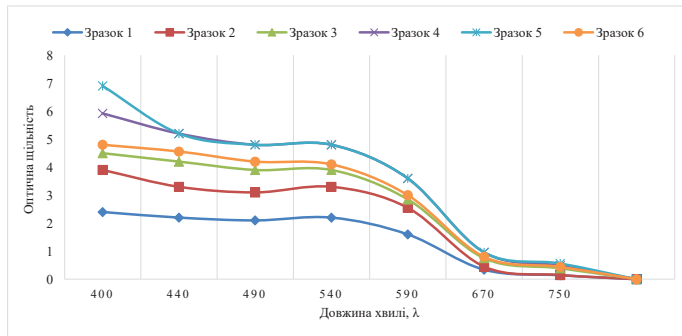


Рис. 5. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при температурі  $80 \pm 1,5^\circ\text{C}$ : 1 – 30 хв., 2 – 60 хв., 3 – 90 хв., 4 – 120 хв., 5 – 150 хв., 6 – 180 хв.

Джерело: розроблено автором

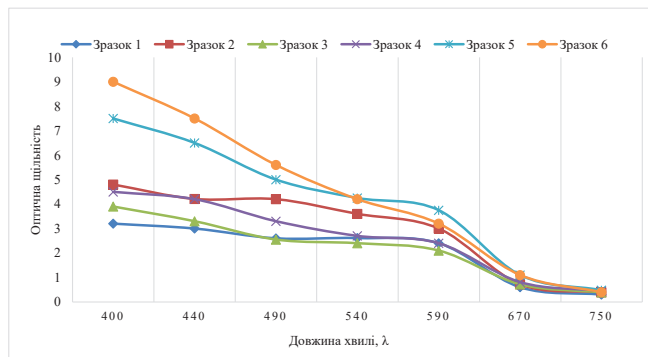


Рис. 6. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при температурі  $90 \pm 1,5^\circ\text{C}$ : 1 – 30 хв., 2 – 60 хв., 3 – 90 хв., 4 – 120 хв., 5 – 150 хв., 6 – 180 хв.

Джерело: розроблено автором

Проаналізуємо вплив фактору температура/час на ефективність настоювання з вижимок бузини чорної (табл. 2).

Таблиця 2

**Вплив фактору температура/час на ефективність настоювання з вижимок бузини чорної**

Температура, °С	Концентрація фарбувальних речовин у перерахунку на сірчаноокислий кобальт, г/кг					
	30 хв.	60 хв.	90 хв.	120 хв.	150 хв.	180 хв.
20±1,5	2,06	3,44	4,28	4,88	5,25	5,52
40±1,5	2,75	4,13	5,5	5,86	6,11	9,77
60±1,5	5,98	6,23	6,84	7,94	9,16	10,02
80±1,5	10,51	11,61	12,2	12,83	10,87*	10,26*
90±1,5	8,92	8,43*	4,81*	3,43*	1,38*	0,55*

\* зміна кольору, утворення коричневих пігментів

Джерело: досліджено та розроблено автором

Дані табл. 1 свідчать, що з підвищенням температури та часу ефективність настоювання зростає. Найбільша концентрація фарбувальних речовин (12,83 г/кг) спостерігається при температурі 80°C протягом 90 хв., але при витримці більше ніж 120 хв. спостерігається зниження концентрації (10,26 г/кг), що свідчить про поступову деградацію з утворення коричневих пігментів. При температурі 90°C протягом 30 хв. спостерігається зниження концентрації пігментів з 8,92 г/кг до 0,55 г/кг, що свідчить про руйнування пігментів та зміною кольору до коричневого. Тому проведення настоювання при температурі 80°C і вище є недоцільним.

Максимальна концентрація фарбувальних речовин досягається протягом 90-120 хв. в усіх зразках. Тому подальше збільшення часу настоювання більше ніж 180 години не дає значного приросту концентрації фарбувальних речовин. Таким чином, для максимального вилучення пігментів оптимальними умовами настоювання є температура (t), 60-70 °C; тривалість (τ), 120–180 хв.

