



*International periodic scientific journal*

—*ONLINE*

*www.moderntechno.de*



Indexed in  
**INDEXCOPERNICUS**  
(ICV: 84.86)

# **M**ODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

**Issue №32**

**Part 1**

April 2024

*Published by:*  
**Sergeieva&Co**  
*Karlsruhe, Germany*

**Editor:** Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*  
**Scientific Secretary:** Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

**Editorial board:** More than 350 doctors of science. Full list on page:  
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

**Expert Board of the journal:** Full list on page:  
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern engineering and innovative technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in IndexCopernicus, GoogleScholar.

**UDC 08**  
**LBC 94**

**Published by:**

**Sergeieva&Co**

*Lußstr. 13*

*76227 Karlsruhe, Germany*

e-mail: [editor@moderntechno.de](mailto:editor@moderntechno.de)

site: [www.moderntechno.de](http://www.moderntechno.de)



UDC 004.5

**RESEARCH OF ROBOTIC DEVICE MOVEMENTS BY USING THE  
COPPELIASIM PLATFORM**  
**ERFORSCHUNG VON BEWEGUNGSMITTELN DER ROBOTERGERÄTE DURCH  
VERWENDUNG DER COPPELIASIM-PLATTFORM**

**Mykhailov E.P.,***d.t.s., Associate professor.*

ORCID: 0009-0008-8946-7999

**Matveiko O.V.,***senior lecturer.***Borisov V.S.,***Postgraduate student***Sokolova A.S.***student**Polytechnische Nationaluniversität Odessa,**Odessa, Shevchenka Avenue, 1, 65044*

**Abstrakt.** In der vorliegenden Arbeit geht es um die Anwendungsmöglichkeit des kostenlosen Robotersimulators CoppeliaSim/V-REP zur Erforschung der Fortbewegungsmittel von Robotergeräten und wird auch die Roboter-Nutzung von den Studierenden während der Erfüllung der praktischen Aufgaben und Laborarbeiten behandelt.

Unter Bedingungen des Online-Studiums infolge des fehlenden Zugangs zu Laborständen bietet die CoppeliaSim-Plattform die Gelegenheit, praktische Erforschung mithilfe der Computerprojektierung und Modellierung von Robotergeräten durchzuführen.

**Schlüsselwörter:** Robotergeräte, computergestützte Projektierung, CoppeliaSim-Plattform, Laborarbeiten, Online-Studium.

### **Einführung**

Heutzutage werden Werkzeuge zum Erlernen der Fächer während des Online-Studiums immer aktueller. Zum vollständigen Beherrschen des Lehrmaterials ist eine spezielle Software erforderlich, und in diesem Zusammenhang sind zusätzliche Anwendungen zu erwähnen, die es ermöglichen, Robotergeräte zu simulieren und vielfältige Varianten sowohl zur Erstellung als auch zur Steuerung von Robotern zu bieten, was die Erfüllung der Aufgabe bei fehlendem Zugang zu realer Ausrüstung erheblich erleichtert. Damit die Studierenden dieses Werkzeug erlernen können, sind entsprechende methodische Hinweise erforderlich, in denen alle Werkzeuge anzuführen sind und Schritt für Schritt erklärt wird, was man zum Erreichen des Resultats tun muss.

### **1. Analyse der Computermodellierung von Robotergeräten**

Alle Roboterarten lassen sich bedingt in zwei Hauptgruppen einteilen und zwar es gibt universelle Roboter für verbreiteten Einsatz, die aus einzelnen unifizierten Knoten oder Modulen bestehen, und spezialisierte Roboter, die meist für die Ausführung begrenzter Funktionen geschaffen werden oder als Bestandteile für komplexe Produktionssysteme dienen, deswegen werden verschiedene automatisierte Systeme zur Projektierung und Modellierung eingesetzt[1].

Im erstgenannten Fall werden zur Roboterprojektierung am häufigsten automatisierte Projektierungssysteme verwendet, die für bestimmte Robotertypen



geeignet sind; beispielsweise wird der Softwarekomplex ABB Robot Studio [2] zur Projektierung und Modellierung von Robotern der Firma ABB benutzt. Der entsprechende Softwarekomplex wird zur Projektierung und Modellierung von KUKA-Robotern eingesetzt.

Im zweitgenannten Fall werden universelle Projektierungsmittel für einzelne Roboterkomponenten verwendet, die in mechanische Komponenten, Antriebe und andere Bewegungsmittel sowie Steuerungssysteme unterteilt werden können. Diese Mittel können aus Projektierungsmitteln für mechanische, elektromechanische und Softwarekomponenten bestehen. Am häufigsten werden solche Projektierungssoftwarekomplexe zur Projektierung wie SolidWorks, MathCAD, Matlab dafür gebraucht.

In den modernen Robotersystemen benutzt man häufig den Hardware- und Softwarekomplex Arduino, der über eine relativ große Anzahl von Mikrocontrollern, Steuermodulen für elektrische Antriebe und Informationsmodulen zur Bestimmung des Bewegungspfad, des Abstands zu Objekten, der Ausrichtung und Position des Roboters verfügt, die den Zustand sowohl des Roboters selbst als auch der äußeren Umgebung zu definieren ermöglichen.

Zur Projektierung und Modellierung wird der UnoArduSim-Simulator [3] gebraucht. Der Vorteil dieses Simulators besteht in der Möglichkeit, die Hardwarekomponenten des Roboters zu erstellen und die Ausführung des gefertigten Programms zu überprüfen. Der Nachteil liegt in der Begrenzung der Projektierung der mechanischen Komponenten.

Als ein Beispiel der Modellierung für verschiedene Roboter lässt sich der Robotersimulator V-REP/CoppeliaSim des Unternehmens Coppelia Robotics [4-5] anführen, der über die Bibliothek mit einer Vielzahl von Modellen der stationären und mobilen Roboter als auch der Zusatzausrüstung verfügt, und bietet eine Gelegenheit, ein Computermodell des Roboters im manuellen und automatischen Modus zu erstellen und zu testen. Außerdem ist es möglich, verschiedene Roboterkomplexe und deren Komponenten selbstständig zu erstellen.

## **2. Anwendungsmöglichkeiten der CoppeliaSim/V-REP-Plattform mit Zweck der Erforschung der Bewegungsmittel von Robotergeräten.**

CoppeliaSim gebraucht ein kinematischen Triebwerk für Berechnungen der Vorwärts- und Umkehrkinematik sowie mehrere Bibliotheken zur physikalischen Modellierung, um Starrkörpersimulationen durchzuführen. Modelle und Szenen werden durch die Zusammenstellung verschiedener Objekte (Gitter, Verbindungen, verschiedene Sensoren, Punktwolken usw.) in eine hierarchische Struktur erstellt. Zu den zusätzlichen durch Plugins bereitgestellten Funktionen gehören: die Bewegungsplanung, die synthetische Vision und die Bildbearbeitung, die Kollisionserkennung, die Mindestabstandsberechnung, grafische Benutzeroberfläche und die Datenvisualisierung (z. B. mithilfe von Grafiken).

Das Ziel der Modellierung bei der Erstellung neuer Roboterlösungen hängt hauptsächlich vom Entwicklungsstand ab. Dabei kann es sich um Hypothesentests, eine Konstruktionsoptimierung und ein Softwaretesten handeln, die neue Algorithmen zur Verarbeitung sensorischer Informationen und der Verhaltenssteuerung sowie in späteren Phasen das Debuggen des Codes

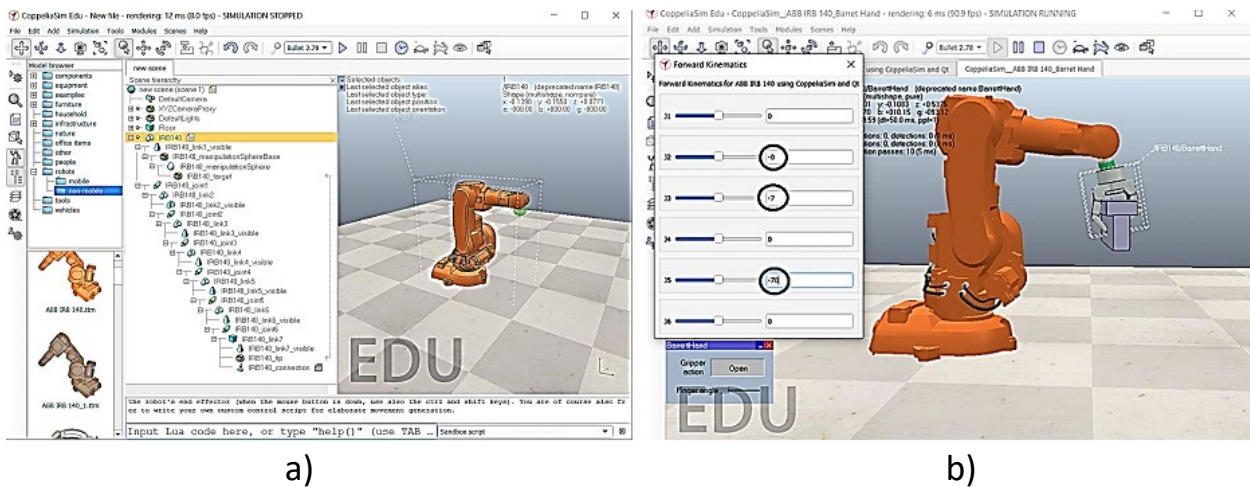


implementieren, der vor seinem Start auf dem Controller der Manipulator-Workstation ausgeführt wird.

Es wird das Interface des Programms CoppeliaSim (V-REP) betrachtet. Das Hauptmenü verfügt über verschiedene Abschnitte, die Werkzeuge für die Bearbeitung verfügbarer und Hinzufügung neuer Objekte zum Simulationsszenario enthalten.

Ein Teil der Werkzeuge aus dem Hauptmenü ist auch im CoppeliaSim-Popup-Kontextmenü (V-REP) dupliziert. Die am häufigsten verwendeten Werkzeuge sind für einen schnellen Zugriff auf horizontale und vertikale Symbolleisten platziert.

Eines der wichtigsten Werkzeuge ist die Modellbibliothek. Standardmäßig ist dieses Werkzeug aktiv, aber kann durch Klicken auf das Symbol deaktiviert werden. Im aktiven Modus zeigt dieses Werkzeug eine Struktur der Ordner und Modelle an, von denen es tatsächlich eine große Anzahl gibt: mobile Roboter, Erfassungsgeräte und andere Einrichtungen, die für die Forschung oder den Aufbau von Roboterkomplexen verwendet werden können. Diese Modelle lassen sich bei Bedarf ganz einfach per Drag-and-Drop auf das Arbeitsfenster eingeben. Auf der Abbildung 1, a wird das Interface des CoppeliaSim-Programms mit dem Robotermodell ABB IRB 140 dargestellt. Objekte lassen sich ändern oder man kann neue Elemente hinzufügen. Auf der Abbildung 1, b wird ein Roboter mit zusätzlichen Schiebern zur manuellen Steuerung und der Barrett-Handgreifvorrichtung vorgestellt.



**Abbildung 1 – CoppeliaSim-Programminterface (V-REP).**

Als Schlüsselement dient die Objekthierarchie, die die Hauptbeziehungen zwischen den Skriptobjekten bestimmt. Außerdem können die Eigenschaften jedes Objekts durch Doppelklick der linken Maustaste auf das Symbol links neben dem Objektamen in der Szenenhierarchie geöffnet werden.

Mit einem Klick kann das gewünschte Element ausgewählt und anschließend das Tool „Szenenobjekteigenschaften“ («Scene Object Properties») aktiviert werden. Um Robotergeräte für die einfachsten Aufgaben zu erstellen, kann man solche Elemente wie „Primitive Shapes“ (Primitive Formen) für Roboterverbindungen und „Joint“ (Gelenke) für bewegliche Verbindungen [5] verwenden.

Als Gelenke gelten Objekte, die eine relative Bewegung zwischen Elementen ermöglichen. Es werden drei Arten von Gelenken benutzt: Drehgelenk(Revolute



joint) , Prismengelenk (Prismatic joint) und Kugelgelenk (Spherical joint).

Gelenkeigenschaften werden über das Dialogfeld Scene Object Properties (Szenenobjekteigenschaften) festgelegt, das sich in Menu bar --> Tools --> Scene object properties (Menüleiste -> Tools -> Szenenobjekteigenschaften) befindet. Gelenkdynamikeigenschaften werden durch das Add-on Joint Dynamics Properties (Gelenkdynamikeigenschaft) definiert, das mit der Taste Show dynamic properties dialog (Dialogfenster der dynamischen Eigenschaften anzeigen) geöffnet wird.

Eine der Schlüsselfunktionen, die in Form einer Objekthierarchie umgesetzt werden, ist die Verbindung von Systemkomponenten. Indem ein Objekt auf ein anderes gezogen wird, kann man eine Beziehung zwischen ihnen herstellen (eines davon zum „übergeordneten“ Objekt im Verhältnis zum anderen einsetzen).

### 3. Entwicklung von Beispielen zur Nutzung der CoppeliaSim/V-REP-Plattform für Durchführung von praktischen Aufgaben und Laborarbeiten

Die Abbildung 2 stellt ein Modell des Manipulators dar, das aus Elementen Primitive shape (Cylinder, Cuboid) und Revolute joint besteht.

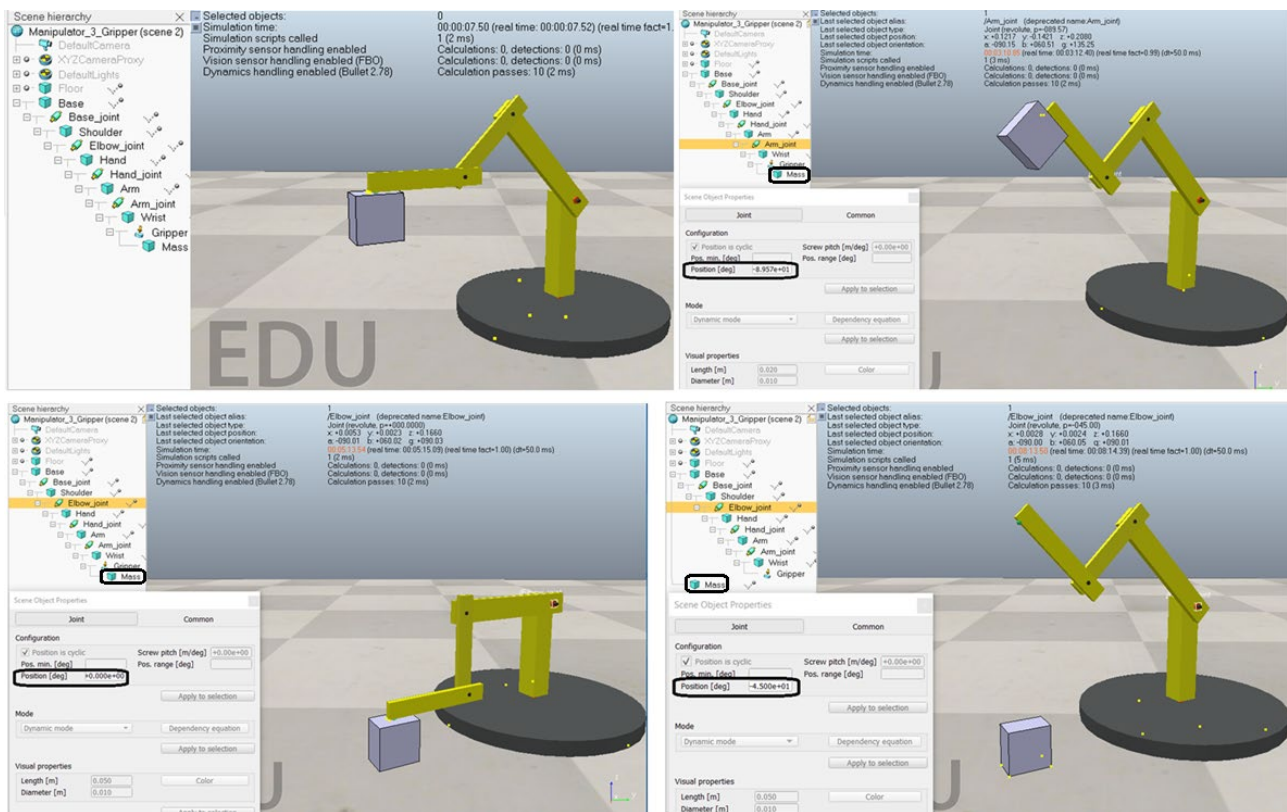
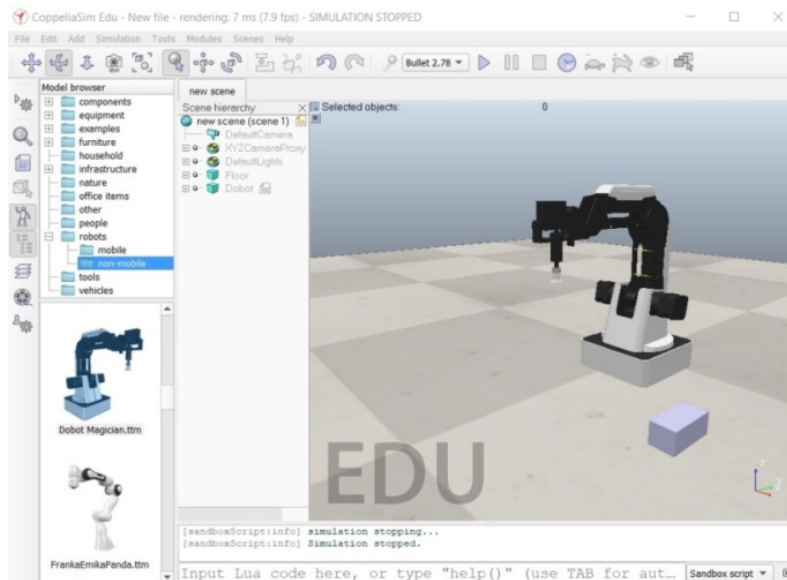


Abbildung 2 – Manipulatormodell

Um die Lastbewegung im Simulationsmodus durchzuführen, wird die Einstellung der entsprechenden Gelenkparameter im Fenster Scene Object Properties benutzt, in dem die Eigenschaften der Objekte festgelegt werden.

Durch die Veränderung der Ladungsmasse lässt sich die Untersuchung ihres Einflusses auf die Bewegungsparameter durchführen.

Zur Erforschung der Bewegung des Roboters im automatischen Modus ist das Modell des stationären Roboters Dobot Magician zu verwenden (Abbildung 3).



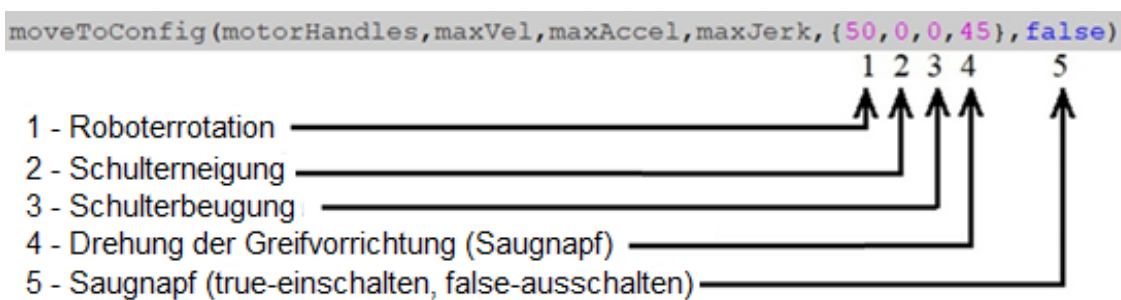
**Abbildung 3 – Dobot Magician-Roboter**

Quelle: [6]

Im Simulationsmodus führt dieser Roboter den folgenden Bewegungsablauf aus, nämlich das Drehen, das Greifen von Lasten, das Heben, das Senken, das Abwerfen von Lasten und das Rückkehren in die Ausgangsposition. Die Steuerung erfolgt durch die API-Funktion `moveToConfig`.

Auf der Abbildung 4 wird dargestellt, durch welche Elemente der Konfigurationsfunktion `moveToConfig` die Verschiebung und die Steuerung einzelner Verknüpfungen ausgeführt werden. Die Drehung wird in Grad relativ zur Ausgangsposition eingestellt.

Man kann durch die Festlegung der Parameter der Funktion `moveToConfig` die Bewegung des Roboters [6] ändern; aus diesem Grund wurde dieser Roboter ausgewählt, um die Robotersteuerung im automatischen Modus zu modellieren.



**Abbildung 4 – Verschiebung und Steuerung einzelner Verknüpfungen**

Quelle: [6]

Es werden die Möglichkeiten der Erforschung von Roboterkomplexen am Beispiel eines aus Robotern und Förderbändern bestehenden Produktionsbereichs untersucht.

Als Grundlage wird der Dobot Magician-Roboter genommen, für den ein Lastübertragungsprogramm erstellt wurde; ihm wird ein Förderer `generic conveyor` (efficient) angefügt und werden die Positionsparameter bestimmt, die es ermöglichen,

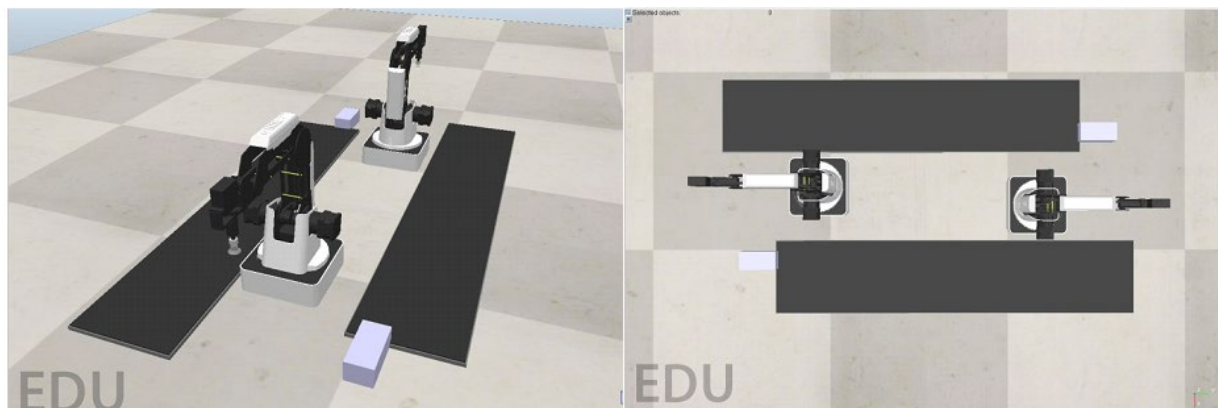


eine Last darauf zu installieren (Abbildung 5).



**Abbildung 6 – Installation eines Förderers generic conveyor (efficient)**

Um eine konstante Lastkreisbewegung zu erreichen, werden dem angeführten Projekt eines aus Robotern und Förderbändern bestehenden Produktionsbereichs einen weiteren Roboter und ein Förderband hinzugeführt. Man erhält die relative Position der Elemente des Produktionsbereichs, was auf der Abbildung 6 dargestellt ist.



**Abbildung 6 – Die gegenseitige Position der Elemente des Produktionsbereichs**

Ebenso kann man komplexere Produktionsbereiche erstellen.

Zur Forschung der Bewegung der mobilen Roboter lässt sich das Modell des mobilen Roboters KUKA YouBot [6, 7] (Abbildung 7, a) gebrauchen, welches im Simulationsmodus die folgenden Bewegungen aufweist:

`setMovement(0,0.5,0)` – die Bewegung nach rechts

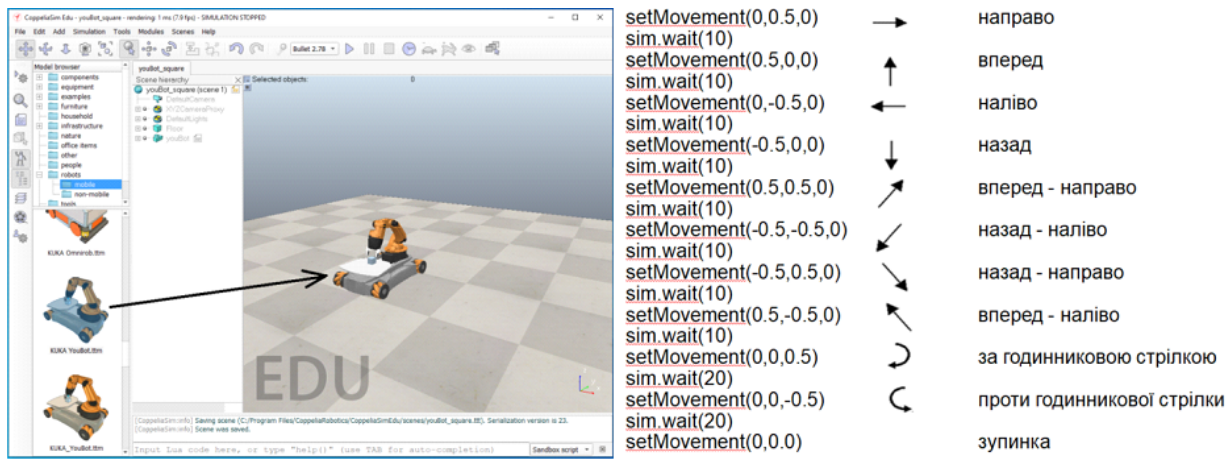
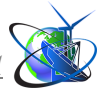
`sim.wait(10)` – die Verzögerung von 10 Sekunden, legt die Bewegungsdauer fest

`setMovement(0,0,0.5)` – die Drehung im Uhrzeigersinn

Entsprechend der Analyse des angeführten Fragments wurde die Übereinstimmung der Parameter mit der Bewegungsrichtung definiert (Abbildung 7, b).