Для дослідження фактору кислотність, настоювання проводили при кімнатній температурі (18±2°C) протягом 180 хв. з використанням лимонної кислоти. Спектри поглинання витяжок з вижимок бузини наведені на рис.7 – 8

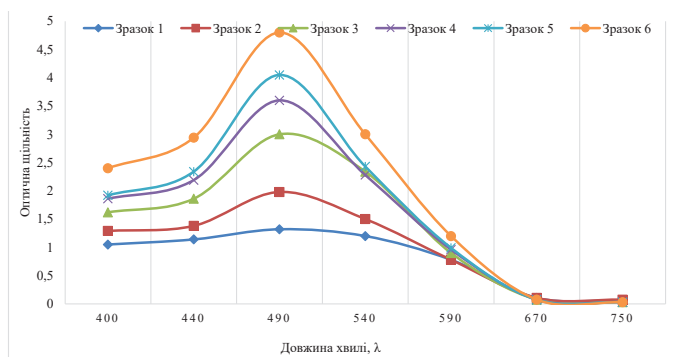


Рис. 7. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при додаванні лимонної кислоти: 1 – без кислоти, 2 – 0,3% розчин кислоти, 3 – 0,6% розчин, 4 – 1% розчин, 5 – 1,3% розчин, 6 – 1,6% розчин кислоти

Джерело: розроблено автором

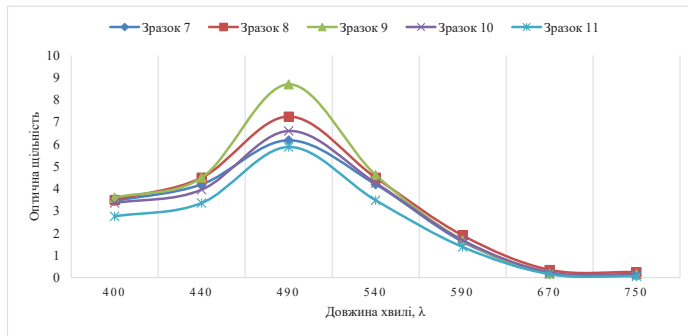


Рис. 8. Залежність оптичної густини водних витяжок з вижимок бузини при додаванні лимонної кислоти: 7 – 2% розчин кислоти, 8 – 2,3% розчин, 9 – 2,6% розчин, 10 – 3% розчин, 11 – 3,3% розчин

Джерело: розроблено автором

Проаналізуємо вплив фактору кислотності на ефективність настоювання з вижимок бузини чорної (табл. 3).

Таблиця 3

**Вплив фактору кислотності на ефективність настоювання з вижимок бузини чорної**

Концентрація лимонної кислоти, с	Значення рН	Концентрація фарбувальних речовин у перерахунку на сірчаноокислий кобальт, г/кг
Без кислоти	4,4	5,5
0,3	3,0	5,86
0,6	2,8	6,35
1,0	2,6	6,47
1,3	2,4	6,6
1,6	2,3	6,6
2,0	2,2	6,6
2,3	2,2	6,6
2,6	2,1	6,6
3,0	2,1	4,27
3,3	2,1	3,66

Джерело: досліджено та розроблено автором

Дані табл. 3 показують, що додавання лимонної кислоти дозволяє стабілізувати колір і збільшити вміст вилученого пігменту. Максимальне значення барвних речовин (6,47 – 6,6 г/кг) досягається при внесенні лимонної кислоти у кількості (1 – 1,3%) від зальної маси. Подальше додавання лимонної кислоти не призводить до значного збільшення пігментів. Проте додавання лимонної кислоти у кількості 3,0% та більше від загальної маси призводить до різкого зниження вмісту пігментів (4,27 г/кг).

Таким чином, оптимальними умовами настоювання з вижимок бузини чорної є внесення лимонної кислоти у кількості 1 – 1,3%, що відповідає значенню рН 2,6 – 2,4.

Для дослідження фактору розмір часток (а), використовували вижимки бузини чорної у цілому вигляді (0,7 мм – 1 см), подрібненими (0,4 мм – 0,5 мм) та (0,1 мм – 0,2 мм), а ягоди бузини цілі висушені. Настоювання проводили при кімнатній температурі ( $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ) протягом 180 хв.

Проаналізуємо вплив фактору розмір часток (а) на процес настоювання з вижимок бузини чорної (табл. 4).

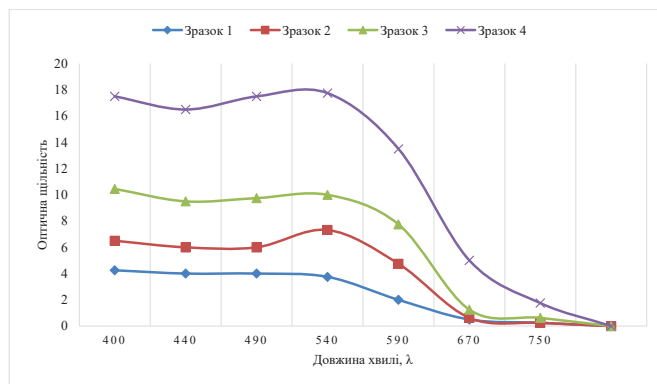


Рис. 9. Оптична густина водних витяжок з вижимок бузини в залежності від розміру часток (а): 1 – цілі ягоди (0,5 мм); 2 – подрібнені вижимки (0,7 мм – 1 см); 3 – подрібнені вижимки (0,4 мм – 0,5 мм); 4 – подрібнені вижимки (0,1 мм – 0,2 мм)

Джерело: розроблено автором

Таблиця 4

#### Вплив фактору розмір часток (а) на процес настоювання з вижимок бузини чорної

Розмір часток, а	Концентрація фарбувальних речовин у перерахунку на сірчаноокислий кобальт, г/кг
Цілі ягоди (0,5 мм)	1,38
Подрібнені вижимки (0,7 мм – 1 см)	8,55
Подрібнені вижимки (0,4 мм – 0,5 мм)	10,38
Подрібнені вижимки (0,1 мм – 0,2 мм)	12,83*

\* зміна кольору

Джерело: досліджено та розроблено автором

Дані табл. 4 показують, що спостерігається чітка залежність концентрації барвних речовин від розміру часток вижимок бузини чорної. Зі зменшенням розміру часток концентрація барвних речовин збільшується. Найбільша концентрація фарбувальних речовин (12,83 г/кг) досягається при розмірі часток 0,1 мм – 0,2 мм. Зі зменшенням розміру часток збільшується площа поверхні вижимок, що призводить до збільшення контакту між розчинником і барвними речовинами, що полегшує їх вивільнення. Крім того, менші частинки легше розпадаються під час настоювання, що збільшує вихід пігментів. Однак, при зменшенні розмірів вижимок бузини чорної (0,1 мм – 0,2 мм) спостерігається часткова зміна кольору з темно-червоного до червоно-коричневого відтінку,



так як подрібнені кісточки ягід впливають на забарвлення. Отже, оптимальними параметрами для настоювання вижимок бузини чорної є фракція (0,5 – 0,4 мм).

**Висновки.** В ході дослідження було встановлено, що механізм настоювання залежить від ряду факторів, які впливають на вилучення пігментів. Тому у роботі було досліджено кожен фактор впливу окремо, а саме: температура (t), °С, тривалість (τ), хв; розмір часток (a), мм; концентрація лимонної кислоти (c), %. Було встановлено, що збільшення температури та тривалості часу настоювання покращує ефективність вилучення пігментів. Оптимальними умовами настоювання є температура (t), 60-70 °С; тривалість (τ), 120–180 хв. Додавання лимонної кислоти дозволяє стабілізувати колір і збільшити вміст пігменту за рахунок зниження рН середовища. Максимальне значення барвних речовин досягається при внесенні лимонної кислоти у кількості (1 – 1,3%) від зальної маси. Подальше додавання лимонної кислоти не призводить до значного збільшення пігментів. Зменшення розміру часток вижимок бузини призводить до збільшення концентрації барвних речовин. Зі зменшенням розміру часток збільшується площа поверхні вижимок, що призводить до збільшення контакту між розчинником і барвними речовинами. Крім того, менші частинки легше розпадаються під час настоювання, що збільшує вихід пігментів. Оптимальними умовами настоювання є розмір часток 0,4 – 0,5 мм; концентрація лимонної кислоти (c), 1 – 1,3 %