Durch die Festlegung des Bewegungsablaufs und der Verzögerung kann man die Bewegungsrouten des mobilen Roboters bestimmen.

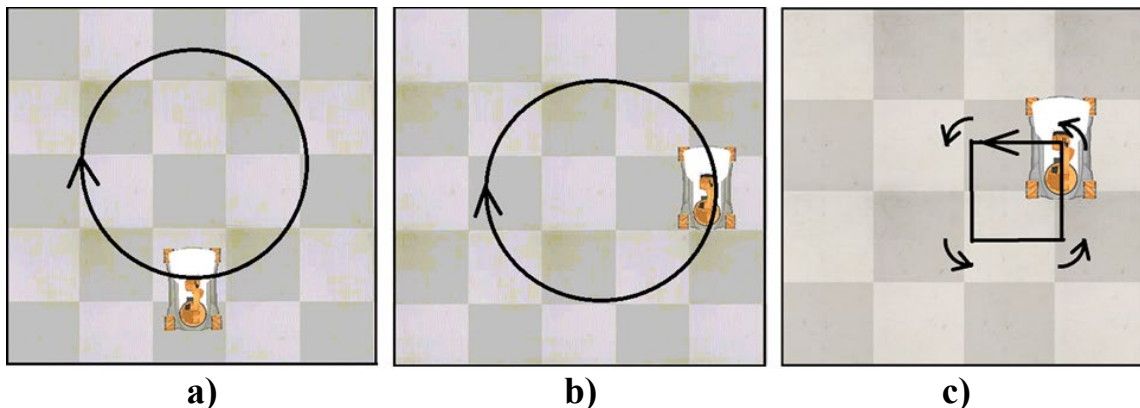




**Abbildung 7 – Modell des mobilen Roboters KUKA YouBot (a) und Übereinstimmung der Parameter mit der Bewegungsrichtung (b)**

Quelle: [6]

Es ist möglich, durch das Ändern des Steuerskripts, eine Bewegung entlang der Bahn „Kreis“ mit den entsprechenden Parameterwerten der Bewegungsfunktion `setMovement(0,2,1)` (Abbildung 8, a) und `setMovement(2, 0,1)` (Abbildung 8, b) sowie entlang der Bahn „Quadrat“ (Abbildung 8, c) zu modellieren.



**Abbildung 8 – Bewegung entlang der Bahn „Kreis“ (a, b) und „Quadrat“ (c).**

Quelle: [7]

Zur Bewegung entlang der Bahn „Quadrat“ kann man folgende Änderung am Bewegungssteuerungsskript des mobilen Roboters [6] vornehmen:

```
for i=0,3,1 do
    setMovement(0,0.5,0) – die Bewegung nach rechts
    sim.wait(20)
    setMovement(0,0,-0.505) – die Drehung gegen den Uhrzeigersinn
    sim.wait(24)
    setMovement(0,0,0)
end
```

Die Analyse der Bewegungsskripts für andere Modelle ermöglicht, die Erforschung anderer Roboter aus der Bibliothek durchzuführen, und dank der Ausnutzung zusätzlicher Geräte, zum Beispiel, der Förderbänder, entsteht die Gelegenheit, verschiedene robotertechnische Komplexe zu erstellen.



## Zusammenfassung

Die durchführende Analyse vorhandener Mittel zur Projektierung und Modellierung von Robotergeräten hat ergeben, dass die virtuelle Plattform für experimentelle Roboterforschung CoppeliaSim / V-REP am besten für Online-Studium mit Zweck der Untersuchung verschiedener Robotergeräte geeignet ist, da sie über umfangreiche Möglichkeiten zur Modellierung sowohl der stationären als auch der mobilen Roboter verfügt.

Es werden Beispiele bezüglich der Erstellung von Robotermodellen zur Erforschung ihres Einsatzes im manuellen und automatischen Modus angeführt, was den Einsatz solcher Modelle bei der Erfüllung der praktischen Aufgaben und Laborarbeiten ermöglicht.

## Literatur

1. Комп'ютерне конструювання елементів машин. Навчальний посібник для здобувачів бакалаврів: / Укл.: Михайлов Є. П. Одеса: Одеська політехніка, 2023. 233 с.

2. RobotStudio® Suite. Visualize your ideas and reduce commissioning time  
**URL:** <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>

3. UnoArduSim. **URL:**  
<https://sites.google.com/site/unoardusim/home?authuser=0>

4. Coppelia Robotics. **URL:** <https://www.coppeliarobotics.com/>

5. CoppeliaSim User Manual **URL:**  
<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html>

6. Розробка засобів для проведення практичних та лабораторних занять з робототехнічними пристроями в умовах дистанційного навчання / Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур, В. С. Борисов, О. С. Панфіленко, К. С. Махновський // SWorldJournal. - 2023. - Iss. 20, Part 1. - P. 21-28.

7. Дослідження алгоритмів та обладнання для переміщення мобільних роботів за допомогою комп'ютерного моделювання / Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур, Д. С. Антихович, О.П. Василенко // Modern engineering and innovative technologies. - 2023. - Iss. 29, Part 1. - P. 3-11.



UDC: 664.6: 62-93

**SUBSTANTIATION OF DESIGN PARAMETERS OF VIBRATORY MIXERS  
FOR FLOUR COMPONENTS****ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ  
БОРОШНЯНИХ КОМПОНЕНТІВ****Fedoriv V.M. / Федорів В.М.***Ph.D in Engineering, Asc. Prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4499-0910

**Stechyshyn M. S. / Стечишин М.С.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-5780-2790

**Martynyuk A.V. / Мартинюк А.В.***Ph.D in Engineering, Asc. Prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8277-1308

**Kurskoi V.S. / Курской В.С.***Ph.D in Engineering, Asc. Prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-3929-884X

**Pereima A.R. / Перейма А.Р.***master / магістр**Khmelnytskyi National University,**11 Instytutaska St., Khmelnytskyi, 29016**Хмельницький національний університет,**вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016*

**Abstract.** Concern for Ukraine's food security requires maintaining an appropriate level of food self-sufficiency, which implies the use of state support for domestic food producers and the use of import control measures to protect domestic producers from foreign competition. However, society needs healthy, safe and reasonably priced food, and its quality is of particular relevance.

Therefore, to determine the key parameters of the mixer, a flour bakery mix with a high protein content was selected. In this regard, an attempt was made to obtain these mixtures using the original continuous vibrating mixer. During the study of the feasibility of preparing a flour bakery mixture with a high protein content in a vibratory mixer, the rate of its vibration transportation was experimentally determined. In determining the efficiency of mixing processes, in addition to the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture, the power consumption of the equipment is of great importance. Therefore, studies were also conducted to determine the mutual influence of the mixer's technological parameters on power consumption.

An analysis of the study results to determine the influence of key parameters on the vibration transportation speed of the flour bakery mixture  $v$  showed that it increases with an increase in the oscillation frequency of the working body  $f$  and the amplitude of oscillations  $A$ . Also, the study found that the higher the amplitude and frequency of oscillations, the greater the power consumption of the vibratory mixer.

**Key words:** mixing, flour components, protein, vibration, vibration transportation speed, vibration amplitude, vibratory mixer.

**Introduction.**

Adequate safe and balanced nutrition is an important factor for sustaining life and promoting health. Particular attention is paid to ensuring the proper quality and safety of food products sold on the domestic market and their affordability for the population of Ukraine.



Protein occupies a special place among all organic substances. Protein is an essential macronutrient that is involved in the functioning of the entire body. It is found in muscles, bones, hair, skin, and almost all parts of the body and tissues. To remove it from the diet is to harm yourself. Based on this, flour components with a high protein content were selected to conduct research to determine the parameters of the vibratory mixer. For the production of dry flour mixtures, it is necessary to ensure an even distribution of the components [3,4,5,22]. Vibratory mixers are used for this purpose due to their simple design and high mixing efficiency. The study of the operation of continuous vibratory mixers is an urgent scientific task for the food industry. The aim of this work is to determine the parameters of a vibratory mixer to obtain a flour mixture with a high protein content of a given quality [6,7,8,23,24].

### Research methodology.

The object of study is an original continuous vibration mixer.

The subject of the study is the factors influencing the process of mixing a flour bakery mixture; the dependence of the influence of the frequency of oscillations of the working body and the amplitude of oscillations; determination of the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture.

The analysis of the raw material market showed the effectiveness of using for experimental studies the following recipe components with a protein content of at least 22 g per 100 g of product: almond flour (22 g of protein per 100 g of product), whey isolate (95 g of protein per 100 g of product), soy protein isolate (91 g of protein per 100 g of product), dry wheat gluten (76 g of protein per 100 g of product). To calculate the nutritional value, we used the methodology of conversion factors for the energy value of the main food substances of food products, according to which 1 g of protein contains 4 kcal or 17 kJ [14,18,19]. Thus, the recipe for a flour bakery mixture with a high protein content was modeled, which is presented in Table 1.

When studying the feasibility of the selected flour components with a high protein content, the speed of their vibration transportation through the working body of a vibratory mixer was experimentally determined. It has a significant effect on the performance of the mixer, its geometric parameters, and depends on the angle  $\beta$ , amplitude  $A$ , and frequency  $f$  of vibration, as well as on the height of the vibrating boiling layer (VBL) and the presence of perforations on the working body of the vibratory mixer.

**Table 1 – Recipe for flour baking mix with high protein content**

| Name of raw materials   | Raw material consumption, kg |
|-------------------------|------------------------------|
| High-grade wheat flour  | 82,5                         |
| Almond flour            | 4,5                          |
| Food salt               | 1,3                          |
| White crystalline sugar | 1,8                          |
| Whey isolate            | 4,5                          |
| Soy protein isolate     | 4,5                          |
| Dry wheat gluten        | 0,9                          |
| Total:                  | 100,0                        |



The determination of the speed of vibrotransportation of the flour bakery mixture through the working body of the mixer was carried out according to the following method:

1. The average length of the path of movement of the components of the flour bakery mixture along the mixer's working body was determined by the following formula:

$$l_{av} = \frac{2\pi(D_{out} + D_{inn})}{4 \cos \gamma} \quad (1)$$

where  $l_{av}$  – average length of the surface along which the mixture moved, m;  $D_{out}$  – outer diameter of the working body, m;  $D_{inn}$  – inner diameter of the working body, m;  $\gamma$  – angle of inclination of the screw working body.

2. An indicator particle (a tinted grain of edible salt) was added to the flow of the flour bakery mixture and the time of its passage through the working body of the vibratory mixer was measured.

3. The speed of vibration transportation of the flour bakery mixture through the working body of the apparatus was determined by the formula:

$$v_{av} = \frac{l_{av}}{t_{par}} \quad (2)$$

where  $v_{av}$  – speed of vibration transportation of the flour baking mixture through the working body of the apparatus, m/s;  $t_{par}$  – time of passage of the indicator particle through the working body of the vibratory mixer, s [6,8].

### Research results.

The following parameters were used in the study to determine the speed of vibration transportation of a flour bakery mixture through the working body of a vibratory mixer: vibration angle ( $\beta = 20, 35, \text{ and } 45^\circ$ ), amplitude ( $A = 0,0015, 0,0030, \text{ and } 0,0040$  m), unbalance oscillation frequency ( $f = 14,36, 19, 23, 26, \text{ and } 29,36$  Hz), height of the vibro-boiling layer ( $VCS = 0,01, 0,02, \text{ and } 0,03$  m), perforation ( $d = 0,003, 0,005$  m; without perforation).

The results of studies to determine the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture through the mixer's working body are shown in Figures 1–4 and in the form of analytical equations [1,2,9].

Figure 1 shows a group of lines reflecting the effect of the amplitude  $A$  and frequency  $f$  of oscillations on the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture through the working body of the vibratory mixer (vibration angle  $\beta = 35^\circ$ , height of the VCS  $0,01$  m, no perforation).

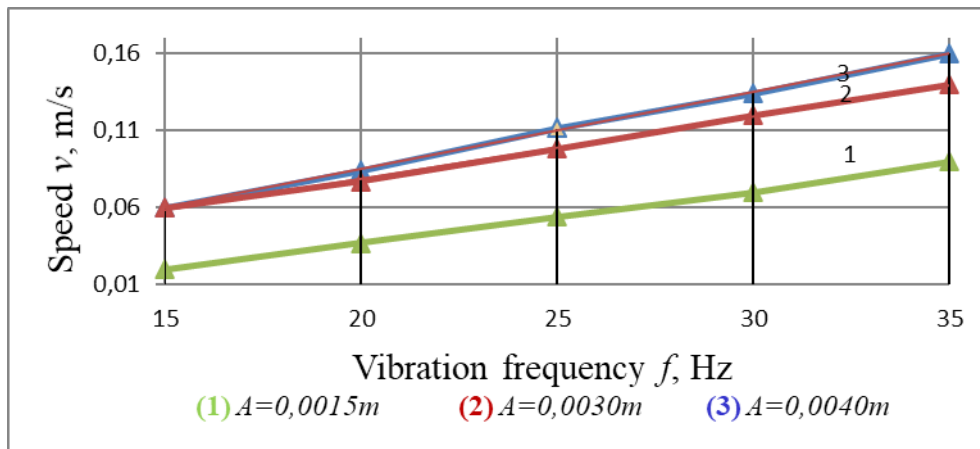
Figure 1 shows that the highest values of the velocity of vibration transport of the flour bakery mixture along the mixer's working body are observed at  $A = 0,0030$  m, and the lowest at  $A = 0,0015$  m. Accordingly, the greater the amplitude  $A$  and the vibration frequency  $f$ , the higher the velocity of vibration transport of the flour bakery mixture  $v$ . The amplitude is responsible for lifting the material to a certain height from the plane, thereby contributing to better movement of the mixture along the working body of the machine. Therefore, to intensify the process of mixing flour bakery mix and increase the productivity of the machine, it is necessary to increase these parameters. The approximating equations of the obtained lines are as follows:



$$v_1 = 0,003f - 0,042 \quad (A = 0,0015 \text{ m}), \tag{3}$$

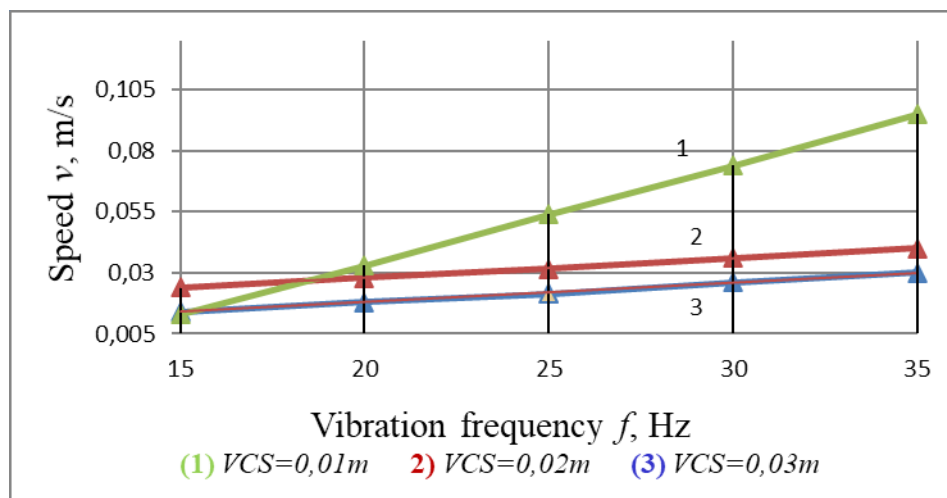
$$v_2 = 0,004f - 0,018 \quad (A = 0,0030 \text{ m}), \tag{4}$$

$$v_3 = 0,005f - 0,035 \quad (A = 0,0040 \text{ m}) \tag{5}$$



**Figure 1 – Graphical dependence of the speed of movement of the flour baking mixture on the working body on the amplitude (A) and vibration frequency (f)**

Figure 2 shows a group of lines reflecting the effect of the height of the VCS and the vibration frequency  $f$  on the speed (vibration angle  $\beta = 35^\circ$ , vibration amplitude  $A = 0,0040 \text{ m}$ , no perforation).



**Figure 2 – Graphical dependence of the speed of movement of the flour baking mixture on the working body on the height of the VCS and the vibration frequency (f)**

Figure 2 shows that the highest velocity of vibration transportation of the flour bakery mixture is observed at a VCS of 0,01 m, and the lowest at 0,03 m. It can be concluded that the higher the vibration frequency  $f$  and the lower the VCS, the higher the vibration transportation speed of the studied mixture. This is explained by the following: under the influence of vibration, the particles of the flour baking mixture layer begin to move upward. At this point, a vacuum is formed under the layer, due to which air is sucked through the hole [20,21]. The mix's VCS captures the air from below and forces it upward, acting as a «pump» that transports air through itself. Air



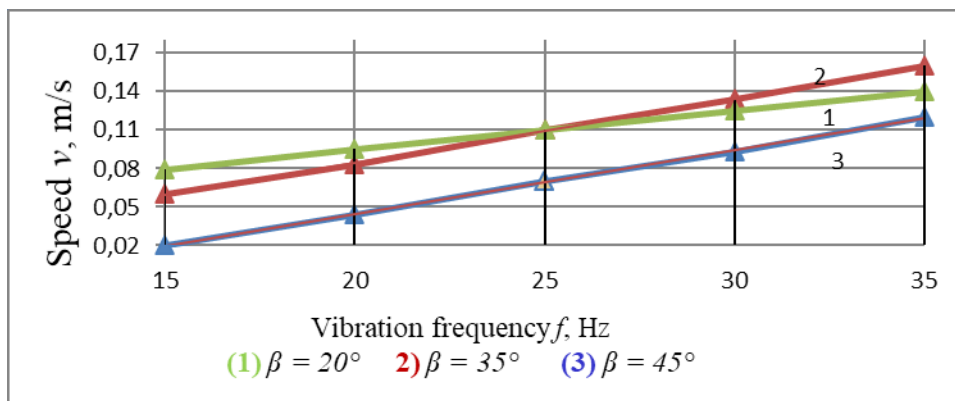
penetrating under the material layer through the perforations «closes» the holes and impairs the flow of the dispersed phase through them. Accordingly, the higher the material's VCS, the better the mixture flows through the perforations and the lower the rate of vibration transportation of the flour baking mixture. The approximating equations of the constructed lines are as follows:

$$v_1 = 0,003f - 0,045 \quad (h = 0,01 \text{ m}), \tag{6}$$

$$v_2 = 0,002f - 0,025 \quad (h = 0,02 \text{ m}), \tag{7}$$

$$v_3 = 0,001f - 0,001 \quad (h = 0,03 \text{ m}), \tag{8}$$

Figure 3 shows a group of lines reflecting the effect of the vibration angle  $\beta$  and frequency  $f$  on the velocity (vibration amplitude  $A = 0,0040 \text{ m}$ , height of the VCS =  $0,01\text{m}$ , no perforation).



**Figure 3 – Graphical dependence of the speed of movement of the flour baking mixture on the working body on the angle ( $\beta$ ) and vibration frequency ( $f$ )**

Figure 3 shows that with increasing vibration angle, the vibration transportation speed decreases. The maximum value is achieved at a vibration angle of  $\beta = 35^\circ$ , since at this vibration angle the directional rotary-screw movement of the mixture is more intense. Therefore, to increase the productivity of the vibratory mixer, it is more expedient to set this value of the vibration angle. At a vibration angle of  $\beta = 20^\circ$  and  $\beta = 45^\circ$ , less favorable conditions are created for the movement of the flour bakery mixture. The approximating equations of the lines are as follows:

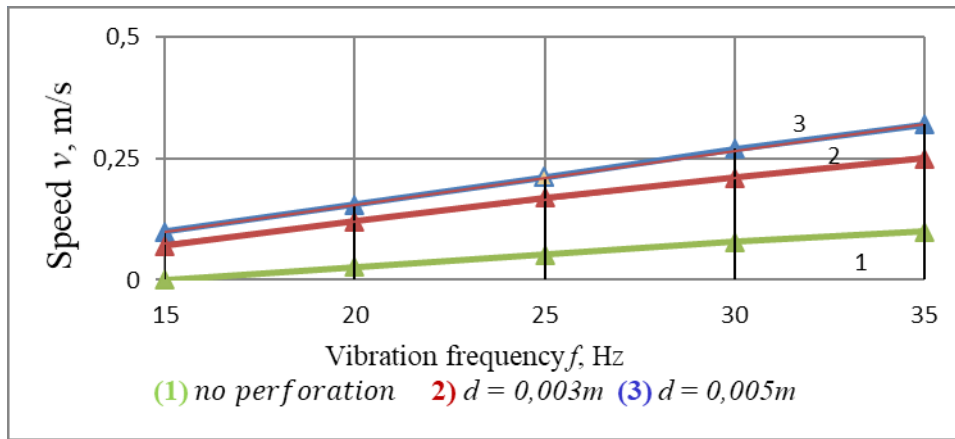
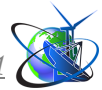
$$v_1 = 0,005f - 0,019 \quad (\beta = 20^\circ) \tag{9}$$

$$v_1 = 0,005f - 0,027 \quad (\beta = 35^\circ) \tag{10}$$

$$v_1 = 0,005f - 0,056 \quad (\beta = 45^\circ) \tag{11}$$

Figure 4 shows a group of lines reflecting the effect of the diameter of the holes  $d$  of the working body and the vibration frequency  $f$  on the speed (vibration angle  $\beta = 35^\circ$ , vibration amplitude  $A = 0,0040 \text{ m}$ , height of the VCS  $0,01 \text{ m}$ ) [10-13].

Figure 4 shows that the highest values of the velocity of vibration transportation of the flour bakery mixture are observed at a perforation diameter of  $d = 0,005 \text{ m}$ , and the lowest at its absence. Consequently, the larger the diameter of the perforation of the working body  $d$ , the higher the speed of vibration transportation of the flour baking mixture. The increase in the studied parameter occurs due to air suction through the layer [15,16,17].



**Figure 4 – Graphical dependence of the speed of movement of the flour baking mixture on the working body on the diameter of the perforation of the working body (d) and the vibration frequency (f)**

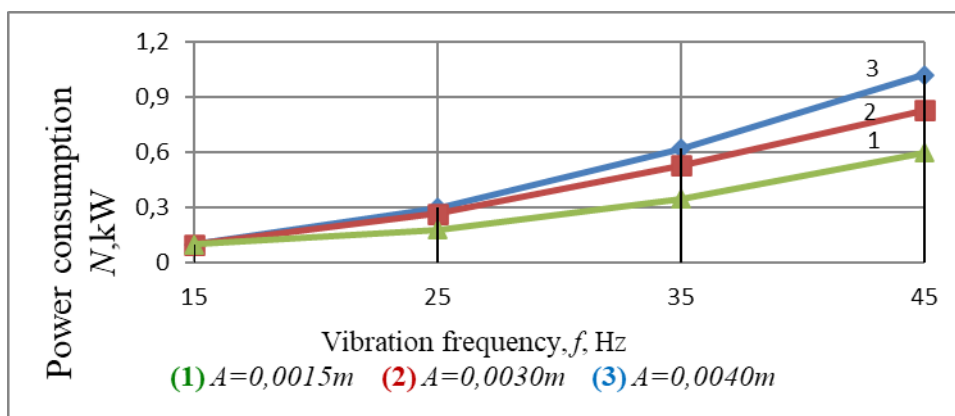
To study the effect of the perforation area of the working body on the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture, hole diameters of 0,003 and 0,005 m were taken in order to exclude the effect of changing the height of the layer on the speed of vibration transportation, since at large values of the perforation area, the VCS of the flour bakery mixture on working turns decreased. At the diameter of the holes (e.g., d = 0,0015 m), an increase in the VCS of the flour bakery mixture on the working body of the vibratory mixer was observed, which leads to a decrease in the vibration transportation speed. The approximating equations of the lines are as follows:

$$v_1 = 0,005f - 0,035 \text{ (no perforation)}, \tag{12}$$

$$v_2 = 0,011f - 0,125 \text{ (8 hol., } d = 0,003 \text{ m)}, \tag{13}$$

$$v_3 = 0,015f - 0,175 \text{ (8 hol., } d = 0,005 \text{ m)} \tag{14}$$

Figure 5 shows the results of a study to determine the mutual influence of the amplitude (A) and oscillation frequency (f) of a 20,0 kg mixer on power consumption. The study also revealed that the moisture content of the flour baking mixture, which can change in the process of acting on the mixture, has a great influence on the power consumption [25,26,27].



**Figure 5 – Dependence of power consumption of a 20,0 kg mixer on vibration amplitude and frequency**





## Conclusions.

The analysis of the results of the study to determine the influence of parameters on the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture  $v$  showed that it increases with an increase in the frequency of oscillations of the working body  $f$  and the amplitude of oscillations  $A$ , and a slight decrease in its growth in the studied range can be explained by the increasing effect of flour slipping in relation to the vibrating surface in the mode of its detachable movement along the working body. Also, during the studies, an increase in power consumption was observed with an increase in the amplitude and frequency of oscillations. Since the speed of vibration transportation of the flour bakery mixture at a vibration amplitude of  $A = 0,0040$  m is not much different from that at  $A = 0,0030$  m, it is more expedient to use it to reduce the power consumption of the vibratory mixer. As a result of the study, we determined the rational parameters of the vibration mixer when producing flour bakery mixtures: vibration amplitude  $A = 0,0030$  m, vibration angle  $\beta = 30^\circ$ , height of the vibro-boiling layer  $0,01$  m, perforation diameter of the working body of the apparatus  $d = 0,005$  m.

## References

1. Kaplun V. G., Donchenko T. V., Kurskoi V. S., Yakovlev V. G. Study of Fretting-Fatigue of 65G Steel after Ion Nitriding in Anhydrous Saturating Media. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2020. – Vol. 42 (5) – P.705-715.
2. Kovalev, O. V., Nikolaev, I. M., Fedorov, V. M. Establishment of optimal operating modes of baking ovens. *Odesa National Academy of Food Technologies Scientific works* 3 (45).–2014.–P. 61-65.
3. Kravchenko M., Piddubnyi V., Romanovska O. Functional and technological properties of flour mixtures for dough. *International scientific-practical journal on commodities and markets.* 47(3).–2023.–P. 125–134.
4. Piddubnyi V., Sabadosh A., Mushtruk M., Chahaida A., Fedorov V., Kravcheniuk K., Krasnozhan S., Radchenko I. Innovative thermodynamic modeling for enhanced yeast dough mixing: energy perspectives and applications. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.*– 2024. – Vol. 18. – P. 251–267.
5. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Chahaida, A., Petrychenko, Y. Justification of mixer parameters for flour components. *Technical Engineering.*(1(89)).–2022.–P.3-10.
6. Piddubnyy V., Kahanets-Havrylko L., Fedoriv V., Senchishin V., Stadnyk I. Peculiarities of heat exchange in dough under rotary rollers action. *Scientific Journal of TNTU (Tern.).* –Vol 109, № 1.).–2023– P. 43-53.
7. Samiilenko S., Bondar V., Piddubnyi V., Shutyuk V., Bilyk O., Fedoriv V. Thermodynamic Analysis of the Thermal Manufacturing Complex of Sugar Production: Criteria for Energy Efficiency of an Enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2021. – Vol. 3 (8(111)) – P.6-13.
8. Stadnyk I., Piddubnyy V., Chahaida A., Fedoriv V. Dynamics of interaction of components during mixing. *Scientific Journal of TNTU.* — Tern.: TNTU, –2022. – Vol 107. № 3. – P. 86-98.
9. Stadnyk I., Sokolenko A., Piddubnyy V., Vasylykivsky K., Chahaida A., Fedoriv V. Justification of thermodynamic efficiency of the new air heat pump in the



system of redistribution of energy resources at the enterprise. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* – 2021. – Vol. 15. – P. 680-693.

10. Stadnyk I., Piddubnyi V., Chahaida A., Fedoriv V., Hushtan T., Kraievska S., Kahanets-Havrylko L., Okipnyi I. Energy Saving Thermal Systems on the Mobile Platform of the Mini-Bakery. *Strojnícky časopis-Journal of Mechanical Engineering.*–2023. –Vol. 73(1). P.169-186.

11. Stadnyk I., Piddubnyi V., Mykhailyshyn R., Petrychenko I., Fedoriv V., Kaspruk V. The Influence of Rheology and Design of Modeling Rolls On the Flow and Specific Gravity During Dough Rolling and Injection. *Journal of Advanced Manufacturing Systems.*– 2023. –Vol. 22(02). – P.403–421.

12. Stechyshyn M. S., Stechyshyna N. M., Kurskoi V. S. Corrosion and Electrochemical Characteristics of the Metal Surfaces (Nitrided in Glow Discharge) in Model Acid Media. –2018. –Vol. 53(5). – P.724–731.

13. Stechyshyn M.S., Martynyuk A.V., Oleksandrenko V.P., Bilyk Yu.M. Cavitation-Erosion Wear Resistance of Fluoroplastics in Model Food Production Media. *J. Frict.* .–2019. –Vol. 40. P.468-474.

14. Fedoriv V.M., Oleksandrenko V.P, Martynyuk A.V. Визначення конструктивних параметрів вібраційних просіювачів. *Modern Engineering and Innovative Technologies.* – Issue №31, Part 1,– Karlsruhe.–2024.–P.3-8.

15. Fedoriv VM., Bondar A Y., Efimovich MO . Study of design parameters of vibrating sifters. *SWorld-Ger Conference Proceedings. The current stage of development of scientific and technological progress '2024.* –No. gec31-00(2024). – С. 3–6.

16. Борук С.Д. Федоров В.М. Модернізація технологічних процесів харчових виробництв: навч.посібник. Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. 103с.

17. Ковальов О.В., Федорів В.М. Просіювання сипких матеріалів. *Харчова і переробна промисловість.* –2004. –№ 5. –С. 24-25.

18. Стадник І. Я., Піддубний В.А. Обґрунтування нагнітального процесу формувальних машин : монографія. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. – 332 с

19. Стадник І.Я., Піддубний В. А., Федорів В. М., Хареба О. В. Підгорний В. В. Сучасні технології та енергетичні потоки при формуванні борошняних напівфабрикатів. Монографія. Тернопіль: Ви-тво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 372 с.

20. Стадник І., Деркач А., Кравченко Х., Федорів В. Вплив технологічного середовища на механічне зношування робочих органів машини. *SWorldJournal.* –2024. –№ 1(23-01). –С. 31–38.

21. Фалько Л.Г. Віброадгезійна сепарація сипких харчових продуктів: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Харків: ХДАТОХ, 1996. – 22 с.

22. Федорів В.М., Ковальов О.В., Лісовенко О.Т. Обладнання для просіювання сипких матеріалів. *Харчова промисловість. Міжвідомчий тематичний науковий збірник УДУХТ.* –2000. – № 45. – С. 234-236.

23. Федорів В.М., Ковальов О.В., Осауленко Ю.В., Бабко Є.М. Високоінтенсивні просіювачі борошна // *Зерно і хліб.* – 2004. – № 3. – С. 47.



24. Федорів В.М., Стадник І.Я., Бабко Є.М., Миколів І.М., Ковальов О.В. Ефективність процесу просіювання сипких матеріалів. Хранение и переработка зерна. – 2015. – №11-12. – С. 51-54.

25. Федорів В.М., Олександренко В.П., Мартинюк А.В. Експлуатація та обслуговування обладнання: навч. посіб. Хмельницький: ХНУ, 2024. 335 с.

26. Федорів В. М. Робочий зошит з устаткування закладів ресторанного господарства. Каталог «Відкритий урок: розробки, технології, досвід». – К.: Плеяда, 2018. – С.15.

27. Шевченко О., Ткачук Н., Стадник І., Деркач А. Реологічний підхід до валкового нагнітання середовища. Наукові праці НУХТ. К.: НУХТ, 2017. Т. 23. No 1. С. 104–112.

**Анотація.** Турбота про продовольчу безпеку України потребує підтримки відповідного рівня продовольчого самозабезпечення, яка передбачає використання державної підтримки вітчизняних виробників харчової продукції та використання заходів контролю імпортової продукції з метою захисту власних виробників від іноземної конкуренції. Проте суспільству потрібне корисне, безпечне для здоров'я і досить дешеве продовольство, а його якість набуває особливої актуальності.

Тому для визначення ключових параметрів роботи змішувача була підібрана борошняна хлібопекарська суміш з високим вмістом білку. Була зроблена спроба отримати ці суміші на оригінальному вібраційному змішувачі безперервної дії. Під час дослідження у віброзмішувачі доцільності приготування борошняної хлібопекарської суміші з високим вмістом білку експериментально визначали швидкість її вібротранспортування. При визначенні ефективності процесів змішування, окрім швидкості вібротранспортування борошняної хлібопекарської суміші, важливе значення має споживана потужність обладнання. Тому також були проведені дослідження з визначення взаємного впливу технологічних параметрів змішувача на споживану потужність.

Аналіз отриманих результатів дослідження із визначення впливу ключових параметрів на швидкість вібротранспортування борошняної хлібопекарської суміші  $v$  показав, що вона зростає із збільшенням частоти коливань робочого органу  $f$  і амплітуди коливань  $A$ . Також в ході досліджень з'ясувалося, що чим вище амплітуда і частота коливань, тим більше значення споживаної потужності віброзмішувача.

**Ключові слова:** змішування, борошняні компоненти, білок, вібрація, швидкість вібротранспортування, амплітуда вібрації, вібраційний змішувач.

Article sent: 19.04.2024

© Fedoriv V.M., Stechyshyn M.S., Martynyuk A.V., Kurskoi V.S., Pereima A.R.



УДК 631.3.004.15

## ENSURING THE RELIABILITY OF AXIAL-PISTON UNITS OF HYDRAULIC TRANSMISSIONS IN THE PROCESS OF THEIR REPAIR BY CONSTRUCTIVE MEASURES

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ АГРЕГАТІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ В ПРОЦЕСІ ЇХ РЕМОНТУ КОНСТРУКТИВНИМИ ЗАХОДАМИ

Melyantsov P. T. / Мельянцов П. Т.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-5937-4021

Dnipro State Agrarian and Economic University, str. S. Yefremova, 25, 49600

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, 49600

**Анотація.** Підвищення довговічності об'ємних аксіально-поршневих гідромашин після їх ремонту в значній мірі обумовлюється технічним рівнем технологічних процесів та якістю відновлення деталей. Мета роботи полягала в забезпеченні міжремонтного ресурсу аксіально-поршневих гідромашин в процесі їх ремонту конструктивним удосконаленням деталей, що в першу чергу обмежують ресурс об'ємних гідравлічних трансмісій мобільних машин в умовах експлуатації. Поставлена мета досягається проведенням конструктивних удосконалень деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих агрегатів гідравлічної трансмісії, і використання їх як ремонтних деталей для забезпечення якісного ремонту. Запропоновані конструкції опори люльки, втулки блока та гідророзподільника, в якості ремонтних деталей, дають можливість поглинати вібраційні навантаження та зменшувати контактні в процесі роботи гідромашин, що зменшує зношення деталей і забезпечує збільшення їх довговічності в умовах експлуатації. Застосування ремонтних деталей значно підвищує технічний рівень технологічних процесів сервісних підприємств ремонту та розширює методи відновлення посадки в спряженнях при ремонті аксіально-поршневих гідромашин.

**Ключові слова:** гідравлічна трансмісія, аксіально-поршнева гідромашина, технологічний процес ремонту, динамічні навантаження, конструкції деталей, ремонтні деталі, довговічність, сервісні підприємства.

#### Вступ.

Застосування об'ємних гідравлічних трансмісій (ОГТ) в мобільних машинах значно покращило їх технічні характеристики, ефективність виконання запланованих дій за рахунок можливості регулювання швидкості у широкому діапазоні, високої точності маневрування, можливості швидкого реверсування руху, зниження динамічних впливів на остов машини при маневрах та ін.

До недоліків ОГТ можна віднести: порівняно низький коефіцієнт корисної дії (ККД), значна вартість гідромашин та робочої рідини (РР); вимоги щодо вищого рівня експлуатації та ремонту [1].

Найбільшу реалізацію за конструктивними рішеннями в мобільних машинах знайшла двох агрегатна гідравлічна схема, до складу якої входить регульований аксіально-поршневий гідронасос марок НП90, НП112, та не регульовані гідромотори відповідних до гідронасосів марок МП90, МП112 [2, 3].

Впровадження гідравлічних трансмісій в мобільних машинах обумовило



збільшення об'єму та виду робіт з проведення номерних технічних обслуговувань, для підтримання працездатного стану агрегатів гідравлічних трансмісій, та розроблення технологічних процесів для відновлення їх працездатності в сервісних підприємствах ремонту, так як аксіально-поршневі гідроагрегати належать до відновлювальних об'єктів ремонту.

Технічний рівень виробничих процесів з відновлення працездатного стану аксіально-поршневих гідромашин буде визначатися річною програмою сервісних підприємств, яка обумовлюється показниками експлуатаційної надійності агрегатів гідравлічних трансмісій.

В роботі [4], автори відмічають, що в умовах експлуатації близько 25...30 % відмов в мобільних машинах припадає на гідроагрегати трансмісії. А основна їх кількість відноситься до спряжень деталей качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин (гідронасоса та гідромотора).

Зміна структурних параметрів технічного стану деталей спряжень качаючих вузлів гідромашин обумовлює порушення розмірних ланцюгів в з'єднаннях, що приводить до зменшення тиску в нагнітаючій магістралі гідроприводу, зниження об'ємного і загального коефіцієнтів корисної дії (ККД) гідравлічної трансмісії [5].

Забезпечення регламентованого міжремонтного ресурсу для аксіально-поршневих гідромашин, що потрапили до сервісного підприємства для відновлення працездатного стану, як правило, формується на основі проведення детального аналізу існуючих конструктивних та технологічних рішень, які можуть бути реалізовані при розробленні та вдосконаленні в технологічних процесах спеціалізованих ремонтних підприємств.

Питання підвищення довговічності об'ємних аксіально-плунжерних гідромашин з похилою шайбою, з точки зору конструктивного удосконалення, розглядається в роботі [6]. Де автор відмічає, що на працездатність гідромашин впливають динамічні процеси, які приводять до розкриття стику між блоком циліндрів і торцевим розподільним золотником та ймовірності появи резонансних та перед резонансних умов роботи ротора гідроагрегату. Усунення даних недоліків можливе за рахунок оптимального вибору діаметра вала, відстанню між опорами вала та безпосередньо застосуванням різних типів підшипників в якості його опор.

Наведені конструктивні рішення, які забезпечують довговічність гідроагрегату, дуже важко реалізувати в технологічних процесах їх ремонту, так як характеризуються зміною геометричних розмірів вала ротора та оптимального розміщення в корпусних деталях посадкових поверхонь для підшипникових опор.

Для умов сервісних підприємств доцільним (більш доступним з технологічної точки зору) буде конструктивне вдосконалення безпосередньо деталей таких спряжень качаючих вузлів гідромашин, як «розподільник – пристане дно», «втулка блоку-плунжер», «п'ята плунжера-опора люльки» для гідронасоса і «п'ята плунжера-похила шайба» для гідромотора, які зменшать динамічні навантаження на качаючий вузол гідромашини.

Підвищення надійності об'ємних гідравлічних трансмісій, з точки зору



конструктивного удосконалення, розглядається також в роботі [7]. Автори рекомендують провести заміну пар тертя агрегатів «метал - метал (біметал)» на «метал - композит» для опори люльки, втулок блоку, підшипників ковзання цапф люльки насоса. На їхню думку, перехід на виготовлення деталей опорних поверхонь люльки гідронасоса і похилої шайби гідромотора зі спеціального композитного матеріалу дасть можливість застосувати п'яти плунжерів зі сталі.

Дане конструктивне рішення може привести до зростання ударних та вібраційних навантажень в спряженні «плунжер – стальна п'ята», що збільшить люфт в з'єднанні, а через нього «мертвий об'єм» в над плунжерному просторі спряження «втулка блоку - плунжер», що буде впливати на об'ємний (ККД) гідромашин.

Ефективним методом для підвищення надійності аксіально-поршневих гідромашин є застосування активних вставок із епоксидної смоли з додаванням порошку перманганату калію та порошкової червоної міді в спеціально виготовлені вузькі кармани на робочих поверхнях поршня спряження «поршень-втулка» [8]. Метод підвищує зносостійкість пари тертя «поршень-втулка» в п'ять разів в порівнянні з новими деталями і може бути впроваджений в технологічних процесах ремонту аксіально-поршневих гідромашин на спеціалізованих підприємствах.

Разом з тим, реалізація методу дозволяє покращити умови тертя деталей в спряженні і практично не вирішує питання вібраційних навантажень, обумовлених роботою плунжерів, які будуть впливати на роботу інших спряжень качаючого вузла гідромашини.

**Мета статті.** Забезпечення міжремонтного ресурсу аксіально-поршневих гідромашин в процесі їх ремонту конструктивним удосконаленням деталей, що в першу чергу обмежують ресурс об'ємних гідравлічних трансмісій мобільних машин в умовах експлуатації.

**Постановка задачі.** Основним завданням у роботі являється визначення доступних в умовах ремонтного виробництва конструктивних удосконалень деталей спряжень качаючих вузлів гідромашин, що забезпечують ефективність роботи їх вузлів тертя. Його рішення потребує комплексного підходу з виявлення достовірної оцінки причин відмовлення гідравлічних трансмісій і аналізу конструктивних особливостей деталей, що в першу чергу обумовлюють зниження ресурсу гідромашин. І на основі отриманих результатів виявити напрямки підвищення надійності агрегатів трансмісії, за рахунок удосконалення конструкції їх найменш надійних складових.

#### **Викладення основного матеріалу.**

Проведена диференційна оцінка показників надійності агрегатів гідравлічних трансмісій, показала, що до основних причин, які обумовили втрату працездатності аксіально-поршневих гідромашин слід віднести зміну структурних параметрів технічного стану деталей в спряженнях: «п'ята плунжера-опора люльки»; «втулка блоку-плунжер»; «розподільник - приставне дно» [9].

Зміна структурних параметрів деталей характеризується в своїй більшості гідроабразивним та ерозійним зношенням та схоплюванням, що пояснюється



умовами роботи деталей спряжень качаючого вузла, які працюють при значних швидкісних, вібраційних та ударних навантаженнях.

Наявність значних вібраційних та ударних навантажень в спряженнях качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини відмічається і в роботі [6].

Поява вище вказаних навантажень приводить до зміни положення робочих поверхонь деталей в спряженнях, що обумовлює порушення умов їх роботи та виникнення дільниць сухого і граничного тертя між робочими поверхнями в замін рідинного і прискорює зношення деталей.

Зміна роботи пар тертя приводить до зростання динамічного навантаження на вал ротора гідромашини, яке впливає на вібраційні процеси і призводить до короткочасного розкриття стиків деталей в спряженнях, що створює умови до потрапляння абразивних частин до пар тертя, і служить формуванням процесів ерозійного та гідроабразивного зношення робочих поверхонь деталей.

Уникнення подібних ситуацій можливе за рахунок зменшення вібраційних навантажень на деталі качаючих вузлів аксіально-поршневих гідромашин, що потрапили до ремонту, впровадженням в технологічних процесах ремонту операцій, направлених на конструктивні зміни в деталях, які можна назвати ремонтними після їх виготовлення. При цьому, їх габаритні розміри можуть відповідати номінальним значенням деталі згідно технічних вимог на виготовлення або збільшеним ремонтним розмірам, в залежності від технічного стану відновлювальних деталей качаючого вузла гідромашини та способу відновлення її працездатного стану.

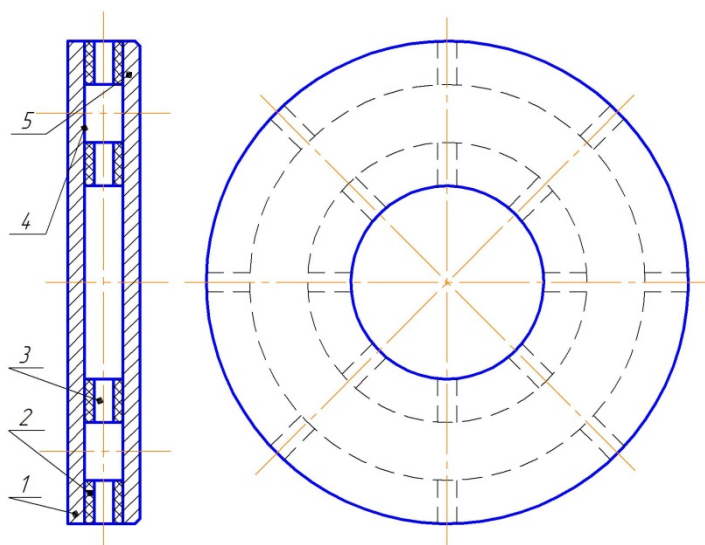
Деталі спряження «п'ята плунжера-опора люльки» гідронасоса сприймають вібраційні і ударні навантаження, які обумовлюються пульсацією робочої рідини в над поршневому просторі, знаковмінними навантаженнями п'яти плунжера при переході її із зони високого тиску до зони низького і навпаки.

Результати дефектації п'яти плунжера в умовах ремонту показали, що коефіцієнт повторюваності дефекту - гідроабразивне зношення кільцевої опори п'яти плунжера, дорівнює одиниці. Його зменшення можливе за рахунок конструктивного удосконалення опори люльки і представлення її в вигляді ремонтної деталі, яка буде зменшувати вібраційні і поглинати пікові ударні навантаження, що забезпечить жорсткість роботи гідростатичного підшипника, який формується між кільцевою опорою п'яти плунжера і робочою поверхнею опори люльки. Запропонована конструкція опори люльки в якості ремонтної деталі наводиться на (рис. 1).

Опора представляє собою два металевих кільця 1 і 5, які з'єднуються між собою пружньо-демпфуючим елементом 2. Переднє кільце 1 має робочу поверхню, яка механічно оброблена до  $R_a = 0,15$  і термічно до  $HRC_2 40...50$ , а заднє кільце 5 має відповідне механічне оброблення для забезпечення площинності з поверхнею люльки гідронасоса. В пружньо-демпфуючому елементі 2 виконано канали 3, як по зовнішньому так і по внутрішньому радіусах опори і камера 4, ширина якої відповідає діаметру п'яти плунжера, а по довжині має діаметральний замкнутий контур, до якої через канали 3



потрапляє робоча рідина під дренажним тиском  $P_D = 0,20 \dots 0,35 \text{ МПа}$ , що знаходиться в корпусі гідромашини і створює гідростатичний підшипник в розробленій конструкції опори.



**Рис. 1 – Конструкція віброізолюючої опори люльки як ремонтної деталі:**  
 1 - переднє кільце; 2 - пружньо-демпфуючий елемент; 3 - канали;  
 4 - камера; 5 – заднє кільце

*Авторська розробка*

При запуску гідронасоса робоча рідина поступає до п'яти плунжера і за рахунок гідростатичного підшипника п'яти розвантажується. Плунжер з п'ятою має складний рух (обертається навколо своєї вісі, одночасно виконуючи зворотньо-поступовий рух при періодичному проходженні між зонами високого і низького тиску), що створює додаткові вібраційні навантаження, які являються одним із основних видів механічних дій на агрегат.

Джерелом вібраційних навантажень являються також: двигун машини, елементи приводу, наявність пульсації робочої рідини в магістралях та інше.