Таким чином, оптимальними параметрами настоювання вижимок бузини чорної є: температура (t), 60 – 70°С; тривалість (τ), 120 – 180 хв; розмір часток (a), 0,4 – 0,5 мм.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Black elderberry press cake as a source of bioactive ingredients using green-based extraction approaches / Z. Mutavski et al. *Biology*. 2022. Vol. 11, no. 10. P. 1465. URL: <https://doi.org/10.3390/biology11101465>
2. Mesías F. J., Martín A., Hernández A. Consumers' growing appetite for natural foods: Perceptions towards the use of natural preservatives in fresh fruit. *Food Research International*. 2021. Vol. 150. P. 110749. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110749>
3. Перспективи використання ягід бузини чорної для виробництва барвників / Ярмош Т. А., Перцевой Ф.В. // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.).
4. Khomych G. P., Polozhishnikova L. O. The change in the content of biologically active substances of black elderberry in the production of juice. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 5, no. 11(77). P. 62. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51064>
5. European Black Elderberry Fruit Extract Inhibits Replication of SARS-CoV-2 In Vitro / C. Setz et al. *Nutraceuticals*. 2023. Vol. 3, no. 1. P. 91–106. URL: <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals3010007>
6. Хомич Г.П. Використання дикорослої сировини для забезпечення харчових продуктів БАП : монографія / Г.П. Хомич, Н.І. Ткач, Полтав. ун-т спожив. кооп. України. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2009. 159 с.
7. Elderberry extracts: characterization of the polyphenolic chemical composition, quality consistency, safety, adulteration, and attenuation of oxidative stress- and inflammation-induced health disorders / A. G. Osman et al. *Molecules*. 2023. Vol. 28, no. 7. P. 3148. URL: <https://doi.org/10.3390/molecules28073148>
8. Ярмош Т. А. Фактори, які впливають на стабільність та деградацію антоціанів / Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В. // VI Всеукраїнська науково-практична конфе-

ренція «Стан і перспектив розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості». Хмельницький, ХНТУ, 2024. 143-147 с.

9. Vujanovic M., Djurovic S., Radojkovic M. Chemical composition of essential oils of elderberry (*Sambucus nigra* L.) flowers and fruits. *Acta Periodica Technologica*. 2021. No. 52. P. 229–237. URL: <https://doi.org/10.2298/apt2152229v>

10. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. Vol. 70. P. 105325. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2020.105325>

11. Ameer K., Shahbaz H. M., Kwon J.-H. Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: A Review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2017. Vol. 16, no. 2. P. 295–315. URL: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>

12. Кузьмак І. П. Антоціани й антоціанідини як компоненти функціонального харчування: біохімія та вплив на здоров'я людини. *Medical and Clinical Chemistry*. 2022. № 4. С. 111–124. URL: <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2021.i4.12746>

13. ДСТУ 7804:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення сухих речовин або вологи. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=80802](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=80802)

14. ДСТУ ISO 2173:2007 Продукти з фруктів та овочів. Визначення розчинних сухих речовин рефрактометричним методом (ISO 2173:2003, IDT). URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=84755](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84755)

15. ДСТУ 4957:2008 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення титрованої кислотності. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=83280](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=83280)

16. ДСТУ 3845-99 Барвники натуральні харчові. Технічні умови. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=92547](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92547)