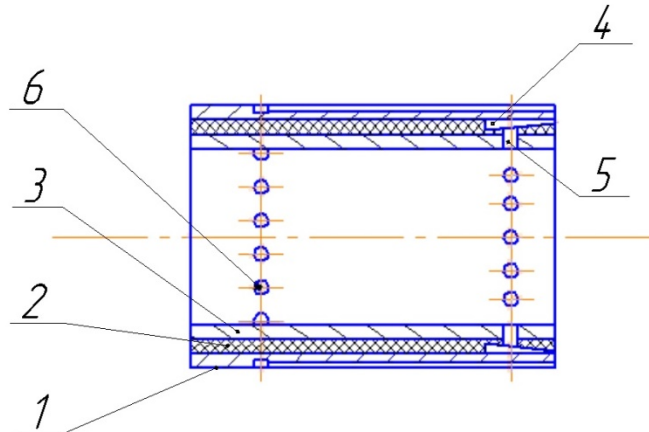
Компенсація вібраційних навантажень забезпечується за рахунок пружньо-демпфуючого елемента 2 та гідростатичного підшипника опори люльки. Робоча рідина, яка знаходиться в картерній ємкості гідронасоса під тиском  $P_D = 0,20 \dots 0,35 \text{ МПа}$  поступає по каналам 3 до камери 4 і створює гідростатичний підшипник, який сприймає вібраційні навантаження п'яти і поглинає їх за рахунок демпфування робочої рідини в границях жорсткості гідростатичного підшипника та пружньо-демпфуючого елемента 2, що покращує роботу п'яти і збільшує довговічність деталей спряження «п'ята плунжера – віброопора люльки». Крім того, циркуляція робочої рідини по каналам опори стабілізує температурний режим роботи спряження.

Наступним спряженням в качаючому вузлі аксіально-поршневої гідромашини, яке обумовлює погіршення її вихідних параметрів, являється спряження деталей «втулка блока - плунжер». На складний рух плунжера суттєвий вплив мають також тангенціальні сили, що виникають при ковзанні його п'яти по опорі при обертанні блока і обумовлюють перекіс плунжера в





втулці, що приводить до характерного зношення деталей і обумовлює зростання механічних та об'ємних втрат, а в подальшому може привести до заклинювання плунжера в втулці і аварійної відмови. Запобігання даного відказу можливе проведенням конструктивної зміни втулки блока, також представленої в якості ремонтної деталі, яка дозволить зменшити дію сил тертя в зоні контакту плунжера зі втулкою при його перекошенні, та забезпечить гасіння вібраційних навантажень. Конструкція експериментальної втулки блока в якості ремонтної деталі наводиться на (рис. 2).



**Рис. 2 – Експериментальна конструкція втулки блока качаючого вузла аксіально-поршневої гідромашини, як ремонтна деталь:**

*1- зовнішня втулка; 2 – пружньо-демпфуючий елемент; 3 – внутрішня втулка;  
4 – розвантажувальна камера; 5, 6 – отвори сполучення з дренажною  
магістраллю та магістраллю високого тиску*

*Авторська розробка*

Зовнішня втулка 1 включає в себе внутрішню втулку 3, які з'єднуються між собою пружньо-демпфуючим елементом 2, у якому розміщені розвантажувальні камери 4 під кутом  $22,5^\circ$  в площині перпендикулярній вісі втулки, які отворами 5 з'єднані з дренажною магістраллю зі сторони внутрішньої порожнини гідромашини, та отворами 6 з внутрішньою (робочою) поверхнею втулки.

В процесі роботи гідромашини робоча рідина під робочим тиском надходить до робочої камери і діє на плунжер, який через п'яту контактує з похилим диском і перекошується в втулці під дією тангенціальних сил. Водночас зі сторони внутрішньої порожнини робоча рідина під дренажним тиском  $P_D = 0,20 \dots 0,35 \text{ МПа}$  надходить через отвори 5 до розвантажувальних камер 4. При перекошенні плунжера у внутрішній втулці 3, у точках дотику його зі втулкою 3 виникають контактні навантаження, які частково поглинаються за рахунок демпферної властивості пружньо-демпфуючого елемента 2, та обумовлюють зменшення внутрішнього об'єму камер 4 і перекриття отворів в зоні максимального контактного навантаження деталей, що призводить до витискування робочої рідини із камери 4 до п'ятен контакту деталей зі сторони внутрішньої порожнини гідромашини, частково розвантажуючи плунжер і додатково змащуючи пари тертя. В зоні контакту плунжера з втулкою зі



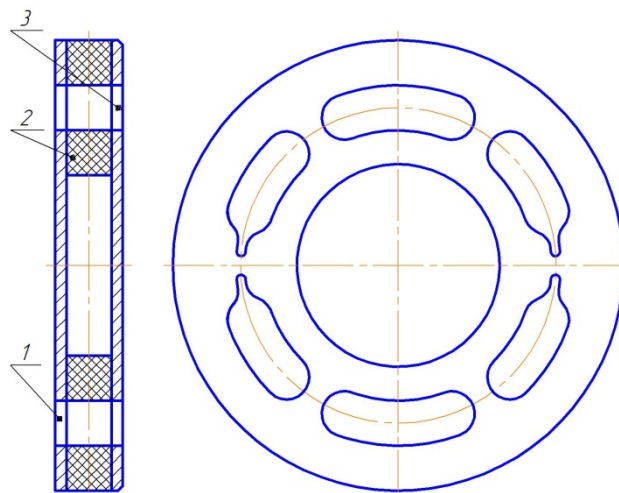
сторони робочої камери контактні навантаження частково поглинаються за рахунок демпферної властивості пружньо-демпфуючого елемента 2, а площа сухого тертя робочих поверхонь деталей зменшується, за рахунок додаткового змащення пар тертя робочою рідиною, що забезпечує збільшення довговічності і загального ККД гідромашини в результаті розвантаження плунжера і зменшення об'ємних і механічних втрат.

Характерними зношеннями для деталей спряження «розподільник - приставне дно» являються: ерозійне, гідроабразивне, схоплювання та інші.

Поява даних видів зношення обумовлюється порушенням роботи деталей спряження розподілення потоків робочої рідини, яке з'являється при невірній роботі гідромашини (різкий розгін, різке гальмування, вібраційні навантаження та ін.) і приводить до короточасного відхилення робочих поверхонь деталей від паралельного розташування та розкриття стику між деталями, що сприяє потраплянню абразивних частин до робочих поверхонь деталей. Наявність дрібних абразивних частин формує ерозійне зношення, а крупних – гідроабразивне.

Водночас збільшуються питомі навантаження з появою зон сухого тертя (металевий контакт деталей), що може обумовити схоплювання деталей. Зміна структурних параметрів деталей даного спряження в більшій мірі приводить до значних об'ємних втрат, які зменшують об'ємний коефіцієнт корисної дії гідромашини.

Запобігання умов, коли виникають порушення роботи деталей спряження розподілення потоку робочої рідини, може сприяти зміна конструкції розподільника даного з'єднання і застосування його як ремонтної деталі. Запропонована конструкція розподільника наводиться на (рис. 3).



**Рис. 3 – Конструкція розподільника, як ремонтна деталь:**

*1 – переднє кільце; 2 - пружньо-демпфуючий елемент; 3 - заднє кільце*

*Авторська розробка*

Розподільник включає в себе два кільця, переднє 1 і заднє 3, робочі поверхні яких за геометричною формою, фізико-механічними властивостями та



класом чистоти поверхні відповідають технічним вимогам на виготовлення розподільника, і які з'єднуються між собою пружньо-демпфуючим елементом 2.

Запропонована конструкція розподільника, в якості ремонтної деталі, працює наступним чином. При запуску гідромашини деталі спряження «розподільник - приставне дно» сприймають вібраційні навантаження, які з'являються в результаті розподілення потоку робочої рідини із зони високого тиску до зони низького, що приводить до не рівномірного контактного тиску між поверхнями деталей. Пружній елемент 2 розподільника, деформується і поглинає енергію коливань, що в більшій мірі забезпечує паралельне розміщення робочих поверхонь деталей і збільшує довговічність деталей спряження, а значить і надійність гідротрансмісії в цілому.

### **Висновки.**

Проведені дослідження, направлені на конструктивне удосконалення деталей спряжень качаючих вузлів аксіально-поршневих агрегатів гідравлічної трансмісії, і використання їх як ремонтних деталей для забезпечення якісного ремонту.

Запропонована конструкція опори люльки аксіально-плунжерного гідронасоса з гідростатичним підшипником і пружньо-демпфуючим елементом дає можливість зменшувати вібраційні і поглинати пікові ударні навантаження, що покращує роботу п'яти плунжера і збільшує ресурс роботи спряження «віброопора люльки - п'ята плунжера» для відремонтованого агрегату.

Установка втулки блока з пружньо-демпфуючим елементом та розвантажувальними камерами, зменшує контактні навантаження та їх тривалість між втулкою і плунжером, коли деталі знаходяться в зоні дії максимальних тангенціальних сил, які обумовлюють перекіс плунжера та зростання сил тертя, що зменшує зношення деталей і забезпечує збільшення їх довговічності в умовах експлуатації.

Реалізація розподільника з пружньо-демпфуючим елементом в спряженні «розподільник - приставне дно» запобігає зменшенню розкриття стику між поверхнями деталей при невірноваженій роботі гідромашини, що переносить формування ерозійного та гідроабразивного зношення на більш пізній термін напрацювання гідроагрегатів і тим самим збільшує ресурс спряження і агрегатів трансмісії в цілому.

### **Література.**

1. Дмитрів В. Т. Об'ємні гідроприводи. Будова й особливості функціонування. Навчальний посібник. [Текст] / В. Т. Дмитрів, З. З. Вантух, І. В. Дмитрів – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 184 с.
2. Насосы аксиальнопоршневые НП33, НП52, НП71, НП90, НП112 и их исполнения. Паспорт. – Кировоград: Частное акционерное общество «Гидросила АПМ», 2009. – 23 с.
3. Гидромоторы аксиальнопоршневые МП33, МП52, МП71, МП90, МП112 и их исполнения. Паспорт. – Кировоград: Частное акционерное общество «Гидросила АПМ», 2009. – 17 с.



4. Черейский П. М. Параметры технического состояния плунжерной пары гидропривода / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – № 2. – С.46-49.

5. Черейский П. М. Влияние износа на работу гидропривода трансмиссии / П. М. Черейский, П. Т. Мельянцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – № 3. – С. 63–64.

6. Орлов Ю.М. Некоторые вопросы проектирования аксиально-плунжерных гидромашин с наклонной шайбой, форсированных по давлению // Вестник ЮУрГУ. – 2005. – № 1. – С. 114-119.

7. Буря О. І. Підвищення технічного рівня гідрооб'ємної трансмісії шляхом удосконалення конструкції та використання композитних матеріалів / О. І. Буря, Ю. В. Армашов, А. С. Бедін // Композитные материалы – Днепропетровск: ДДАУ, 2009. – Т3. - С.53-59.

8. Евдокимов, В. Д. Улучшение рабочих характеристик прецизионной пары «поршень-штулка» путем использования подвижных вставок [Текст] : зб. наук. пр. / В. Д. Евдокимов // Вісник ОНМУ. – 1998. – Вип. 2. – С. 3–6.

9. Мельянцов П. Т. Опыт ремонта гидроприводов ГСТ-90 на ремонтных предприятиях. Обзорная информация [Текст] / П. Т. Мельянцов, Б. Г. Харченко, И. Г. Голубев – М.: АгроНИИЭИТО, 1989. – 41 с.

***Abstract.** Increasing the durability of volumetric axial-piston hydraulic machines after their repair is largely determined by the technical level of technological processes and the quality of restoration of parts. The purpose of the work was to ensure the inter-repair resource of axial-piston hydraulic machines in the process of their repair by constructive improvement of details that primarily limit the resource of volumetric hydraulic transmissions of mobile machines in operating conditions. The goal is achieved by carrying out structural improvements of coupling parts of rocking units of axial-piston units of hydraulic transmission, and using them as repair parts to ensure high-quality repair. The proposed designs of the cradle support, block bushing and hydraulic distributor, as repair parts, make it possible to absorb vibration loads and reduce contact loads during the operation of hydraulic machines, which reduces the wear of parts and ensures an increase in their durability in operating conditions. The use of repair parts significantly increases the technical level of the technological processes of repair service enterprises and expands the methods of restoration of fit in couplings during the repair of axial-piston hydraulic machines.*

***Key words:** hydraulic transmission, axial-piston hydraulic machine, technological process of repair, dynamic loads, construction of parts, repair parts, durability, service enterprises.*

Стаття відправлена: 20.04.2024 р.

© Мельянцов П. Т.



UDC 621.316.825

## SOME WAYS OF MEASURING TEMPERATURE AND MODERN SENSORS

Gorbachuk M.T.

PhD, c.p.m.s, as. prof.

ORCID: 0000-0001-6059-2464

SPIN: 2993-8149

Khlebnikova V.O.

student

Kyiv National University of Technologies and Design (KNUTD)

Nemyrovycha-Danchenka Street, 2, Kyiv, 01011

**Abstract.** Several methods of measuring temperature and sensors for these purposes are considered. The main characteristics and designs of the technical means used are given. The main attention is paid to semiconductor temperature sensors based on the thermistor effect. The results of a study of thermistors based on dispersed germanium in the range from room to cryogenic temperatures are presented.

**Keywords:** sensors, temperature, thermistors, semiconductors, measurements.

**1. Introduction** There are various methods, techniques and technical means of measuring temperature. Any properties of solid, liquid, gaseous substances that depend on temperature can be used to create a temperature sensor. For example, physical and chemical states, dimensions, electrical characteristics, etc. At the same time, sensors that utilize quite a small number of electrophysical properties of materials and measurement methods have found wide practical application. In [1-4] many methods and techniques of temperature measurement, designs and characteristics of various sensors are considered.

## 2. Main text

**a. Thermodiodes and thermotransistors.** Thermodiodes and thermotransistors are used in temperature sensors operating in the range from -80 to +150 °C. The upper limit of the temperature range is limited by thermal breakdown of the p-n junction and for some types of germanium sensors reaches 200 °C, and for silicon sensors up to 500 °C. The lower boundary of the temperature range of thermodiodes and thermotransistors is determined by the decrease in the concentration of the main carriers and can reach for germanium sensors -(240 - 260) °C, for silicon sensors -200 °C.

The main advantages of thermodiodes and thermotransistors are small dimensions, interchangeability and, most importantly, cheapness, allowing their use in sensors of single use.

**b. Thermoelectric transducers (thermocouples).** The principle of operation of a thermocouple is based on the thermoelectric effect [3], which consists in the fact that in a closed circuit consisting of two dissimilar conductors, a thermoelectric EMF (voltage) arises if the junction points of the conductors have different temperatures. If we take a closed circuit consisting of dissimilar conductors (thermoelectrodes), then on their junctions there will appear thermal EMF  $\varepsilon(t)$  and  $\varepsilon(t_0)$ , which depend on the temperatures of these junctions  $t$  and  $t_0$ . Since the considered thermoelectrodes are included in a countermeasure, the resulting thermoelectric EMF acting in the circuit



will be defined as  $\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)$ .

In the case of equal temperature of both junctions the resulting thermoEMF will be equal to zero. In practice, one of the junction of the thermocouple is immersed in a thermostat (usually melting ice) and the temperature difference and temperature of the other junction are determined relative to it. The junction that is immersed in the controlled (investigated) medium is called the working end of the thermocouple, and the second junction (in the thermostat) is called the free end.

Thermocouples can be used to measure temperatures in the range from -270 to 2200 °C. To measure temperatures up to 1100 °C, thermocouples made of base metals are used, to measure temperatures between 1100 and 1600 °C, thermocouples made of noble metals and platinum group alloys are used. To measure even higher temperatures, thermocouples made of heat-resistant tungsten-based alloys are used.

Currently, platinum, platinum-rhodium, chromel, and alumel are most commonly used for thermocouples.

**c. Thermometers based on the thermoresistive effect.** The electrical resistance of most substances changes significantly with temperature. This dependence is used to create thermometers - thermoresistors [1, 4-7]. A thermistor is a device consisting of a current conductor whose electrical resistance depends on temperature and to which electrical leads are connected.

The temperature dependence of the electrical resistance of metals is due to the dependence of the mobility of current carriers (electrons), in semiconductors the main role is played by the temperature dependence of the concentration of current carriers.

The measuring range of thermometers is limited mainly by high temperatures, which affect the linearity of the sensor characteristic, as well as the mechanical properties of the material of the sensor sensing element and housing.

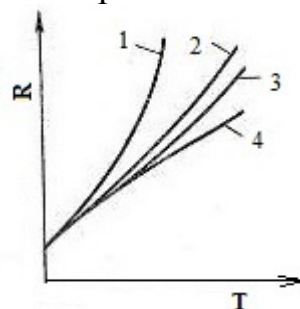
The temperature dependence of the resistance of metals can be expressed:

$$R = R_0(1 + \gamma t) \quad (1),$$

where  $R_0$  - resistance at 0 °C,  $\gamma$  - temperature coefficient of resistance,  $t$  - temperature in °C.

As materials for the sensitive element of the thermistor thermometer thermistor are used: platinum, nickel, copper, etc. Metal-based thermometer sensing elements are very thin wires wound on a frame or film deposited on an insulating substrate.

Typical dependences of resistance of some metals on temperature are shown in Figure 1. They indicate the possibility of obtaining a high degree of linearity of the relationship between resistance and temperature.



**Figure 1. Characteristic dependences of resistance  $R$  of some metals on temperature  $T$ : 1 - nickel, 2 - tungsten, 3 - copper, 4 – platinum.**

Source: built by the author based on [1].

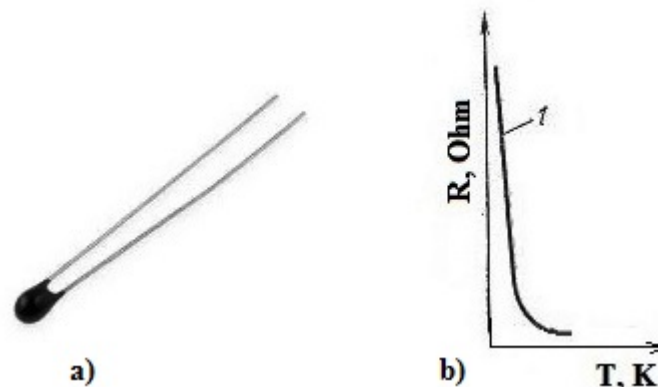


**d. Semiconductor resistance thermometers** are temperature sensors (thermistors) that utilize the temperature dependence of the electrical resistance of a semiconductor [4-9]. This dependence can be expressed as:

$$R = R_0 \cdot e^{B/T} \quad (2),$$

where  $R_0$  is the resistance at temperature  $T$  tending to infinity,  $B$  is the coefficient determining the sensitivity to temperature.

The exponential dependence shows a strong nonlinearity of the characteristic of such a thermometer and this is one of the main disadvantages of such a sensor. On the other hand such thermometers are the most sensitive to temperature change. At liquid helium temperatures their sensitivity can reach 100-200 %/K. In addition, the high resistance (up to 1 megohm) allows neglecting interference at the connection points of the wires of the electrical circuit. Semiconductors such as silicon, germanium, gallium arsenide, etc., as well as metal oxides [4] are used for manufacturing such thermometers.



**Figure 2. a) - sample of semiconductor miniature thermistor, b) - temperature dependence of resistance of a typical thermistor.**

*Source: built by the author.*

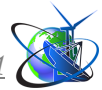
Semiconductor thermometers can be of many different types. With the help of microelectronics technology, the sensing element of the thermistor can be made micro-miniature. Figure 2.a shows one of the designs of semiconductor thermometers.

The total size of thermistors can be less than 1 mm<sup>3</sup>, electrical resistance from several Ohm to 100 kOhm, supply currents, as a rule, 10 - 100  $\mu$ A, sensitivity from 3 %/K in the area of room temperature to 100 %/K in the area of cryogenic temperatures, inertia can reach several tens of milliseconds and less.

In a wide temperature range, the temperature dependence of semiconductor resistance  $R(T)$  has a complex character and depends on the type of doping impurity and doping level. Therefore, it is impossible to express the dependence of  $R(T)$  by a simple formula that would allow to perform calibration with high accuracy. As a rule, the whole temperature range is divided into separate sections, where the dependence of  $R(T)$  is described by its own interpolation formula.

A group of semiconductor temperature-sensitive transducers used in thermometric devices are often referred to as thermistors. They have a non-linear characteristic but can be effectively used in systems for temperature measurement.

A typical characteristic of a thermistor is shown in Figure 2.b. Their temperature



coefficient of resistance is significantly greater than that of metals. The resistance decreases with increasing temperature, i.e. their temperature coefficient of resistance is negative.

Thermistors are significantly smaller in size than metal resistive transducers and therefore respond more quickly to temperature changes. On the other hand, the small size of thermistors results in a small current required for self-heating. Therefore, it can be assumed that the current affects the accuracy of the measurement.

**e. Low-temperature (cryogenic) resistance thermometers - thermistors. Temperature measurement in the cryogenic region.** To measure temperature in the cryogenic region, semiconductor and metal sensors - resistance thermometers (thermistors), as well as thermocouples with suitable characteristics are used.

Among the known metallic resistance thermometers we can mention platinum thermistors, which are characterized by high metrological characteristics. However, for example, a magnetic field of  $B=2$  Tesla at a temperature of 12 K causes a resistance rise equivalent to 5 K. It is considered possible to take into account the influence of the magnetic field only at temperatures above liquid nitrogen temperatures (77 K).

Rhodium-iron thermistors are less sensitive to magnetic fields. At a temperature of 4.2 K, a 3 Tesla field leads to a 3% increase in resistance (equivalent to about 0.5 K)

Among semiconductor thermistors, germanium thermistors are the most widely used [2,3,6-8]. They have good long-term stability, high sensitivity ( $\cong 100$  %/K at 4.2 K) and can provide accuracy of about 0.01 K. The germanium resistance thermometers are made of bulk germanium, dispersed germanium, germanium films on insulating substrates. There are known germanium thermistors, which due to low magnetoresistance value and in magnetic fields up to 6 Tesla provide accuracy at the level of 0,01 K.

In addition to germanium, other semiconductor materials, such as gallium arsenide, are also used for cryogenic thermistors. However, it is considered that metrological characteristics of such thermometers, as a rule, are worse than those of germanium thermometers.

There are also carbon sensors, resistance thermometers, which are often used in measuring temperatures in the cryogenic region in the presence of magnetic fields.

**f. Cryogenic thermistors based on dispersed germanium.** Pure germanium is not used in thermometry because at low temperatures it has a very high resistance, low sensitivity. Often measurements must be carried out under conditions of various external influences (presence of magnetic fields, etc.), which, affecting the resistance of pure germanium, can lead to significant errors. Currently, to obtain suitable electrophysical properties of bulk germanium, various rather expensive and labor-intensive doping methods are used. They also use germanium in film form. In some works cryogenic thermistors based on germanium films on semi-insulating gallium arsenide have been investigated. At 4.2 K they can have a sensitivity of about 20%/K, some are resistant to neutron irradiation at 77 K to doses of the order of  $10^{15}$  cm<sup>-2</sup>.

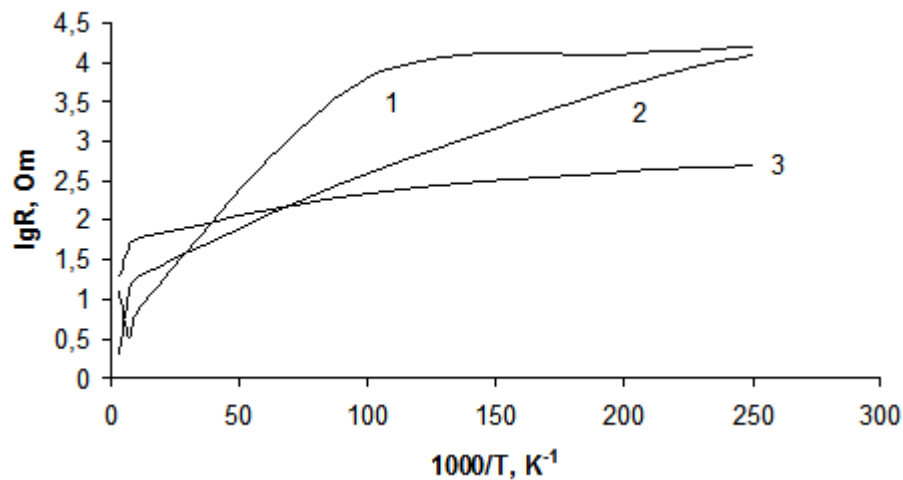
We have studied experimental samples of thermistors [5,7-9 ] based on bulk dispersed germanium obtained by mechanical pressing at different temperatures and





pressures of finely dispersed powder of monocrystalline germanium. The aim of the study was to create thermistors for the temperature range of 4.2-300 K resistant to extraneous external influences. The temperature dependence of electrical resistance in the above temperature range, magnetoresistance at  $T=4.2$  K and the effect of neutron irradiation on electrical resistance at room temperatures were studied [9].

Dispersed germanium was obtained from powder of monocrystalline germanium of  $n$ -type conductivity with a resistivity of 15 Ohm.cm,. Samples were produced by exposure to high pressures and temperatures. It was found that the pressure and temperature at which the powder was pressed determine the electrophysical properties of the obtained dispersed germanium. For creation of thermoresistors for cryogenic temperatures the most suitable samples were used. The obtained dispersed germanium had  $p$ -type conductivity, specific resistance at room temperature  $\rho = (1-4)$  Ohm.cm. It can be assumed that the acceptor levels are due to the peculiarities of the crystal structure of the obtained material. The peculiarities of the structure of dispersed (powder) germanium can also explain the increased radiation resistance of such material.



**Figure 3. Temperature dependence of electrical resistance:**

*1 - bulk initial monocrystalline germanium, 2 - thermistor based on dispersed germanium type A, 3 - thermistor based on dispersed germanium type B. Types A and B differ in temperature and pressure value when obtaining dispersed germanium - pressure 6 GPa and temperature 700 °C (type A) and 500 °C (type B).*

*Source: built by the author.*

The results of measurements of temperature dependence of electrical resistance are presented in Figure 3. It shows the temperature dependence of resistance of single-crystal bulk germanium of  $n$ -type conductivity (curve 1) and experimental thermistors from dispersed germanium (curves 2,3).

The temperature dependence of the electrical resistance of thermistors made of dispersed (powder) germanium type A (curve 2) at low temperatures is steeper than the dependence of monocrystalline original germanium and in the whole temperature range has a more monotonic character. The smooth character of the temperature dependence of the electrical resistance allows to approximate it with mathematical formulas quite simply and with good accuracy. For a sample of type A, for example,



even for the temperature range 77-300 K using a polynomial of the form

$$\ln R = \sum_{i=0}^n A_i (\ln T) \quad (3),$$

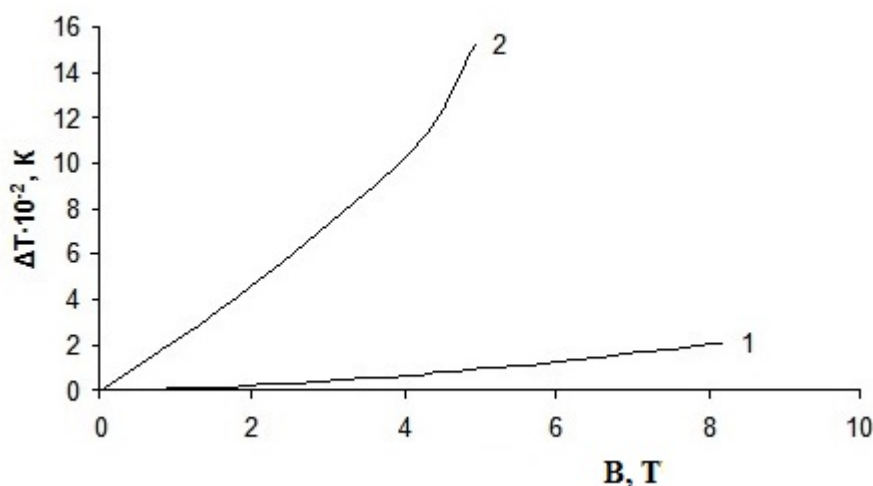
where  $A_i$  - constant coefficients determined by the least squares method,  $n$  - determined from the condition of the smallest approximation error) already for  $n=3$  we obtain the dependence

$$\ln R = 15.1077031 + 1.6552736 \cdot \ln T - 1.7901811 \cdot (\ln T)^2 + 0.193233 \cdot (\ln T)^3$$

with correlation coefficient  $r^2 = 0.9995$  and an error of about 0.1 K in the 77K region.

The sensitivity of type A thermistors in the liquid helium temperature region (4.2 K) reaches values of more than 100 %/K. Sensitivity of thermistors made of type B material is about 20 %/K and at 4.2 K they have electrical resistance as a rule not exceeding 500 Ohm.

Figure 4 shows the dependence of the error  $\Delta T$  of temperature measurement in the liquid helium region in the presence of magnetic fields on the magnitude of the magnetic field. The error of thermistors made of A-type material (curve 1) in the 8 Tesla field is approximately 0.02 K, and that of B-type thermistors in the 4 Tesla field reaches 0.15 K.



**Figure 4. Dependence of the temperature measurement error  $\Delta T$  in the region of 4.2 K on the magnetic field  $B$  for thermistors of type A (curve 1) and type B (curve 2).**

Source: built by the author.

## Conclusions

Some of the known methods and means of temperature measurement are considered. The main characteristics of applied sensors and measurement techniques are given. Advantages and disadvantages of certain methods of temperature measurement are analyzed. Special attention is paid to the possibilities of temperature measurement by semiconductor thermistors in a wide temperature range. High sensitivity of the developed thermistors based on dispersed germanium, their suitability for temperature measurement in the cryogenic range, high accuracy in the presence of magnetic fields are shown.



## References:

1. P. Profos. *Spravochnik «Izmereniya v promyshlennosti»* [Directory “Measurements in Industry”] 1-3 volumes. M.: *Metallurgiya*, 1990.
2. Orlova M.P., Pogorelova O.F., Ulybin S.A. *Nizkotemperaturnaya termometriya* [Low temperature thermometry]. M.: *Energoatomizdat*, 1987.-280 p.
3. Nikolay Gorbachuk. *Measuring Transducers and Sensors*. LAP LAMBERT Academic Publishing. 120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom, 2024, 141p. ISBN: 978-620-7-47057-0.
4. S.A.Mulenko, N.T.Gobachuk. Synthesis of nanometric iron oxide films by RPLD and LCVD for thermo-photo sensors. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, v.105, #3, p.517-523, 2011.
5. N.Gorbachuk, M.Larionov, A.Firsov, N.Shatil *Semiconductor Sensors for a Wide Temperature Range*. *Sensors & Transducers Journal and Magazine*, Vol. 162, Issue 1, January 2014, pp.1-4.
6. N.S. Boltovets, V.K. Dugaev, V.V. Kholechuk et al., *New Generation of Resistance Thermometers Based on Ge Films on GaAs Substrates*, *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry 7*, 399-404 (2003).
7. Gorbachuk N.T., Shybyryn V. S. “SEMICONDUCTOR TEMPERATURE SENSORS - THERMORESISTORS”, *Modern engineering and innovative technologies*, Germany, issue No16. April, 2021.
8. Belyakov V.A., Gorbachuk N.T., Didenko P.I., Filatov O.G., Sychevskiy S.E., Firsov A.A. etc. *Poluprovodnikovye izmeritel'ne preobrazovateli deformatsii, temperatury i magnitnogo polya dlya primeneniya v usloviyakh radiatsionnogo vozdeystviya, shirokom diapazone temperatur i magnitnykh poley* [Semiconductor measuring transducers of deformation, temperature and magnetic field for use in conditions of radiation exposure, a wide range of temperatures and magnetic fields]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki», Seriya: Elektrofizicheskaya apparatura*, v.3(29), 2005, p.46-54.
9. Gorbachuk N.T., Didenko P.I. *Vliyanie neytronnogo oblucheniya na kharakteristiki poluprovodnikovyykh izmeritel'nykh preobrazovateley temperatury, deformatsii, magnitnogo polya* [The influence of neutron irradiation on the characteristics of semiconductor measuring transducers of temperature, strain, and magnetic field]. *Poverkhnost'*, 2005, 4, pp.57-58.



UDC 004.7

## SOLVING THE PROBLEM OF CHANNEL VOLUME'S DISTRIBUTION IN 3-TIER NETWORK TAKING INTO ACCOUNT FUZZY CONSTRAINTS ON CONSUMPTION VOLUMES

**Gavrylenko V.V.***d.f.-m.s., prof.*

ORCID: 0000-0001-9682-4204

*National Transport University, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka, 1, 01010***Ivohina K.E.***PhD student*

ORCID: 0000-0001-9940-1178

*National Transport University, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka, 1, 01010***Makhno M.F.***c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0001-9694-6602

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Volodymyrska 60, 01601*

**Abstract.** The article proposes a method for solving the problem of rational distribution of the power of data transmission channels, taking into account fuzzy restrictions on consumption volumes. A feature of such tasks is the inability to meet the needs of the end user at the expense of the resources of different suppliers. Methods for solving the problem with fuzzy restrictions on the consumption volumes of end users are investigated. A fuzzy optimization problem is formulated, which allows taking into account the interval specified volumes for the connection values. A variant of solving fuzzy optimization problems in the case of using fuzzy numbers is proposed. A multi-criteria problem of efficient distribution of communication channel powers with fuzzy restrictions is formulated. A variant of the algorithm with a return is proposed, which allows solving the obtained problem. The approach is illustrated by a number of numerical examples for the problem of forming a network structure with a given number of end users and different allowable bandwidths of communication servers.

**Key words:** data transfer, volume distribution, fuzzy constraints, optimal solution, backtracking algorithm

### Introduction.

The tasks of finding optimal solutions arise in the process of development and practical implementation of methods for effective management of various organizational, technological and information systems.

An important characteristic of optimization problems is the desire to find the optimal solution (optimality principle). In practice there are a number of constraints that do not allow finding such a solution. In these cases, the question is raised of finding not optimal, but rational (compromise, effective) solutions that satisfy the problem statement. It is often necessary to find a compromise between the effectiveness of solutions and the cost of finding them. Serious difficulties arise when solving optimization problems under conditions of incomplete information, as well as in the case when random or subjective factors (parameters) play a significant role.

One of the applied problems in which there can be uncertainty in setting the parameters is the problem of distributing the limited capacities of data transmission channels between different nodes of the Internet providers network. Suppose that there is a local computer network of an enterprise (organization, educational



institution) that provides users with access to the Internet. User access to the global network and obtaining the necessary information is carried out using several communication servers located on the territory of the information and computer center of the enterprise and connected by high-speed external communication channels with Internet providers. The bandwidth levels of the servers are within the bandwidth (bandwidth) of the local network (for example, 1 Gb per second).

The solution of the formulated problem was considered in [1-7] on the basis of solving problems of optimal resource allocation. The problems of efficient use of a homogeneous resource were considered using the example of time distribution in the form of a classical problem of distributing resources of a given volume over a set of categories (works) [4]. The setting of such tasks consists in finding a cost plan for the available resource (such a resource is most often considered time) for the execution of a group of tasks, in which the total (final) use of the resource is optimal.

**Problem statement**

An information and computer network is considered, including  $N_1$  data transmission channels (global network providers),  $N_2$  communication servers and  $N_3$  end users (subscribers). We denote by  $A_i^+$ ,  $i = \overline{1, N_1}$ , the values of the maximum bandwidth of the data transmission channel that provider  $i$ ,  $i = \overline{1, N_1}$ , is able to provide;  $B_j^+$ ,  $j = \overline{1, N_2}$ , – the value of the maximum bandwidth of the data transmission channel that the communication node  $j$ ,  $j = \overline{1, N_2}$ , can provide; ;  $C_k^-, C_k^+$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ , – values of the minimum and maximum bandwidth of the data transmission channel, which must be provided to the subscriber  $k$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ ;  $t_k$  – throughput of the  $k$ -th subscriber station,  $k = \overline{1, N_3}$ . Then, assuming that the power distribution of communication channels satisfies the conditions of additivity and proportionality, we can consider the problem of distributing a limited homogeneous resource (bandwidth of communication channels) with transport-type constraints in order to find the optimal data transmission plan. This ensures the effective functioning of the system for providing users with Internet access, which consists in finding the optimal values of data transmission bandwidths  $T_i$  of the  $i$ -th information provider (provider),  $i = \overline{1, N_1}$ , and the optimal values of the bandwidths  $t_k$  of using local communication channels of the  $k$ -th user,  $k = \overline{1, N_3}$ .

Formally, the statement of problem can be written as

$$\max t_1; \max t_2; \dots \max t_{N_3}, \tag{1}$$

with the following constraints

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{N_3} t_k &\leq \sum_{i=1}^{N_1} A_i^+; \\ t_k &\leq B_j^+, \quad j = \overline{1, N_2}, \quad k = \overline{1, N_3}; \\ C_k^- &\leq t_k \leq C_k^+, \quad k = \overline{1, N_3}; \\ \sum_{j=1}^{N_2} B_j^+ &\leq \sum_{i=1}^{N_1} A_i^+ \leq \sum_{k=1}^{N_3} C_k^+. \end{aligned} \tag{2}$$



Let's assume that the needs of network subscribers to increase the speed of obtaining one or another amount of information are known. The wishes (preferences) of subscribers are set regarding a possible increase in consumption volumes (bandwidths) for transmitting information from the provider to the user node. To implement the changes, it is necessary to update the capacities of the switching servers of the network by deploying new, more powerful computers or by increasing the number of existing servers. In other words, it is necessary to conduct a study on updating the resources of the server park of the information and computing center, which makes it possible to increase the total bandwidth of a group of switching servers. At the same time, the value of the total capacity of servers, both in the case of an increase in the capacity of the existing fleet of computers, and in the case of an increase in the number of servers, is assumed to be the same.

If the values of consumption parameters are random variables with known distribution functions, then it can be solved by stochastic programming methods. However, in practice these parameters are often unknown and only the range of possible values can be determined for them. A problem of this type can be called a problem with multiple values of the coefficients.

The next step on the way of detailing and refining the model considered here is the description of the problem parameters in the form of fuzzy sets (numbers) [8]. Additional information is introduced into the model in the form of a membership function of these fuzzy sets. These functions can be considered as a way for an expert to approximate his unformalized idea of the real value of a given parameter.

Fuzzy sets are a mathematical model of object classes with fuzzy or blurry boundaries. In other words, an element can have some degree of membership in the set, and it is intermediate between full membership and complete non-membership.

Let us assume that in the formulation of the problem of distributing the power of data transmission channels, the current values of the throughput of communication channels of each subscriber  $k$ ,  $C_k, k = \overline{1, N_3}$ , are known, and the values of  $C_k^+, k = \overline{1, N_3}$  determine the values of the bandwidths that are planned by users as a result of updating communication equipment. Obviously, it is possible to fully satisfy the expansion of the bandwidth of subscriber channels only under the condition

$$\sum_{j=1}^{N_2} B_j^+ \geq \sum_{k=1}^{N_3} C_k^+ .$$

Formally, the statement of problem can be written in the form of optimization of criteria (1) with the following constraints

$$t_k \in \text{supp } \tilde{t}_k = [C_k, C_k^+], k = \overline{1, N_3}; \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{N_3} t_k \leq \sum_{i=1}^{N_1} A_i^+;$$

$$t_k \leq B_j^+, j = \overline{1, N_2}, k = \overline{1, N_3}; \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{N_2} B_j^+ \leq \sum_{i=1}^{N_1} A_i^+ \leq \sum_{k=1}^{N_3} C_k^+ .$$

We will assume that the capacities of communication channels available to users



satisfy the conditions  $\sum_{k=1}^{N_3} C_k \leq \sum_{k=1}^{N_3} t_k \leq \sum_{i=1}^{N_1} A_i^+$ , and the values of the possible expansion of the channel capacity are determined by right-hand fuzzy triangular numbers in the form  $(C_k, C_k, C_k^+)$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ , with linear membership functions [9].

This problem is a multiobjective fuzzy optimization problem [10]. To solve it, methods are used that allow finding a compromise (effective) solution by reducing the problem to a single-criterion one in the form of a convolution of criteria or to a sequence of single-criteria optimization problems [11]. In the case of fuzzy constraints, each such problem can be reduced to an optimization problem of the form of Bellman-Zadeh [12] with subsequent solution by the one of known method.

Taking into account the specifics of the obtained problem, the most rational method is the sequential introduction of constraints [11]. A characteristic feature of this method, which makes it possible to use it to find an effective solution, is the sequential (at each step) introduction of constraints on the width of the communication channel, at which unsatisfactory values of the criteria are achieved.

Following the search methodology, at each algorithm's step  $p = 1, 2, \dots$ , an "ideal assessment"  $t^{*(p)} = (t_1^{*(p)}, t_2^{*(p)}, \dots, t_{N_3}^{*(p)})$ ,  $p = 1, 2, \dots$ , is formed, where  $t_k^{*(p)}$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ , are the optimal values of each of the criteria (19)  $\max t_k$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ , on a given range of acceptable values  $G_p$ ,  $G_1 = \{t_k = C_k^+; k = \overline{1, N_3}\}$ ,  $G_{p+1} = \{t_k \in G_p; k = \overline{1, N_3} | t_s \geq \xi_s\}$ ,  $s \in \{1, 2, \dots, N_3\}$ , is the number of the criterion, the value of which is the least consistent with the compromise solution. It is clarified to what level  $\xi_s$  the value of this criterion should be changed, and a search for a new solution is performed, taking into account the additional constraint.

This method allows solving the problem of efficient distribution of channel capacities, taking into account fuzzy constraints on consumption volumes, however, to use it at each step, it is necessary to evaluate the compliance of the current solution with a certain "ideal" solution, which, as a rule, is formed with the participation of an expert. In addition, the solution procedure turns out to be cumbersome, leading to the multiple solution of optimization Bellman-Zadeh fuzzy tasks.

Additionally it is easy to formalize this process by applying the back tracking solution search procedure [13].

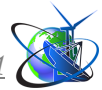
From the condition of the problem of optimizing the distribution of channel powers, taking into account fuzzy constraints on consumption volumes (3)-(4), it follows that

$$\sum_{k=1}^{N_3} C_k^+ \geq \sum_{j=1}^{N_2} B_j^+ \geq \sum_{k=1}^{N_3} C_k \quad (5)$$

Obviously, in this case, it is impossible to allocate the maximum expected power of communication channels to all subscribers. We will look for a solution on rational distribution based on the scheme of the back tracking algorithm.

**Algorithm.**

*Step 0.* Without loss of generality, we will assume that the order of users is ordered in non-increasing order of the planned capacities of communication channels.



We put the required values in the initial solution  $t_k = C_k^+$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ .

Step  $s=1,2,\dots$  We check the fulfillment of condition

$$\sum_{k=1}^{N_3} t_k \leq \sum_{j=1}^{N_2} B_j^+ . \quad (6)$$

If inequality (6) is satisfied, the algorithm terminates, otherwise:

- a) determine the  $q$ ,  $q \in [1, N_3]$ , largest (first of  $N_3$ ) values  $t_k$ ,  $k = \overline{1, N_3}$ .
- b) decrease the values  $t_k$ ,  $k = \overline{1, q}$ , by  $\Delta t > 0$ :  $t_k = t_k - \Delta t$ ,  $k = \overline{1, q}$ .

Obviously, the total demand in this case decreases.

Change  $s = s + 1$  and move on to the next step.

### Experiments

The algorithm proposed above for finding a solution in the problem of rational distribution of the power of communication channels, taking into account fuzzy constraints on consumption volumes (3)-(4), was used to calculate the values of throughput resources in a network with 1 Internet provider, 2 (3, 4) routers (communication servers) and 17 end users (collective subscribers).

The bandwidth of user connections to communication servers was initially 350, 250, 250, 245, 180, 180, 165, 165, 160, 145, 140, 140, 140, 120, 110, 80, 80 Mb/s (total capacity 2900 Mb/s). In order to expand consumer traffic, it is proposed to upgrade equipment in the form of a possible increase in the number of servers or/and increase their capacity. The bandwidth of the communication channel with the provider remains constant and equals 10 Gb/s. The total throughput capacity of communication servers after the upgrade is planned to be 3 Gb/s.

To determine the rational distribution of the size of communication channels, consumers were asked to determine the required size of connections to communication servers. Based on the given amount of traffic, it was planned to use 2, 3 or 4 servers with a total capacity of 3 Gb/s.

Computational experiments on the efficient distribution of the power of communication channels were carried out using the above algorithm for the classical solution of optimization problems with fuzzy constraints on consumption levels (fuzzy approach) and the algorithm using the backtracking approach. In the latter case, both a consistent uniform decrease in consumer requests by the value  $\Delta t > 0$  (*app1*) and a proportional decrease in the values of requests were applied, taking into account the required volumes of traffic increase (*app2*).

### Results

The results of the numerical experiments performed are shown in Table 1.

As follows from the results obtained, the application of the proposed algorithm made it possible to obtain the most efficient (close to optimal) solutions in the considered distribution problem for a configuration with two communication servers with a maximum bandwidth of 1500 Mb/s. The best solution to the problem using the method of efficient channel power distribution, taking into account fuzzy constraints, was obtained for the connection option with 3 routers. At the same time, it slightly differs from the solution with two servers, which suggests that the best option in the considered distribution problem is the variant with two communication servers. It should also be noted that the solution based on the algorithm using the return scheme





does not require significant computational resources, which allows us to speak about the constructiveness of the method.

**Table 1 – The results of numerical experiments on the efficient distribution of the power of communication channels**

| <i>Consumers</i>                                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| p1  | p2  | p3  | p4  | p5  | p6  | p7  | p8  | p9  | p10 | p11 | p12 | p13 | p14 | p15 | p16 | p17 | Sum  |
| <i>Init Power, M6/c (Max Sum Power=2900 M6/c)</i> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 350   | 250 | 250 | 245 | 180 | 180 | 165 | 165 | 160 | 145 | 140 | 140 | 140 | 120 | 110 | 80  | 80  | 2900 |
| <i>Plan Power, M6/c (Max Sum Power=3000 M6/c)</i> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 370   | 275 | 275 | 260 | 195 | 185 | 180 | 175 | 165 | 155 | 150 | 150 | 145 | 125 | 115 | 90  | 90  | 3100 |
| <i>Results for K communication servers, M6/c</i>  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| <i>Approach: app1</i>                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| <i>CommunicationPower × K=1500×2</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 363   | 268 | 268 | 253 | 188 | 183 | 173 | 168 | 158 | 148 | 143 | 143 | 138 | 118 | 108 | 85  | 90  | 2995 |
| <i>CommunicationPower × K=1000×3</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 359   | 264 | 264 | 249 | 184 | 179 | 169 | 164 | 154 | 144 | 139 | 139 | 134 | 114 | 105 | 83  | 90  | 2934 |
| <i>CommunicationPower × K=750×4</i>               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 357   | 262 | 262 | 247 | 182 | 177 | 167 | 162 | 152 | 142 | 137 | 137 | 132 | 112 | 107 | 89  | 90  | 2914 |
| <i>Approach: app2</i>                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| <i>CommunicationPower × K=1500×2</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 354   | 254 | 254 | 254 | 184 | 184 | 174 | 169 | 164 | 149 | 149 | 149 | 144 | 124 | 114 | 89  | 90  | 2999 |
| <i>CommunicationPower × K=1000×3</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 352   | 252 | 252 | 252 | 182 | 182 | 172 | 167 | 162 | 147 | 147 | 147 | 142 | 122 | 112 | 87  | 90  | 2967 |
| <i>CommunicationPower × K=750×4</i>               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 350   | 250 | 250 | 250 | 180 | 180 | 170 | 165 | 160 | 145 | 145 | 145 | 140 | 120 | 110 | 85  | 90  | 2935 |
| <i>Approach: fuzzy</i>                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| <i>CommunicationPower × K=1500×2</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 361   | 266 | 266 | 251 | 186 | 181 | 171 | 166 | 160 | 150 | 146 | 144 | 141 | 121 | 110 | 83  | 82  | 2985 |
| <i>CommunicationPower × K=1000×3</i>              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 362   | 267 | 267 | 252 | 187 | 182 | 173 | 167 | 160 | 150 | 147 | 142 | 140 | 120 | 110 | 82  | 81  | 2989 |
| <i>CommunicationPower × K=750×4</i>               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 355   | 260 | 260 | 245 | 180 | 175 | 165 | 160 | 150 | 150 | 145 | 140 | 135 | 118 | 108 | 79  | 75  | 2900 |

**Summary and conclusions.**

The problem of optimal power distribution of communication channels in information-computer networks with a three-level architecture is considered. Approaches for its solution are studied, the problem statement with fuzzy constraints on the consumption volumes of end users is considered. A fuzzy optimization problem is formulated, which allows taking into account the interval specified volumes for the connection values. A variant of solving fuzzy optimization problems in the case of using fuzzy numbers is proposed. A multi-objective problem of efficient power distribution of communication channels with fuzzy constraints is formulated. A variant of the algorithm with a return is proposed, which allows solving the obtained problem. The approach is illustrated by a number of numerical examples of a problem with a given number of end users and different allowable bandwidths of communication servers.