#### REFERENCES:

1. Mutavski Z. (2022). *Black elderberry press cake as a source of bioactive ingredients using green-based extraction approaches*. *Biology*. 11, 1465.
2. Mesías F. J., Martín A., Hernández A. (2021). *Consumers' growing appetite for natural foods: Perceptions towards the use of natural preservatives in fresh fruit*. *Food Research International*. 150, 110749.
3. Yarmosh T. A., Pertsevoi F.V (2024). *Perspektyvy vykorystannia yahid buzyny chornoj dlia vyrobnytstva barvnykiv. [Prospects for the use of black elderberries for production dyes]*. [in Ukrainian].
4. Khomych G. P., Polozhishnikova L. O. (2015). *The change in the content of biologically active substances of black elderberry in the production of juice*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 11 (77), 62. [in Ukrainian].
5. Setz C (2023). *European Black Elderberry Fruit Extract Inhibits Replication of SARS-CoV-2 In Vitro*. *Nutraceuticals*. 3, 91 – 106.
6. Khomych G. P., Tkach N. I. (2009). *Vykorystannia dykorosloi syrovyny dlia zabezpechennia kharchovykh produktiv BAR. [The use of wild raw materials for provision food products BAR]*. Poltava: RVV PUSKU. [in Ukrainian].
7. Osman A. G. (2023). *Elderberry extracts: characterization of the polyphenolic chemical composition, quality consistency, safety, adulteration, and attenuation of oxidative stress- and inflammation-induced health disorders*. *Molecules*. 28, 3148.
8. Yarmosh T. A., Pertsevoi F.V (2024). *Faktyr, yaki vplyvaiut na stabilnist ta dehradatsiiu antotsianiv. [Factors affecting the stability and degradation of anthocyanins]*. Khmelnytskyi, KhNTU. [in Ukrainian].
9. Vujanovic M., Djurovic S., Radojkovic M. (2021). *Chemical composition of essential oils of elderberry (*Sambucus nigra* L.) flowers and fruits*. *Acta Periodica Technologica*. 52, 229–237.

10. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V. S (2021). *Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: Ultrasonics Sonochemistry*. 70, 105325.
  11. Ameer K., Shahbaz H. M., Kwon J.-H.(2017). *Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: A Review*. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 16, 295–315.
  12. Kuzmak I.P.(2022). *Antotsiany y antotsianidyny yak komponenty funktsionalnoho kharchuvannia: biokhimiia ta vplyv na zdorovia liudyny. [Anthocyanins and anthocyanidins as components of functional nutrition: biochemistry and impact on human health]*. 4, 111–124. *Medical and Clinical Chemistry*. [in Ukrainian].
  13. DSTU 7804:2015 Produkty pererobliannia fruktiv ta ovochiv. Metody vyznachannia sukhykh rechovyn abo volohy. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=80802](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=80802)
  14. DSTU ISO 2173:2007 Produkty z fruktiv ta ovochiv. Vyznachennia rozchynnykh sukhykh rechovyn refraktometrychnym metodom (ISO 2173:2003, IDT). URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=84755](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=84755)
  15. DSTU 4957:2008 Produkty pereroblennia fruktiv ta ovochiv. Metody vyznachennia tytrovanoj kyslotnosti. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=83280](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=83280)
  16. DSTU 3845-99 Barvnyky naturalni kharchovi. Tekhnichni umovy. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=92547](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92547)
-

## ЗМІСТ

<b>КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	3
<b>Antonenko A. V., Buriak M. S., Tsvyk O. S., Burachynskiy A. Yu., Balvak A. A., Zanfirov R. R.</b> Features of the deployment of mobile communication networks using UAV .....	3
<b>Гетьман І. А., Держевецька М. А., Солод Ю. А.</b> Застосування методів дослідження операцій для прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронних мереж .....	13
<b>Коновалов С. М., Чумак О. А., Тузова І. А., Тузов О. В., Панченко Т. Д., Хотін С. Ю.</b> Аналіз кібератак на інформаційні системи морських портів та методи протидії їм .....	20
<b>Коростін О. О.</b> Ефективність розпізнавання тексту в автоматизації міжнародних морських перевезень за допомогою штучного інтелекту .....	29
<b>Кошова О. П., Ольховська О. В., Бражніченко А. О.</b> Підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в ІТ-проектах методами імітаційного моделювання .....	39
<b>Ольховська О. В., Кошова О. П., Гаркуша С. В., Тур В. М.</b> Теоретичні оцінки складності алгоритмів ітераційних методів типу Брауна – Робінсон для розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач ігрового типу .....	51
<b>Сікора О. В., Пазюк Р. І.</b> Формування позитивної мотивації до навчання засобами ігрових прийомів.....	62
<b>Khambir V. R.</b> Advantages and risks of using open-source libraries in commercial development.....	70
<b>СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ</b> .....	86
<b>Bilousova T. P.</b> A study of the market of two interchangeable goods for sustainability .....	86
<b>ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	95
<b>Іванова І. Є., Кривонос І. А., Басанець С. В.</b> Оцінка якісних характеристик плодової сировини у безвідходному ланцюгу її переробки за вмістом титрованих кислот.....	95
<b>Kryvoruchko M. Yu., Antonenko A. V., Rasulov R. A., Ratushenko A. T., Gorkun A. O., Tonkykh O. H.</b> Features of digestive boilers in the restaurant business and food industry .....	109
<b>Маринін А. І., Святненко Р. С., Шевченко О. Ю., Гармаш Д. В., Демченко В. Л., Рибальченко Н. П.</b> Застосування антимікробної упаковки для зберігання насіння гарбуза .....	118
<b>Приліпко Т. М., Семенов О. М., Косташ В. Б.</b> Оптимізація технології швидкозаморожених борошняних напівфабрикатів.....	128
<b>Сова Н. А., Леусенко О. О.</b> Особливості технології виробництва снєків м'ясних .....	133