**References:**

1. Filgus D.I. (2018) Optimisation of the process of managing requests in distributed information systems // International Journal of Applied and Fundamental Research, iss.4, pp.34-42. DOI: 10.17513/mjpf.12179
2. Levner E. (2007) Multiprocessor Scheduling, Theory and Applications. – London: IntechOpen, 2007. [Online]. Available from: <https://www.intechopen.com/books/3596>. DOI: 10.5772/52
3. Pentico D.W. (2007) Assignment problems: A golden anniversary survey // European Journal of Operational Research, v. 176, pp.774–793. DOI: 10.1016/j.ejor.2005.09.014
4. Ivokhin E., Makhno M. (2017) On an approach to construction of structured fuzzy sets and their application for description of fuzzy time response // Journal of Automation and Information Science, 49(10), pp.55-63. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v49.i10.60
5. Spieksma F.C.R. (2000) Multi index assignment problems: complexity, approximation, applications / P.M. Pardalos, L.S. Pitsoulis (Eds.). Nonlinear Assignment Problems. Algorithms and Applications. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 1–11. DOI: 10.1007/978-1-4757-3155-2\_1
6. Crama Y., Spieksma F.C.R. (1992) Approximation algorithms for three-dimensional assignment problems with triangle inequalities // European Journal of Operational Research., v. 60, pp. 273–279. DOI: 10.1016/0377-2217(92)90078-N
7. Ehikioya S.A., Lu S. (2020) A Traffic Tracking Analysis Model for the Effective Management of E-commerce Transactions// Int J Netw. Distrib. Comput., 8, pp. 171–193. DOI: 10.2991/ijndc.k.200515.006
8. Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy sets// Information and Control, v.8, pp.338-353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
9. Bablu Jana, Tapan Kumar Roy. (2005) Multi-Objective Fuzzy Linear Programming and Its Application in Transportation Model// Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences, 21(2), pp.243-268.
10. Zimmermann H.J. (1978) Fuzzy programming and linear programming with several objective functions// Fuzzy Sets and System, no.1, pp.45-55. DOI: 10.1016/0165-0114(78)90031-3
11. Pavlov Yu.P., Andreev R.D. (2013) Decision Support Fundamentals / In Decision Control, Management, and Support in Adaptive and Complex Systems: Quantitative Models. - Hershey, PA: IGI Global, 44 p. DOI: 10.4018/978-1-4666-2967-7.ch001
12. Bellman, R.E., Zadeh, L. A. (1977) Local and fuzzy logics. // Modern Uses of Multiple-Valued Logics, edited by J. M. Dunn and G. Epstein, D. Reidel, Dordrecht-Holland, pp. 103-165. DOI: 10.1007/978-94-010-1161-7\_6
13. Watson Des. (2017) A Practical Approach to Compiler Constructio. – Springer, 254 p. DOI: 10.1007/978-3-319-52789-5

Article sent: 12.04.2023

© Gavrylenko V.V., Ivohina K.E., Makhno M.F.



## USE OF LIGHT CONCENTRATORS IN SEMICONDUCTOR SOLAR PANELS WITH A DIRECT SUN TRACKING SYSTEM ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕНТРАТОРІВ СВІТЛА В ПАНЕЛЯХ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ІЗ ТА СИСТЕМОЮ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ НАПРЯМУ СОНЦЯ

Melentiev O. B. / Мелентьев О. Б.

Melentiev Ya. O. / Мелентьев Я. О.

Uman State Pedagogical University named after Pavlo Tychyna

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

**Анотація.** В даній статті розглядається питання вирішення проблеми підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батареях, які використовуються в якості електрогенераторів.

На основі аналізу конструкторських розробок напівпровідникових сонячних батареях із використанням концентраторів світла, виявило, що найбільш ефективним є використання лінз Френеля.

В результаті конструкторських досліджень було запропоновано конструкцію напівпровідникової сонячної батареї, які використовують лінзу Френеля у якості концентратора світла і системою відслідковування напрямку сонця, що і обумовлює підвищення ККД напівпровідникових сонячних батареях, надаючи перспектив їх широкого застосування у сонячній енергетиці.

**Ключові слова:** сонячна батарея, концентратор світла, яка підвищує коефіцієнт корисної дії у

### Вступ

Проблема підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батареях в якості електрогенераторів виникла із початку їх використання. Одним із шляхів підвищення ККД напівпровідникових сонячних батареях є використання концентраторів світла.

Збільшити електричну потужність батареї дозволяє включення у фотоелектричні модулі сонячної батареї концентраторів випромінювання, тому що ККД сонячних елементів при використуванні концентрованого випромінювання росте. Застосування оптичних концентраторів дозволяє скоротити площу сонячних елементів пропорційно кратності концентрування і тим самим зменшити вартість сонячної батареї й збільшити термін служби батареї, тому що концентратори захищають сонячні елементи від впливу радіації.

Так відомий планарний світлопровід (патент РФ №2488149 МПК H02S10/00, H01L31/042 «Концентратор лучей для солнечной батареи с веерным расположением зеркальных отражающих электродов» / опубл. 20.07.2013 р. ), у якому падаюче світло після багаторазового відбиття усередині концентратора потрапляє на поверхню сонячної батареї [2].

Основним недоліком відомого світлопроводу є низька ефективність за рахунок того, що промінь, незалежно від числа відбиттів, тільки один раз досягають поверхні сонячної батареї, тобто концентратор дозволяє всім падаючим променям тільки один раз здійснювати перетворення в сонячній батареї.



Відомий також патент, що розглядає кульковий концентратор UA 1528540 МПК H02S 10/00, H01L 31/042. «Портативна напівпровідникова сонячна батарея із геліографічним кульковим концентратором для туристичних цілей»/ опубл. 19.04.2023., який також являється одним із варіантів концентраторів сонячної енергії [7].

Одним із ефективнішим видом концентратору світла є лінза Френеля, її перевагою є мала вага та габарити. Зазвичай така лінза плоска, квадратної або прямокутної форми, ще однією із переваг такого концентратора світла є простота технології (технологічність) та мала собівартість.

Найбільш перспективним видом оптичних концентраторів для космічних фотоелектричних модулів є лінійні лінзи Френеля малої маси. У цей час із розвитком технологій полімерних матеріалів збільшується застосування лінз Френеля з полімерним профілем.

Відомий спосіб виготовлення лінз Френеля й інших оптичних структур є спосіб затверджування компаунда засобами радіації, яким заповнюють проміжок між прозорою панеллю й негативною матрицею й потім піддають затвердінню за допомогою ультрафіолетового випромінювання (патент JP 2004258071, МПК G02B 3/00, «Способ изготовления линз френеля для концентраторного фотоэлектрического модуля»/, опубліковано 16.09.2004 р. [4].

#### **Аналіз поточних досліджень і публікацій**

На сучасному етапі розвитку технології вчені працюють над збільшенням базового ККД – рівнем незмінної ефективності. В результаті постійного удосконалення конструкції сонячної батареї цей показник постійно зростає за рахунок встановлення її на опорі, яка обертає сонячну батарею слідом за напрямом руху сонця. Відслідковування сонця панеллю ведеться одночасно як по горизонталі такі по вертикалі. За оцінками, установка одного поворотного трекера дає відразу приріст ефективності на 40-50%. Зараз існують нові високоефективні (43,5%) п'ятишарові панелі фірми Sharp, чотиришарові фірми Soy-Tech (44,7%) і пристрій розроблений в Інституті інтегральних схем Фраунхофера (Німеччина) у яких ефективність батареї досягає до 47% [1].

В огляді винаходів, ми будемо посилатися на наші дослідження, що відноситься до сонячної енергетики, зокрема, це стосується концентраторів для сонячних батарей. Відомий голографічний концентратор сонячної енергії: патент РФ №2403510, опубл. 02.03.1999 р., який являє собою концентратор для сонячної батареї виконаний у формі напівциліндра з віяловим розташуванням дзеркальних відбиваючих поверхонь і прозорих напівпровідникових сонячних батарей, причому концентратор і сонячна батарея є інтегрально єдиним обладнанням, недоліком якого є значні втрати світлової енергії [3].

Недоліками таких прототипів є складність у виробництві такого концентратора і сонячної батареї, як інтегрально-єдиного обладнання, велика собівартість, конструктивна складність та налаштування такого виробу. Тому постає проблема виготовлення концентраторів світла для фотоелектричних модулів.

Так в нашому дослідженні, що вилилось у патент UA 153265 МПК



(2023.01): A41D 13/012, A41D 31/10. опубл. 14.06.2023 р. розглядається спосіб виготовлення лінз Френеля для концентраторів фотоелектричних модулів способом термічного формування акрилового скла, що дозволяє виготовляти простим і технологічним способом концентратори фотоелектричних модулів із стабільно високою якістю, малими затратами часу та високим ступенем безвідходності [8].

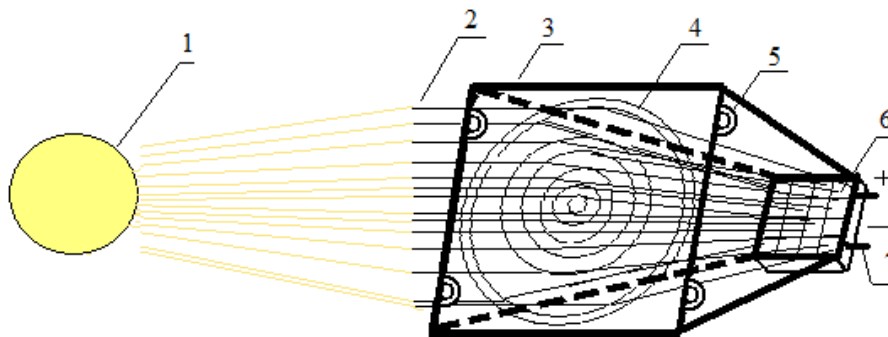
На основі способу термічного формування акрилового скла, що дозволяє виготовляти простим і технологічним способом концентратори до фотоелектричних модулів було розроблено напівпровідникову сонячну батарею із концентратором світла на основі лінз Френеля

Розглянемо прототипи концентраторів для сонячних батарей.

**Мета дослідження** полягає у розробці нової системи використання напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла на основі лінз Френеля з метою збільшення електричної потужності батареї за рахунок підвищення ККД кожного елемента батареї, та системи відслідковування напрямку джерела світла та орієнтації панелі напівпровідникової сонячної батареї.

Модель панелі напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напряму сонця розглянемо на прикладі окремої її секції.

Так в нашому патенті UA 154033 МПК (2023.01): H02S 10/00, H01L 31/042. «Секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла» / опубл. 04.10.2023. було розглянуто принцип роботи та конструкція такої секції [5].



**Рисунок 5. Секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла.**

Метою пропонованого винаходу було створення секції напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла у вигляді плоскої лінзи Френеля, виконаному у єдиному жорсткому корпусі із можливістю з'єднання багато секцій у єдину сонячну панель, для підвищення максимальної ефективності.

Це досягається тим, що секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла має (див. рис. 5.): металевий каркас 3, лінзу Френеля 4, монтажних проушин 5, секції сонячної батареї 6, електроди 7.

Секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла працює наступним чином: сонячна енергія від Сонця 1, падає на лінзу Френеля 4, яка збирає сонячні промені 2 на поверхні секції сонячної батареї 6, яка



вмонтована у металевий каркас 3 разом із лінзою Френеля 4.

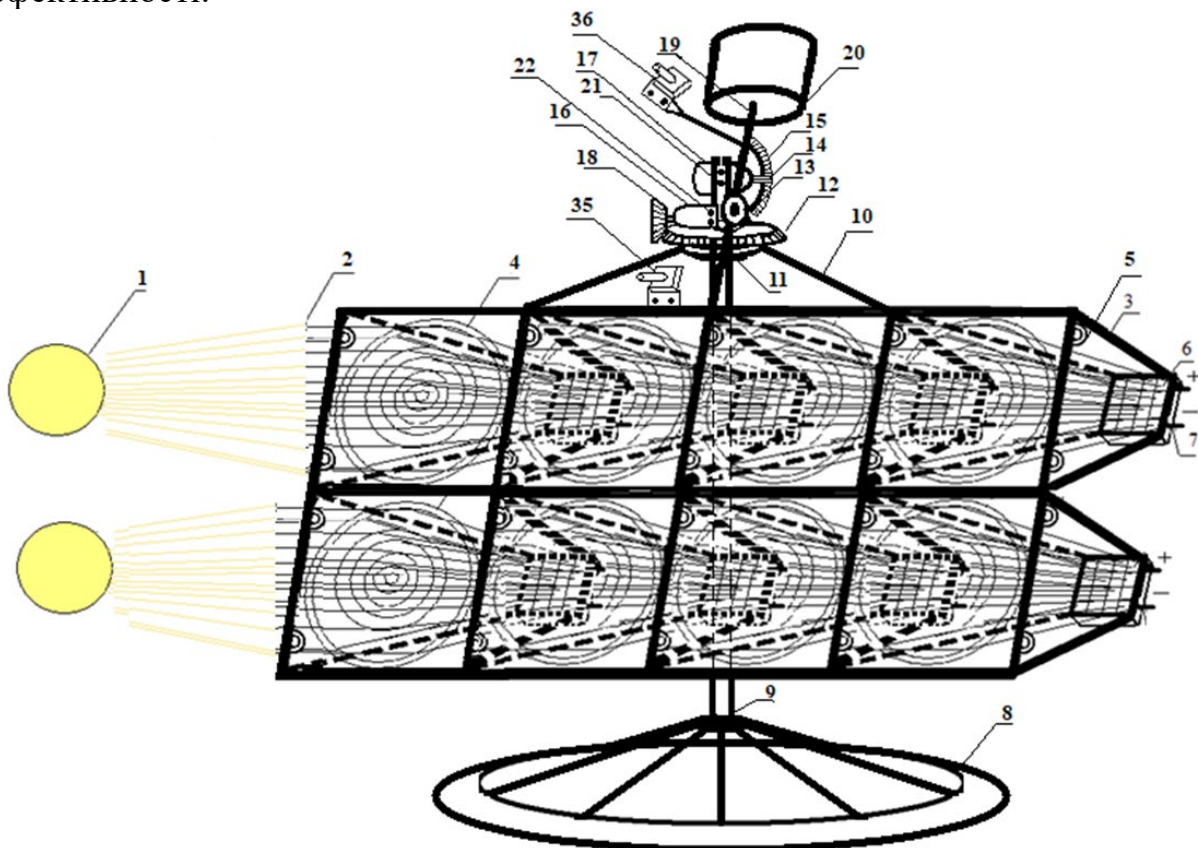
За рахунок високої концентрації сонячних променів 2 на поверхні секції сонячної батареї 6, виникає велика щільність фотонів, яка викликає підвищену емісію електронів та відповідно підвищений електрострум на електродах 7.

За рахунок монтажних проушин 5 на металевому каркасі 3, в який вмонтована лінза Френеля 4 та секція сонячної батареї 6, яка розташована у фокусі лінзи, є можливість монтувати велику кількість секцій сонячної батареї із концентратором світла у єдину панель великої площі, а послідовно-паралельне електроз'єднання електродів 7 дозволяє отримувати будь-які номінали напруги та потужності такої панелі.

Секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії кожного елемента сонячної батареї, підвищити ефективність сонячної енергетики, підвищувати напругу та потужність панелі.

На базі вищезгаданого нашого винаходу була запропонована удосконалена конструкція патент UA 153264 МПК: (2023.01), H02S 10/00, H01L 31/042. «Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напрямку сонця»/ 28.04.2022, опубл. 14.06.2023. [6]

Метою пропонованого винаходу є створення панелі напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця та захисним куполом, виконаному у єдиному жорсткому корпусі із можливістю з'єднання багатьох секцій у єдину сонячну панель, для підвищення її ефективності.

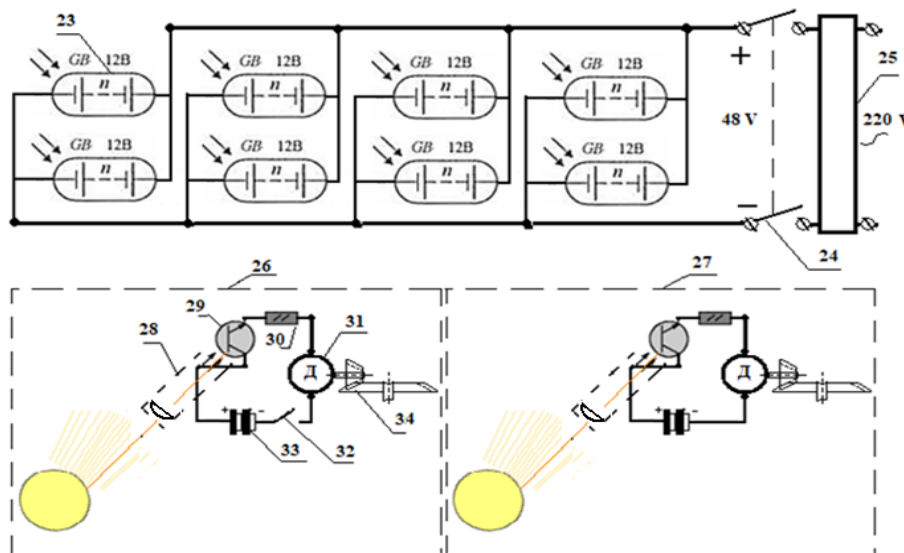


**Рисунок 6. Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напрямку сонця.**



Це досягається тим, що панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця та захисним куполом (див. рис. 6.) має: металевий каркас 3, лінзу Френеля 4, монтажні проушини 5, секції сонячної батареї 6, електроди 7. А механічна частина складається із опори панелі 8, стійки 9, підсилювача каркасу 10, підшипнику горизонтальної шестерні 11, шестерні горизонтального обертання каркасу 12, підшипнику вертикального обертання 13, зубчатого валу двигуна вертикального обертання 14, зубчатого сектора вертикального обертання 15, корпус покрового двигуна горизонтального обертання каркасу 16, корпус покрового двигуна вертикального обертання каркасу 17, зубчатого колеса горизонтального обертання каркасу 18, штанги противаги 19, противаги 20, кріплення двигуна вертикального обертання каркасу 21, кріплення двигуна горизонтального обертання каркасу 22.

Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця та захисним куполом працює наступним чином: сонячне світло 2 падає на набір металевих каркасів 3 із монтажними проушинами 5 в якій вмонтовані лінзи Френеля 4, що є концентраторами світла, разом із секціями напівпровідникових сонячних батарей 6, на електродах 7 виробляється підвищений постійний струм, а механічна частина яка керується електронними блоками вертикального та горизонтального обертання каркасу 26, 27, слідкують за рухом сонця. Вся конструкція захищена прозорим куполом 38, із герметичною застібкою-блискавкою входу у купол 39, проушинами кріплення куполу 37 до даху, та отвором подачі повітря 40 для підтримання форми купола.

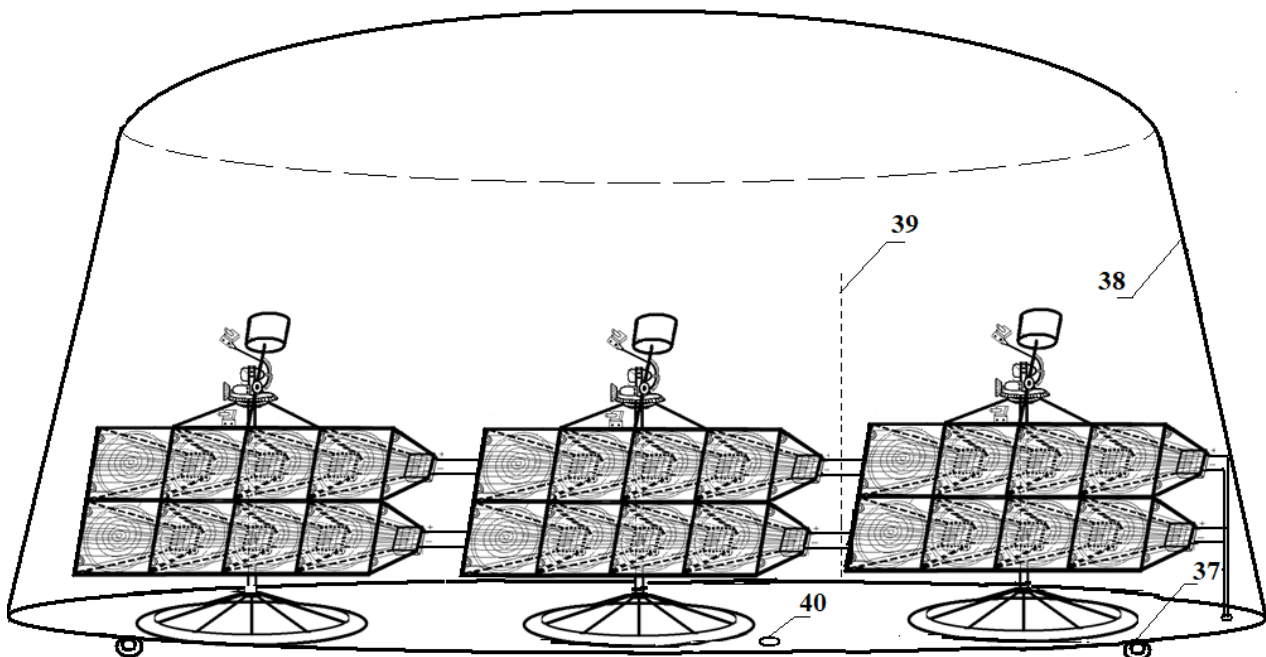


**Рисунок 7. Електрична схема панелі напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця та захисним куполом.**

Електрична схема складається із (див. рис. 7.) напівпровідникової секції сонячної батареї 23, вимикача постійної напруги 24, конвертера змінного



струму 25, електронного блоку горизонтального обертання каркасу 26, електронного блоку вертикального обертання каркасу 27, трубок із лінзами горизонтального та вертикального напрямку сонячного проміння 28, фототранзистора 29, резистора 30, електродвигуна 31, вимикача 32, акумулятора 33, зубчастої передачі 34, корпусу блоку горизонтального обертання каркасу 35, корпусу блоку вертикального обертання каркасу 36, провущин кріплення куполу 37, (див. рис.8.) захисного прозорого куполу 38, герметичної застібки-блискавки входу у купол 39, отвіру подачі повітря 40.



**Рисунок 8. Схема розташування у захисному куполі панелей напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця.**

Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напрямку сонця та захисним куполом дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії кожного елемента сонячної батареї, підвищити ефективність сонячної енергетики, підвищувати напругу та потужність панелі і може застосовуватись у системах із відслідковування положення Сонця на небосхилі, які розташовуються площадках та дахах приміщень із пласким дахом.

#### **Висновки.**

В результаті конструкторських досліджень було запропоновано конструкцію, яка підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батареях за рахунок використання концентраторів світла і системи відслідковування напрямку сонця, що і обумовлює шляхи подальшого підвищення ККД напівпровідникових сонячних батарей.

#### **Література**

1. Борщев В. Н. Высокоэффективная космическая концентраторная батарея солнечная на плоских фоклинах / В. Н. Борщев, А. М. Листратенко, Н. И.





- Слипченко, Н. В. Герасименко, Е. С. Глушко // Радиотехника. - 2014. - Вып. 177. - С. 86-93. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rvmnts\\_2014\\_177\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rvmnts_2014_177_14).
2. <https://findpatent.ru/patent/261/2615041.html> - Патент на корисну модель
  3. <https://findpatent.ru/patent/240/2403510.html> - Патент на корисну модель
  4. <https://findpatent.ru/patent/245/2456645.html> - Патент на корисну модель
  5. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1764908/> - Патент на корисну модель
  6. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1743440/> - Патент на корисну модель
  7. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1733063/> - Патент на корисну модель
  8. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1743455/> - Патент на корисну модель

**Abstract.** *This article considers the issue of solving the problem of increasing the efficiency of semiconductor solar cells used as power generators.*

*Based on the analysis of the design developments of semiconductor solar cells using light concentrators, it was found that the most effective is the use of Fresnel lenses.*

*As a result of design research, a design was proposed that increases the efficiency of semiconductor solar cells due to the use of light concentrators and a system for tracking the direction of the sun, which determines ways to further increase the efficiency of semiconductor solar cells.*

**Key words:** *solar battery, light concentrator, Fresnel lens, solar energy.*



УДК 636.083. 1

**EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF SUNFLOWER PRESSED OIL  
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЇ СОНЯШНИКОВОЇ ПРЕСОВОЇ****Fialkovska L.V. / Фіалковська Л. В.***Ph.D., Associate Professor / к.т.н., доцент*

ORCID: 0000-0002-4353-0963

**Kryzhak L.N. / Крижак Л. М.,***Ph.D., Associate Professor / к.т.н., доцент*

ORSID: 0000-0002-4882-897X

*Vinnytsia Trade and Economic Institute KNTEU**Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ**21050, Ukraine, Vinnytsia, st. Sobornaya, 87*

У статті обґрунтовано актуальність розроблення технології первинного очищення соняшникової олії від механічних домішок. Велика кількість обладнання переробних і харчових виробництв, що базується на відцентровій дії, широко застосовується в багатьох технологіях, де виникає потреба у розділенні неоднорідних дисперсних систем. У процесах попереднього відтискування олії у форпаратах, форпресах, а також шнекових механізмах одноразового або залишкового відтискування, в олію потрапляє велика кількість мезги та макухи, що неминуче призводить до утворення суспензій з великим вмістом твердих часток, розділення якої відноситься до основних проблем при виробництві олійно-жирової продукції.