<b>Юрченко С. Л., Колеснікова М. Б., Черемська Т. В.</b> Використання стабілізаційних систем у технології бісквітних напівфабрикатів .....	143
<b>Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В.</b> Дослідження впливу технологічних чинників на вихід барвних речовин із вижимок бузини чорної .....	151

## CONTENTS

<b>COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY</b> .....	3
<b>Antonenko A. V., Buriak M. S., Tsyvk O. S., Burachynskiy A. Yu., Balvak A. A., Zanjfirov R. R.</b> Features of the deployment of mobile communication networks using UAV .....	3
<b>Getman I. A., Derzhevetska M. A., Solod Yu. A.</b> Application of operations research methods for predicting ambient temperature using neural networks .....	13
<b>Konovalov S. M., Chumak O. A., Tuzova I. A., Tuzov O. V., Panchenko T. D., Khotin S. Yu.</b> Analysis of cyber attacks on information systems of seaports and methods of countering them.....	20
<b>Korostin O. O.</b> Efficiency of Text Recognition in the Automation of International Maritime Transport with the Help of Artificial Intelligence .....	29
<b>Koshova O. P., Olkhovska O. V., Brazhnychenko A. O.</b> Improving the efficiency of making management decisions in IT projects using of simulation modeling methods.....	39
<b>Olkhovska O. V., Koshova O. P., Harkusha S. V., Tour V. M.</b> Theoretical assessments of the complexity of algorithms of iterative methods of the Brown-Robinson type for solving combinatorial optimization problems of the game type.....	51
<b>Sikora O. V., Pazyuk R. I.</b> Formation of positive motivation for learning by the means of game receipts .....	62
<b>Khambir V. R.</b> Advantages and risks of using open-source libraries in commercial development.....	70
<b>SYSTEM ANALYSIS</b> .....	86
<b>Bilousova T. P.</b> A study of the market of two interchangeable goods for sustainability .....	86
<b>FOOD TECHNOLOGY</b> .....	95
<b>Ivanova I. Ye., Kryvonos I. A., Basanets S. V.</b> Quality characteristics evaluation of fruit raw materials in the waste-free chain of its processing by titrated acids content.....	95
<b>Kryvoruchko M. Yu., Antonenko A. V., Rasulov R. A., Ratushenko A. T., Gorkun A. O., Tonkykh O. H.</b> Features of digestive boilers in the restaurant business and food industry.....	109
<b>Marynin A. I., Svyatnenko R. S., Shevchenko O. Yu., Harmash D. V., Demchenko V. L., Rybalchenko N. P.</b> The use of antimicrobial packaging for storing pumpkin seeds.....	118
<b>Prylipko T. M., Semenov A. M., Kostash V. B.</b> Optimization of the technology of quick-frozen flour semi-finished products.....	128
<b>Sova N. A., Leusenko O. O.</b> The features of meat snacks production technology .....	133

<b>Iurchenko S. L., Kolesnikova M. B., Cheremskaya T. V.</b> Use of stabilization systems in the technology of biscuit semi-finished products .....	143
<b>Yarmosh T. A., Pertsevoi F. V.</b> Study of the influence of technological factors on the release of coloring substances from black elder presses.....	151

---

# **Таврійський науковий вісник**

## **Випуск 3**

### **Технічні науки**

Підписано до друку 28.06.2024 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 13,65. Зам. № 0924/650

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](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.