**Ключові слова:** олія, пресування, технологія, очищення, домішки, центрифуга, виробництво, якість.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.**

В Україні основною олійною культурою є соняшник олійний. Вміст олії у його насінні перевищує 50 %, а в чистому ядрі становить до 70 %. На виробництво надходить насіння соняшника з олійністю 40...50 %, вологістю 6...8 %, вмістом домішок не більш ніж 3 %.

У світовій практиці існує два способи виробництва олії: механічний, або пресовий, і спосіб розчинення олії в летких органічних розчинниках, або спосіб екстракції. Рослинну олію з насіння соняшника видобувають обома цими способами окремо або сумісно.

Очищення пресової соняшникової олії від механічних домішок відноситься до основних проблем розділення суспензій. На вміст домішок впливають структурно-механічні властивості пресованого матеріалу і особливості робочих частин преса (величина ущільн між зеєрними пластинами, зносостійкість деталей шнекового валу тощо) [1, 2].

Вище названі процеси погіршують якість олії і збільшують її втрати при подальшій переробці.

У вітчизняній практиці застосовують осадження і фільтрування для розділення суспензій [3, 4, 5].

Найбільш поширені схеми первинного очищення пресової олії від механічних домішок:

1) відстоювання в механічній пастці і фільтрування у фільтр-пресах (одноразове або дворазове);

2) відстоювання в механічній пастці, осадження часток у відцентровому



полі на центрифугах НОГШ-325, фільтрування у фільтр-пресах (одноразове або дворазове);

3) відстоювання в механічній пастці, осадження часток у відцентровому полі на центрифугах НОГШ-325, перша сепарація зволоженої олії і друга сепарація.

Для виділення дрібних зважених часток досить перспективним є осадження у відцентровому полі.

**Мета дослідження.** Обладнання для розділення неоднорідних дисперсних систем, що базується на відцентровій дії і широко застосовується в багатьох технологіях харчових підприємств.

У процесах попереднього віджиму олії у форапаратах, форпресах, а також шнекових механізмах одноразового або залишкового віджиму, в олію потрапляє велика кількість мезги та макухи, що неминуче призводить до утворення суспензій з великим вмістом твердих часток [4-7], розділення якої відноситься до основних проблем виробництва олійно-жирової продукції.

Тому актуальним є пошук інтенсивних, зокрема, вібровідцентрових методів обробки, дослідження впливу вібрації на інтенсифікацію процесу очищення олії.

Метою даної роботи є застосування в технологічній схемі виробництва пресової олії обладнання для вібровідцентрового розділення суспензій.

**Матеріали і методи дослідження:** при дослідженні були використані наступні методи:

- метод аналізу та синтезу – при вивченні джерел наукової літератури з тематики дослідження;
- методи лабораторних (органолептичних, фізико-хімічних, біохімічних та мікробіологічних) досліджень – при проведенні визначень якісних та кількісних показників сировини та готової продукції;
- методи математично-статистичної обробки результатів дослідження.

#### **Результати досліджень та їх обговорення.**

Досягнення поставленої мети розв'язується шляхом створення вібровідцентрового обладнання, в якому реалізується ідея комбінованої взаємодії вібраційного та обертового руху фільтраційних елементів з можливістю самоочищення осаду технологічної рідини в умовах “вібраційного поля”, що створює необхідні умови для інтенсифікації технологічно процесу розділення суспензій [1, 2].

Вібраційна центрифуга містить завантажувальну горловину 1 (рис. 1), корпус 2, що має вивантажувальні патрубки для відфільтрованого матеріалу 3, 4, відділення для збирання невідфільтрованого матеріалу 5, горловину для вивантаження осаду 6 та два основних контури, що пов'язані між собою пружними елементами 7, 8 та приводяться до руху окремими електродвигунами 9, 10.

Внутрішній контур центрифуги має у своєму складі: приводний вал незрівноважених мас 11, який розташований на опорних підшипникових вузлах 12, 13 та через гнучку муфту 14 з'єднується з приводним валом електродвигуна 9.

Зовнішній контур центрифуги містить: приводний конус 15, що з'єднується

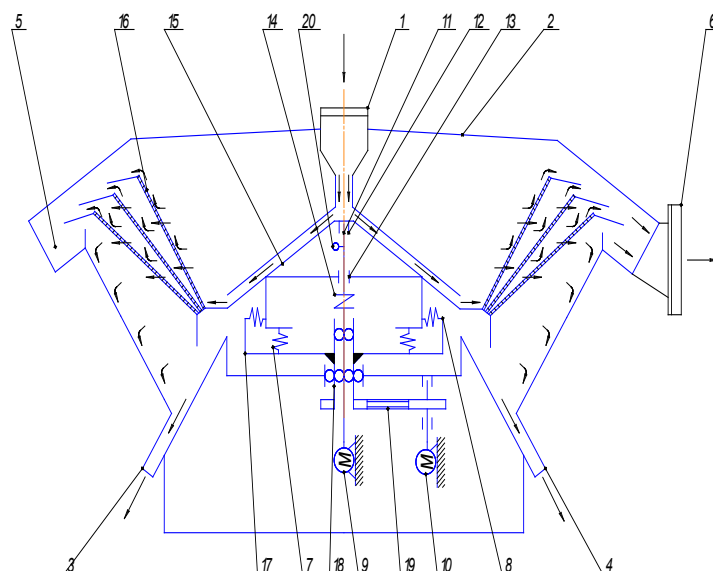


нерухомо з фільтраційними елементами 16; приводну платформу конуса 17, яка жорстко розміщена на приводному валу 18 та через клинопасову передачу 19 з'єднаний з електродвигуном 10.

Запропонована конструкція реалізує ідею комбінованої взаємодії вібраційного та обертального руху фільтраційних елементів з можливістю самоочищення осаду технологічної рідини в умовах “вібраційного поля”.

Вібраційна центрифуга з дебалансним приводом працює наступним чином. Вмикають електродвигуни 9, 10 та розпочинають подачу неочищеної сировини. Крутний момент від електродвигуна 9 через гнучку муфту передається на приводний вал дебалансів 20, зумовлюючи плоскі коливання виконавчого органу центрифуги. Паралельно відбувається обертання фільтраційних елементів навколо власної осі за рахунок крутного моменту, що передається через клинопасову передачу та приводну платформу від електродвигуна 10.

Таким чином, збільшення величини відцентрового поля та застосування триярусного фільтруючого елемента дозволяє значно інтенсифікувати процес первинного очищення соняшникової олії.



**Рис. 1 - Вібраційна центрифуга з дебалансним приводом:**

1 – завантажувальна горловина; 2 – корпус; 3, 4 – вивантажувальні патрубки відфільтрованого матеріалу; 5 – відділення для осаду; 6 – вивантажувальна горловина осаду; 7, 8 – пружні елементи; 9, 10 – електродвигун; 11 – приводний вал незрівноважених мас; 12, 13 – підшипникові вузли; 14 – гнучка муфта; 15 – приводний конус; 16 – фільтраційні елементи; 17 – приводна платформа; 18 – приводний вал платформи; 19 – клинопасова передача; 20 – дебаланс.

На основі результатів проведених досліджень і узагальнення досвіду промисловості можна рекомендувати наступну схему первинного очищення олії від механічних домішок: механічна пастка – вібраційна центрифуга – механізовані фільтри або фільтр-преси.

Випробування центрифуги дозволили отримати наступні результати: після одинарної пастки масова частка нежирових домішок в олії склала 0,95 %,



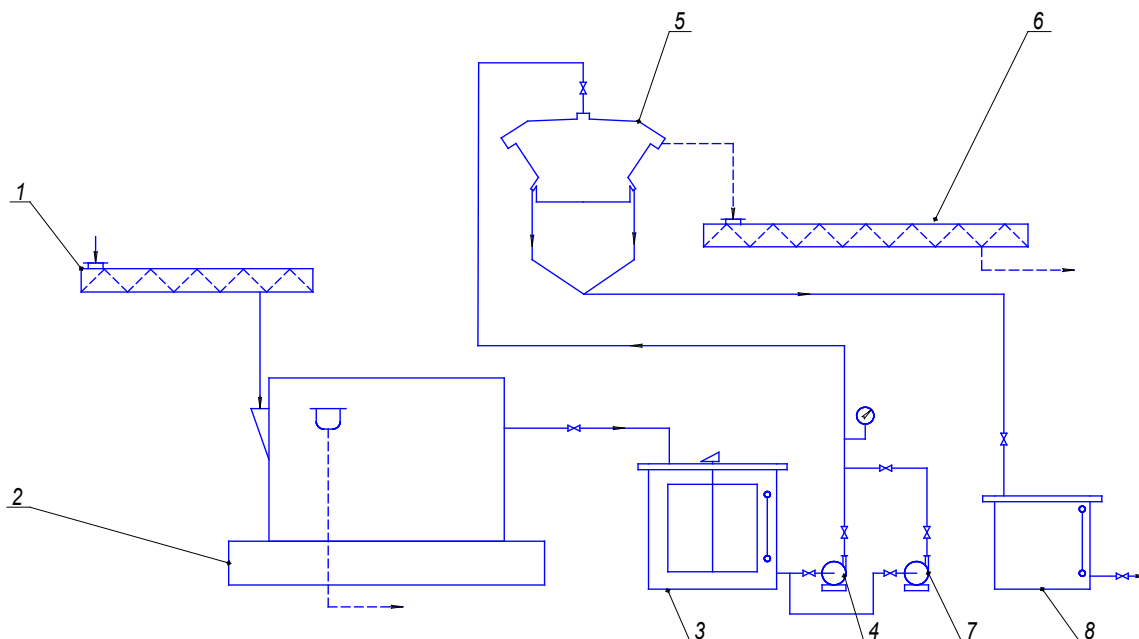
масова частка нежирових домішок в олії після центрифуги склала в середньому 0,25 %.

Розроблена апаратурно-технологічна схема первинного очищення соняшникової олії за застосування комбінованого вібровідцентрового впливу на оброблювану речовину [2, 3].

Технологічна схема первинного очищення олії, що пропонується, передбачає наступну послідовність операцій [3] : олія соняшникова у вигляді суспензії (масова частка нежирових домішок 2-10 %) забірним шнеком 1 (рис. 3) подається у гравітаційну пастку Г2, в якій при температурі 85-90 ° С відбувається осадження механічних часток розміром більше 0,04 мм. Осад (масова частка олії - 25 %) виводиться з апарату і передається на подальшу переробку.

Частково очищена олія (суспензія) з масовою часткою нежирових домішок 0,95 % та масовою часткою вологи і летких речовин - 0,3 % через проміжну ємкість 3 насосом 4 подається в центрифугу 5. Очищена в центрифугі олія до вмісту у суспензії масової частки нежирових домішок 0,25 % через проміжну ємкість 6 насосом 7 подається при температурі 65-70 °С на фільтрацію.

Зважені частки, що виділяються з олії в центрифугі, подаються шнеком 8 на повторну переробку у верхні чани жаровень пресових агрегатів.



**Рис. 2 - Технологічна схема первинного очищення соняшникової пресової олії:**

1 – шнек; 2 – механічна пастка; 3 – збірник для олії; 4, 7 – насос;  
5 – центрифуга; 6 – ємність для олії; 7 – шнек

Збільшення величини відцентрового поля в розробленій вібраційній центрифугі з дебалансним приводом та застосування триярусного фільтруючого елемента дозволяє значно інтенсифікувати процес первинного очищення соняшникової олії.



## Висновки.

1. Проведено дослідження та розглянуто технологію очищення олії соняшникової пресової від механічних домішок.
2. Розроблено перспективну технологічну схему первинного очищення олії від домішок та принципову схему відтискуючого обладнання вібровідцентрового типу.
3. Розроблено вібраційну центрифугу з дебалансним приводом плоских коливань для первинного очищення олії соняшникової пресової.

## Список використаних джерел

1. Паламарчук І.П. Аналіз математичної моделі вібровідцентрової машини для очищення рідкої сировини. Вібрації в техніці та технологіях. 2009. № 4(56). С. 129–136.
2. Паламарчук І.П., Фіалковська Л.В. Обґрунтування робочих параметрів вібраційної центрифуги для олійної сировини. *Всеукраїнський НТЖ Вібрації в техніці та технологіях*. 2012. №2 (66). С. 126 -132.
3. Паламарчук І.П., Фіалковська Л.В. Обґрунтування технології та обладнання для первинного очищення соняшникової олії. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №1(84) 2017 р.* С. 129-132
4. Бандура В.М. Перспективи комбінованих методів переробки олійних культур. *Збірник наукових праць ВНАУ*. Вип. 8. Серія: Технічні науки. 2011. С.32-36.
5. Асоціація «Укроліяпром»: <http://www.ukroilprom.org.ua>. (дата звернення: 15.01.2024).
6. Palamarchuk I., Mushtruk M., Shtefan E., Petrychenko I. Using the Similarity Theory in Designing Vibroconveyor Dryer for Grain. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. Pp. 550-560 (Scopus).
7. Palamarchuk I., Paziuk V., Hulevych R., Kalizhanova A., Sarsembayev M. Analysis of power and energy parameters of the conveyor infrared dryer of oil-containing raw materials. *IAPGOŚ*. 2023. Vol. 13. No. 2. Pp. 10-14 (Scopus).

## REFERENCES

1. Palamarchuk I. P. Analiz matematychnoi modeli vibrovodtsentrovoy mashyny dlia ochyshchennia ridkoi syrovyny. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 2009. № 4 (56). S. 129–136.
2. Palamarchuk I.P., Fialkovska L.V. Obhruntuvannia robochykh parametriv vibratsiinoi tsentryfuihy dlia oliinoi syrovyny. *Vseukrainskyi NTZh Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 2012. №2 (66). S. 126 -132.
3. Palamarchuk I.P., Fialkovska L.V. Obgruntuvannia tekhnolohii ta obladnannia dlia pervynnoho ochyshchennia soniashnykovoi olii. *Vseukrainskyi naukovo-tekhnichniy zhurnal «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh» №1(84) 2017 r.* S. 129-132
4. Bandura V.M. Perspektyvy kombinovanykh metodiv pererobky oliinykh kultur. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU*. Vyp. 8. Serii: Tekhnichni nauky. 2011. S.32-36.
5. Asotsiatsiia «Ukroliiaprom»: <http://www.ukroilprom.org.ua>. (data zvernennia: 15.01.2024).
6. Palamarchuk I., Mushtruk M., Shtefan E., Petrychenko I. Using the Similarity Theory in Designing Vibroconveyor Dryer for Grain. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2023. Pp.



550-560 (Scopus).

7. Palamarchuk I., Paziuk V., Hulevych R., Kalizhanova A., Sarsembayev M. Analysis of power and energy parameters of the conveyor infrared dryer of oil-containing raw materials. IAPGOŚ. 2023. Vol. 13. No. 2. Pp. 10-14 (Scopus).

**Summary** *The article substantiates the relevance of developing the technology of primary purification of sunflower oil from mechanical impurities. A large number of processing and food industry equipment based on centrifugal action is widely used in many technologies where there is a need to separate heterogeneous dispersed systems.*

*In the processes of preliminary pressing of oil in foraparts, prepresses, as well as screw mechanisms of one-time or residual pressing, a large amount of pulp and cake gets into the oil, which inevitably leads to the formation of suspensions with a high content of solid particles, the separation of which is one of the main problems in the production of oil- fatty products. Purification of pressed sunflower oil from mechanical impurities is one of the main problems in the separation of suspensions.*

**Key words:** *oil, pressing, technology, purification, impurities, centrifuge, production, quality.*

Статья отправлена: 29.02.2024 г.  
Фиалковская Л.В., Крижак Л. М.



УДК: 664.1 - 663

**RECEIVING OF FLAKES OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE FROM  
GRAIN NAKED-GRAIN OATS****ОТРИМАННЯ ПЛАСТИВЦІВ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ З ЗЕРНА  
ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА****Vazhay-Zhezherun S.A. / Бажай-Жежерун С.А.,***PhD, associated professor/ к.т.н., доцент*

ORCID.0000-0002-5382-4842

**Bereza-Kindzerska L.V. / Береза-Кінзерська Л. В.***PhD, associated professor/ к.т.н., доцент***Togachynska O.V. / Тогачинська О. В.***PhD, associated professor/ к.т.н., доцент**National University of Food Technologies, Kyiv, Володимирська, 68**Національний університет харчових технологій, Київ, Володимирська, 68*

**Анотація.** Розроблено спосіб отримання пластівців підвищеної харчової цінності із голозерного вівса. Спосіб включає попередню підготовку зернової сировини, гідротермічне оброблення за холодного режиму: інтенсивне зволоження та тривале відволожування зернової маси. Після першого інтенсивного зволоження передбачено оброблення зерна інфрачервоним опроміненням. Наступними етапами є плющення, підсушування пластівців, провіювання, фасування. Досліджено вплив режиму оброблення на вміст основних вітамінів у зерні голозерного вівса. Визначено основні фізико-хімічні показники якості та харчову цінність вівсяних пластівців. Досліджено, мікробіологічну обсемененість розробленого продукту.

**Ключові слова:** голозерний овес, пластівці, харчова цінність, вітаміни.

**Вступ.** Регулярне споживання цільного зерна та продуктів на його основі сприяє зниженню ризику захворювань серцево-судинної та травної систем організму. Такий вплив зумовлений наявністю у цільнозернових продуктах важливих нутрієнтів: вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон, які здатні підвищувати імунітет та адаптаційні можливості людини, поліпшувати діяльність шлунково-кишкового тракту, органів та систем організму.

Серед значної кількості способів перероблення зерна недостатньо методів, які б сприяли максимальному збереженню та накопиченню біологічно активних сполук. Тому актуальним завданням є удосконалення існуючих та розроблення нових методів підготовки зернових матеріалів для виробництва харчових продуктів оздоровчого призначення на основі цільного зерна.

Оброблення інфрачервоним випромінюванням, або мікронізація, поширений метод підготовки зерна, який підвищує його харчову цінність, здійснює термічну дезінсекцію та дезінфекцію [1], поліпшує схожість та енергію проростання [2]. Мікронізація сприяє послабленню зв'язку між оболонками та сім'ядолями у бобових, що полегшує лущення [3], змінює внутрішню структуру та призводить зерно до зниження опору стискання [4]; застосовується для сушіння зерна [5], покращує поживну цінність зерна, та засвоюваність нутрієнтів [6, 7].

У літературі відсутні дані щодо виробництва пластівців з біологічно активованого зерна вівса з застосуванням інфрачервоного опромінення.





**Мета нашої роботи** – розроблення способу отримання пластівців підвищеної харчової цінності з біологічно активованого голозерного вівса.

**Результати та обговорення.** Голозерні сорти вівса відрізняються підвищеним вмістом білка – 16,6-18 %, що на 38-60 % більше порівняно з півчастими сортами [8]. Нами запропоновано спосіб отримання пластівців підвищеної харчової цінності із голозерного вівса. Початковим етапом є очищення зерна від домішок, сортування, провіювання, миття та дезінфекція. Наступним є гідротермічне оброблення загальною тривалістю 18...30 год за температури 12...16 °С в три цикли, кожен з яких включає інтенсивне зволоження зерна протягом 4 год. та відволожування протягом 4...6 год. Після першого зволоження зерно обробляють ІЧ опроміненням, товщина шару зерна 20-25 см. Потужність ламп ІЧ опромінення 230-260 Вт/м<sup>2</sup>, відстань від площини розміщення зерна до лампи – 25-30 см, тривалість процесу 55-60 с. Далі здійснюють плющення, підсушування пластівців за температури не вище 80 °С до вологості 12-14 %, провіювання, фасування.

Нами досліджено вплив біологічного активування, яке поєднано з ІЧ опроміненням, на зміну вмісту вітамінів у зерні голозерного вівса, табл.1.

**Таблиця 1 - Вплив режиму оброблення на вміст вітамінів у зерні голозерного вівса**

| Вологість зерна %     | Відстань від зерна до ІЧ джерела | Вміст вітамінів у зерні, мг% |                                |                                |                            |             |                            |                |                  |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|----------------|------------------|
|                       |                                  | В <sub>1</sub><br>(тіамін)   | В <sub>2</sub><br>(рибофлавін) | В <sub>6</sub><br>(піридоксин) | В <sub>8</sub><br>(інозит) | Р           | С<br>(аскорбінова кислота) | РР<br>(ніацин) | Е<br>(токоферол) |
| 11<br>(нативне зерно) | 20                               | 0,32 ± 0,01                  | 0,18 ± 0,02                    | 0,39 ± 0,04                    | 6,48 ± 0,30                | 3,42 ± 0,25 | 2,61 ± 0,20                | 3,32 ± 0,12    | 0,78 ± 0,01      |
| 20                    | 23                               | 0,48 ± 0,01                  | 0,35 ± 0,01                    | 0,55 ± 0,02                    | 12,83 ± 0,18               | 4,95 ± 0,20 | 3,82 ± 0,10                | 3,54 ± 0,15    | 4,25 ± 0,01      |
| 25                    | 25                               | 0,61 ± 0,01                  | 0,41 ± 0,01                    | 0,63 ± 0,05                    | 20,24 ± 0,15               | 6,12 ± 0,01 | 4,61 ± 0,18                | 4,00 ± 0,02    | 6,81 ± 0,03      |
| 28                    | 30                               | 0,73 ± 0,01                  | 0,47 ± 0,01                    | 0,71 ± 0,01                    | 33,56 ± 0,20               | 7,9 ± 0,02  | 5,4 ± 0,15                 | 4,50 ± 0,18    | 8,23 ± 0,02      |
| 30                    | 35                               | 0,64 ± 0,01                  | 0,40 ± 0,02                    | 0,65 ± 0,01                    | 26,41 ± 0,30               | 7,11 ± 0,20 | 4,9 ± 0,18                 | 4,32 ± 0,03    | 7,54 ± 0,01      |

Експериментально встановлено, що ІЧ-опромінення попередньо замоченого протягом 2-4 год зерна стимулює фізіологічні показники, інтенсифікує синтез вітамінів. У процесі зазначеного комплексного оброблення кількість вітамінів групи В та аскорбінової кислоти збільшується у 2 – 2,5 рази, токоферолу – у 9,6 рази, ніацину у 1,4 рази.

Визначено основні технологічні показники якості пластівців (табл. 2).

Показники об'ємної маси, когезивності та дійсної густини вказують на високу якість даного зернового продукту. Досліджено харчову цінність пластівців з біологічно активованого вівса (табл. 3).



**Таблиця 2 - Фізико-технологічні показники якості пластівців з голозерного вівса**

| № | Показник                     | Вівсяні пластівці |
|---|------------------------------|-------------------|
| 1 | Вологість, %                 | 11,7±0.3          |
| 2 | Об'ємна маса, г/л            | 415,5±0.3         |
| 3 | Середній розмір часток, мм   | 6,4±0.1           |
| 4 | Кут природного нахилу, град  | 63,5±0.2          |
| 5 | Кут ковзання по металу, град | 14,5±0.3          |
| 6 | Дійсна густина, т г/л        | 432,3±0.2         |
| 7 | Когезивність                 | 1,2±0.1           |

**Таблиця 3. - Характеристика харчової цінності пластівців з голозерного вівса**

| Зразок продукту   | Енергогенні речовини, % |          |           | Харчові волокна, % | Вміст вітамінів, мг % |                |                | Енергетична цінність, ккал |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------------|
|                   | Білки                   | Жири     | Вуглеводи |                    | Е                     | В <sub>1</sub> | В <sub>2</sub> |                            |
| Пластівці вівсяні | 13,8 ±0.3               | 4,5 ±0.1 | 63,1 ±0.3 | 4,62 ±0.06         | 7,34 ±0.02            | 0,68 ±0.01     | 0,40 ±0.03     | 348                        |

Розраховано ступінь забезпечення добової потреби в нутрієнтах, дорослого населення першої групи інтенсивності праці, за рахунок споживання 100 г пластівців з голозерного вівса: білки – 23,8 %, жири – 7,7 %, вуглеводи – 26,3 %, харчові волокна – 18,5 %; вітаміни: Е – 18,5 %, В<sub>1</sub> – 52,3 %, В<sub>2</sub> – 25,0 %.

Досліджено показники мікробіологічної стійкості свіжо виготовлених пластівців з голозерного вівса, та зразків, які зберігалися протягом 6 місяців: значення МАФАНМ, КУО/г відповідно  $1 \cdot 10^2$  та  $5 \cdot 10^2$ ; плісняві гриби та патогенні мікроорганізми не виявлено. Дані продукти за мікробіологічною обсемененістю не перевищують показники допустимих значень.

**Висновки.** Пластівці з біологічно активованого голозерного вівса, підготовленого розробленим способом, є продуктом оздоровчого призначення з високою біологічною цінністю, а саме підвищеним вмістом водорозчинних та жиророзчинних вітамінів. Досліджено вплив режиму оброблення на вміст вітамінів у зерні голозерного вівса. Визначено основні фізико-хімічні показники якості та харчову цінність вівсяних пластівців. Досліджено, що мікробіологічна обсемененість розробленого продукту, не перевищує показники допустимих значень. Пластівці з голозерного вівса є джерелом водорозчинних та жиророзчинних вітамінів, зокрема вміст вітаміну Е складає 7,54 мг %, В<sub>1</sub> – 1,44 мг%, В<sub>2</sub> – 1,36 мг%; вміст харчових волокон, які є природними харчовими сорбентами – 4,6 %. За вмістом основних енергогенних речовин пшеничні пластівці не поступаються традиційним зерновим продуктам.

### Література:

1. Keszthelyi S., Lukács H., Pál-Fám F. Effects of Different Infra-Red Irradiations on the Survival of Granary Weevil *Sitophilus granarius*: Bioefficacy and Sustainability. 2021 Feb; 12(2): 102.



2. Бандура В.М., Кірієнко О.О. Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна / Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №3 (92). 53-57.
3. Puneet Kumar, Subir Kumar Chakraborty, Adinath Kate. Influence of infrared (IR) heating parameters upon the hull adherence and cotyledon integrity of whole pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) grain Food Science and Technology. 2022.V. 154, 15. 112792.
4. Andrejko D., Grochowicz J., Goździewska M. , Kobus Z. Influence of Infrared Treatment on Mechanical Strength and Structure of Wheat Grains. 2011 / Food and Bioprocess Technology 4(8):1367-1375.
5. Palamarchuk V., Gyrych S., Vasilishina O., Pahomsk O. Intensification of the flow process of grain drying using two-sided infrared irradiation / Technology audit and production reserves. № 1/3(57), 2021. – 34-38.
6. Мунтян В. О., Чумак В. А. Характеристика інфрачервоних випромінювачів та їх дії на об'єкти сільськогосподарського призначення. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. 2012. Вип. 129. С. 131-133.
7. Солодушко В.П. Результати і перспективи селекції голозерних сортів вівса в умовах північного степу України / Зернові культури. Том 5. № 1. 2021. С. 5–12
8. Бажай-жежерун С., Береза-Кіндзерська Л., Башта А. Розроблення способу отримання пластівців оздоровчого призначення на основі зерна тритикале. Вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. №.1. 2022. С.7-11.

#### References:

1. Keszthelyi S., Lukács H., Pál-Fám F. Effects of Different Infra-Red Irradiations on the Survival of Granary Weevil. *Sitophilus granarius*: Bioefficacy and Sustainability. 2021 Feb; 12(2): P.102.
2. Bandura V.M., Kiriienko O.O. Rozvytok infrachervonoj tekhniki dlia obrobky zerna / Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2015. №3 (92). P.53-57.
3. Puneet Kumar, Subir Kumar Chakraborty, Adinath Kate. Influence of infrared (IR) heating parameters upon the hull adherence and cotyledon integrity of whole pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) grain Food Science and Technology. V. 154, 15. 2022, 112792
4. Andrejko D., Grochowicz J., Goździewska M. , Kobus Z. Influence of Infrared Treatment on Mechanical Strength and Structure of Wheat Grains. Food and Bioprocess Technology. 2011.4(8):1367-1375. DOI:10.1007/s11947-009-0238-3
5. Palamarchuk V., Gyrych S., Vasilishina O., Pahomsk O. Intensification of the flow process of grain drying using two-sided infrared irradiation / Technology audit and production reserves. № 1/3(57), 2021. P. 34-38.
6. Muntian V. O., Chumak V. A. Kharakterystyka infrachervonykh vyprominiuvachiv ta yikh dii na obiekty silskohospodarskoho pryznachennia. Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. 2012. V. 129. P. 131-133.
7. Solodushko V. Rezultaty i perspektyvy selektsii holozernykh sortiv vivsa v umovakh pivnichnoho stepu Ukrainy. Zernovi kultury. T. 5. № 1. 2021. S. 5-12.
8. Bazhay-Zhezherun S., Bereza-Kindzerska L., Bashta A. Rozroblennia sposobu otrymannia plastivtsiv ozdorovchoho pryznachennia na osnovi zerna trytykale. Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. V.1.2022. P.7-11.



**Abstract.** Whole grain products are an important component of the diet. Given the feasibility of treating grain with IR radiation, to improve its quality, we have developed a method for producing flakes of increased nutritional value from naked-grain oats. The method includes preliminary preparation of grain raw materials, hydrothermal treatment at low temperature regimes: intensive moistening and prolonged dehydration of grain mass. After the first moistening, the grain is treated with IR irradiation. The power of IR irradiation lamps is 230-260 W/m<sup>2</sup>, the distance from the grain placement plane to the lamp is 25-30 cm, and the duration of the process is 58-60 seconds. The next stages are flattening, drying, airing and packing.

The influence of the treatment regime on the content of vitamins in the grain of naked-grain oats is investigated. The basic physic-chemical indicators of quality and nutritional value of flakes are determined. Microbiological insemination of flakes is within normal limits. Due to the consumption of 100 g of oat flaks, the daily need for nutrients can be provided: proteins - 23.8%, fats - 7.7%, carbohydrates - 26.3%, dietary fibers - 18.5%; vitamins: E - 18.5%, B<sub>1</sub> - 52.3%, B<sub>2</sub> - 25.0%.

**Key words:** naked-grain oats, flakes, nutritional value, vitamins.



UDC 330.341.1:641.5:613.261(045)

**INNOVATIVE CULINARY TECHNOLOGY FOR VEGETARIAN DIET  
ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КУЛІНАРНОГО ВИРОБУ ДЛЯ  
ВЕГЕТАРІАНСЬКОГО ХАРЧУВАННЯ****Semko T.V. / Семко Т.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1951-5384>***Раhomska O.V. / Пахомська О.В***ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3573-9422>**Vinnitsia Institute of Trade and Economics, Faculty of Trade, Marketing and Services,  
Vinnitsia, Soborna, 87, 21050,**Вінницький торговельно-економічний інститут,**Вінниця, вул. Соборна, 87, 21050*

**Анотація.** *The article raises the topic of vegetarianism, which is insufficiently studied at the moment and requires further research. Vegetarianism has been a part of human culture since ancient times; supporters of a plant-based diet existed as far back as ancient Greece and Asia. Today, vegetarianism is the most widespread system of non-traditional nutrition. Food consumption is a significant part of social culture and identity, such as the emergence of vegetarianism and veganism, which are associated with a new culture of environmentalism and humanism. In Ukraine, as well as in the West, a significant proportion of people consider themselves vegetarians. The situation in Ukraine with vegetarianism is complex: according to the UA Plant-Based 2020 study, more and more Ukrainians are becoming interested in reducing meat consumption in favor of plant-based products; many respondents revealed the willingness of Ukrainians to use plant-based alternatives in case of availability and identity. Plant-based products are gaining popularity, so today the popularity of plant-based nutrition cannot be ignored. More and more plant-based substitutes for milk and yogurts, sausages and sausages, or plant-based "meat," are appearing on the domestic market, and more and more plant-based options are appearing in restaurants.*

**Key words:** *vegetarianism, nutrition, dessert, menu, technology, introduction*

**Introduction**

The word "vegetarian" comes from the Latin "vegetus" means "healthy, fresh" was used for the first time in 1842 (Tristram, 2007) by representatives of the "British Vegetarian Society". Vegetarians believe that the consumption of animal products contradicts the structure of human digestive organs, contributes to the formation of toxic substances in the body that poison cells and reduce life expectancy. Vegetarianism was popularized in the West in the 19th century, primarily philosophers, scientists and the most prominent personalities of their time became vegetarians. In the modern sense, vegetarianism is a food system that assumes the consumption of only plant products, which, according to this system, are the only natural human food [1].

The vegetarian worldview system is built on ethical principles, which include the rejection of animal exploitation in all spheres of life, from food to leisure. The term "vegetarian" was introduced by Donald Watson in 1944. In 1950, Watson and several other researchers first formulated the definition of veganism: "The doctrine according to which man should live without exploiting animals." Vegetarians do not consume animal products (meat, fish, poultry and seafood), do not wear fur, leather, silk, do not use cosmetics, medicines and household chemicals tested on animals, do not visit circuses, zoos. To date, there are many video blogs, sites, communities in



social networks that are dedicated to vegetarianism.

Over the past few years, there has been a significant increase in the popularity of vegetarian diets. Some go vegetarian for ethical reasons, others are concerned about their health or environmental pollution. Vegetarianism is not a new diet for mankind, ancient records indicate that as early as the 6th century. B.C. in India, Greece, and southern Italy, people tried to avoid eating meat. While in India, vegetarianism was a common practice among religious people and philosophers.

Later in Europe, with the introduction of Christianity, vegetarianism lost its popularity until the 19th century, which is considered the period of revival of vegetarianism. In 1847, the first vegetarian society was created in England. Similar formations later appeared in Germany, Denmark, France and other parts of Europe [8].

### Main text.

Taking into account the rapid development of the market for vegetarian products and the increase in demand for them, the technologies for the production of vegetarian products are becoming more and more developed and innovative. We are offered to develop the "Cherry" brownie dessert and offer it for implementation in restaurants that include vegetarian dishes on the menu with the aim of expanding the assortment, increasing the competitiveness of vegetarian dishes and activating the demand for them among different contingents of consumers.

The production of vegetarian products is a rather broad topic, as it can include various technologies, such as the use of various plant ingredients, the inclusion of proteins of plant origin, fermentation processes.

Replacing meat and other animal products with similar plant products is becoming increasingly popular among people who choose a vegetarian or vegan lifestyle. There are several methods of replacing meat and other animal products with similar plant products that have a similar taste and texture. A list of herbal alternatives to products of animal origin is shown in Table 1

**Table 1 - Plant-based alternatives to animal products**

| Animal product/origin | Vegetable alternative   |
|-----------------------|---|
| Meat                  | Tofu, seitan, tempeh, okara, soy, lentils, chickpeas, lentils, peas, spelled, amaranth, hemp, cauliflower, broccoli, cabbage, mushrooms, eggplant, zucchini, pumpkin, onion, pepper, nettle, asparagus, broccoli, avocado |
| Fish                  | Sea cabbage, canned rice or soy tuna, algae, spirulina, fish sauce based on vegetable oil   |
| Eggs                  | Tofu, kala namak, pectin, aquafaba, starch, ground flax seeds, applesauce, coconut milk, mustard seeds, chia seeds  |
| Dairy products        | Soy milk, almond milk, coconut milk, oat milk/milk, hemp milk, rice milk, nut milk, buckwheat milk, avocado milk, tofu  |
| Gelatin               | Carob, agar-agar, gum   |

It is important to note that replacing products of animal origin with vegetable alternatives should be carried out taking into account the necessary nutrients and caloric content. To obtain a complete diet, vegetarians should include in their diet a variety of plant foods, such as vegetables, fruits, cereals, seeds, and nuts [38].



Culinary products are made in a certain sequence, starting from the provision of raw materials, equipment, inventory and energy and ending with the sale of finished products. The process of transforming raw materials into finished products is called technological. The technology of making chocolate brownies according to the classic recipe was taken as the basic basis for the development of an innovative product [3].

**Table 2 – Interchangeability of ingredients for classic and vegetarian brownies**

| Ingredient | Classic brownie | Vegetarian brownie             |
|------------|-----------------|--------------------------------|
| Eggs       | Eggs            | avocado, cherry puree          |
| Milk       | Milk            | coconut milk                   |
| Butter     | Butter          | coconut oil                    |
| Sugar      | Sugar           | coconut sugar                  |
| Flour      | Flour           | oat flour, gluten-free mixture |
| Cocoa      | Cocoa           | carob                          |
| Soda       | Soda            | Soda                           |
| Salt       | Salt            | Salt                           |

Below is a technological map for the "Cherry" brownie product using cherry puree, adding a gluten-free mixture and cherub, which is not expected by the classic recipe. In order to preserve the structure of the dough, eggs were replaced with avocado and cherry puree, and to increase the elasticity of the dough, coconut oil, rich in unsaturated fatty acids, vitamin E and other important substances, was added.

**Table 3 - Technology map**

| №  | The name of the raw material | Mass of raw materials, g |                     |                     |                     | Technological requirements for the quality of raw materials  |
|----|------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
|    |                              | For 1 portion            |                     | For 10 servings     |                     |  |
|    |                              | Gross, g.<br>Net, g      | Gross, g.<br>Net, g | Gross, g.<br>Net, g | Gross, g.<br>Net, g |  |
| 1  | Coconut milk                 | 30                       | 30                  | 300                 | 300                 | White in color, without extraneous impurities and odors  |
| 2  | Oatmeal                      | 10                       | 10                  | 100                 | 100                 | White in color, without extraneous impurities and odors  |
| 3  | Avocado                      | 20                       | 15                  | 200                 | 150                 | The taste and smell are characteristic avocado; the color is light green, the consistency is uniform |
| 4  | Cherry puree                 | 10                       | 10                  | 60                  | 60                  | The taste and smell are characteristic of cherries; the color is red, the consistency is uniform     |
| 5  | Coconut sugar                | 20                       | 20                  | 200                 | 200                 | Cream-colored, without extraneous impurities and odors   |
| 6  | Gluten-free mixture          | 10                       | 10                  | 100                 | 100                 | White in color, without extraneous impurities and odors  |
| 7  | Kerob                        | 10                       | 10                  | 100                 | 100                 | Cinnamon-colored, without extraneous impurities and odors  |
| 8  | Coconut oil                  | 5                        | 5                   | 50                  | 50                  | White in color, without extraneous impurities and odors  |
| 9  | Soda                         | 1                        | 1                   | 10                  | 10                  | White in color, without extraneous impurities and odors  |
| 10 | Salt                         | 0,25                     | 0,25                | 2,5                 | 2,5                 | White in color, without extraneous impurities and odors  |
|    | Entrance                     |                          | 60                  |                     | 600                 |  |



### *Cooking technology*

Sift flour, gluten-free mixture and carob into a mixing bowl, add salt and coconut sugar. Mix cherry puree with soda. Peel and chop the avocado. Combine all ingredients and mix until smooth. Spread the mass on a baking sheet lined with parchment. Bake for 15-20 minutes. At a temperature of 180 C. Cool the finished product, separate the parchment, put it on a wire rack until it cools completely. Before serving, cut into portioned pieces, decorate with berries [3,4].

#### *Characteristics of the finished product*

Appearance: baked evenly.

Color: dark brown

Consistency: homogeneous, elastic.

Conclusions and conclusions.

The developed brownie dessert "Cherry" can be offered for introduction in restaurants that include vegetarian dishes on the menu in order to expand the assortment, increase the competitiveness of vegetarian dishes and activate the demand for them among different contingents of consumers.

#### Literature :

1. Ivanishcheva, O.A., Pakhomska O.V. (2021) Tendentsii formuvannia yakosti khlibobulochnykh vyrobivfunktsionalnogo pryznachennia [Tendencies in the formation of the quality of khlibobulochnykh workflows]. *Molodyi vchenyi* (Vol. № 5 (93), pp. 159-163). DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-30>

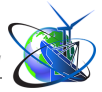
2. Drobot, V., Hryshchenko, A. (2010) Rozrobka novykh vydiv bezbilkovykh khlibobulochnykh vyrobiv. [Development of new types of protein-free bakery products]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*. [Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies]. (Vol. 1. Vyp. 38 (1). pp. 164-167.) URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np\\_2010\\_38%281%29\\_40](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2010_38%281%29_40)

3. Pakhomska, O. (2019) Naukovyi pidkhid do stvorennia khlibobulochnykh vyrobiv funktsionalnogo pryznachennia. [Scientific approach to the creation of functional bakery products]. *Naukovi pratsi NUKHT*. [Scientific works of NUHT]. (Vol. 25. № 2, pp. 276-283). DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-2-30>

4. Ildirova, S.K., Stiborovskyi, S.E., Starostielie, O.V. (2010). Vykorystannia roztoropshi pliamystoi u vyrobnytstvi vyrobiv iz pisochnoho tista [The use of milk thistle in the production of shortcrust pastry]. *Visnyk DonNUET* (Vol. №1(45), pp. 121-126). URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit\\_2010\\_1\\_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2010_1_30)

**Анотація.** У статті піднято тему вегетаріанства, яка на даний момент є недостатньо вивченою та потребує подальших досліджень. Вегетаріанство було частиною людської культури з давніх часів; Прихильники рослинної дієти були ще в Стародавній Греції та Азії. Сьогодні вегетаріанство є найпоширенішою системою нетрадиційного харчування. Споживання їжі є значною частиною соціальної культури та ідентичності, наприклад, поява вегетаріанства та веганства, які пов'язані з новою культурою захисту навколишнього середовища та гуманізму. В Україні, як і на Заході, значна частина людей вважають себе вегетаріанцями. Ситуація в Україні з вегетаріанством складна: згідно з дослідженням *UA Plant-Based 2020*, все більше українців цікавляться скороченням споживання м'яса на користь продуктів рослинного походження; багато респондентів





виявили готовність українців використовувати рослинні альтернативи за наявності та ідентичності. Продукти рослинного походження набирають популярності, тому сьогодні не можна ігнорувати популярність рослинного харчування. На вітчизняному ринку з'являється все більше рослинних заміників молока та йогуртів, сосисок і сосисок або рослинного «м'яса», все більше рослинних варіантів з'являється в ресторанах.

**Ключові слова:** вегетаріанство, харчування, десерт, меню, технологія

The article has been sent: 13.03.2024 hours

© Semko T.V.



UDC 629.238

## PHYSICS OF CAPILLARITY AND COFFEE BREWING PROCESS

## ФІЗИКА КАПІЛЯРНОСТІ ТА ПРОЦЕСУ ЗАВАРЮВАННЯ КАВИ

Zamkova S./Замкова С.

Student / студент

Sosnovska A./Сосновська А.

Student / студент

Koval A./Коваль А.

Student / студент

Stetsyura D./Стецюра Д.

Student / студент

Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.

PhD / к.пед.н, доцент кафедри

ORCID: 0000-0003-4079-4901

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056

Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056

**Abstract.** The article considers the physical phenomenon of capillarity and its application in the process of brewing coffee. It discloses factors affecting the extraction efficiency and taste of the beverage, such as surface tension, adhesion, coffee particle size, water temperature and brewing time. The publication emphasizes the importance of understanding these physical aspects to improve the coffee brewing process and develop new technologies in this area. It should be noted that the understanding of capillary physics contributes to improving the quality of coffee and opens the way to new scientific discoveries in the field of coffee making.

**Key words:** capillary physics, coffee brewing process, coffee extraction, temperature, brewing time, roasting level, grinding size, tepping, surface tension, adhesion, coffee particle size and shape, coffee history.

**Introduction.**

Capillarity is a phenomenon in which a liquid rises or falls in narrow tubes or porous materials without wetting their walls. This phenomenon occurs due to the surface tension forces of the liquid and the adhesion between the liquid and the walls of the tube. Today, it is a well-studied phenomenon that is widely used in various fields of science and technology.

This phenomenon plays an important role in the coffee brewing process, as it allows hot water to penetrate the ground coffee powder, wetting it. Thanks to this property, water actively moves through the narrow channels between the coffee particles, washing away coffee oils and aromas.

Let's find out how they are related to each other:

- *Surface tension:* Water tends to minimize its surface area. This leads to the formation of a film on the surface of the water, which seems to "pull" it together. This film helps the water to rise through the narrow channels between the coffee particles.

- *Adhesion:* Adhesion is the molecular attraction between different substances. In the brewing process, the adhesion between the water and the coffee powder helps the water to rise through the narrow channels between the coffee particles.

- *The shape and size of the coffee particles:* The size and shape of the coffee



particles affect the speed and efficiency of the extraction. Finely ground coffee has a larger surface area, which results in faster extraction, but can also lead to bitterness.

- *Water temperature:* Hot water dissolves coffee oils and flavors better.
- *Brewing time:* The longer the water is in contact with the coffee, the more coffee substances will be extracted.

The topic is *relevant* and interesting for both scientific research and practical application in coffee brewing. Understanding the *physics of capillarity* allows the coffee roaster to better adjust brewing parameters, such as water temperature, water contact time with coffee beans, and grind level, to achieve optimal coffee flavor and aroma. *Studying the coffee brewing process from a physical point of view* can lead to new scientific discoveries that relate not only to the brewing process itself, but also to the properties of coffee beans and their interaction with water. Understanding the *aspects of brewing contributes to the development* of new methods and technologies for brewing coffee, such as specialized coffee makers, filters and other devices that improve the quality of the drink. The growing interest in high-quality coffee among consumers emphasizes the *importance* of understanding the brewing process and its physical aspects to meet the taste needs of customers.

The connection *between the physics of capillarity and the brewing of coffee* may come as a surprise to many people. Exploring such unexpected connections can be *fun* and *stimulating*. *Consideration of such a topic* provides an opportunity to see how the fundamental principles of physics are applied in everyday situations. The article can contribute to the understanding of processes that seem ordinary but are based on complex scientific principles. The publication contributes to the *popularization of science* among the general public by showing how scientific knowledge can be applied in various spheres of life.

### **Physics of capillarity.**

Capillary phenomena are the rise or fall of fluid in thin tubes.

*Let's look at some cases:*

1. The *wetting fluid* rises in the capillary above the liquid level in the vessel - this is because it is subjected to Laplace pressure, which is directed upward by surface tension forces.

It turns out that the liquid level is set at a height where the Laplacean and hydrostatic pressures of the liquid in the capillary are balanced.

2. The *non-wetting fluid* descends into the capillaries below the level of the liquid in the vessel, because it is subject to a downward Laplace pressure. This liquid falls to the height at which the Laplace and hydrostatic pressures of the liquid in the vessel are balanced.

### **Examples of capillary phenomena in nature, everyday life, and technology.**

Capillary phenomena are extremely common in nature, technology, and everyday life:

- ✓ penetration of nutrients from the soil into plants;
- ✓ moisture rise from deeper soil layers;
- ✓ construction practice;
- ✓ the use of towels, napkins, and gauze.



Plant nutrition is caused by the absorption of moisture and nutrients from the soil, which is possible due to the presence of capillaries in the root system and stem of the plant.

Capillarity must be taken into account when tilling the soil. For example, in order to ensure more intensive evaporation of moisture from the soil, it is necessary to tamp it down. In this case, capillaries are formed in the soil, through which moisture rises and then evaporates. To reduce evaporation, the soil is loosened, destroying the capillaries, and the moisture stays in the soil longer.

Bodies that have a large number of capillaries absorb moisture well. That's why when you dry your hands, a towel absorbs water, and kerosene or molten stearin rises up the wick of a lamp or candle.

**Historical coffee review.** *The history of coffee and its first discovery.* The origin of coffee and its spread in the world. Around the 10th century, coffee was found in Ethiopia, namely in the highlands of Kaffa, without which millions of people now cannot imagine life. It was found thanks to ordinary domestic goats. The young shepherd noticed that his goats stubbornly ate the reddish berries of small bushes and then began to run and play, becoming very energetic. The inquisitive shepherd decided to taste the berries and leaves of these bushes. He did not like the taste, but he noticed that fatigue left him, and his mood improved significantly. The young man shared his observations with friends and relatives, word of mouth worked and everyone in the area learned about it. Missionary monks also heard the news. The discovery of Ethiopian goats was very interesting and they began to experiment with this plant and its areas. Subsequently, they managed to make a recipe for a decoction of coffee leaves, which miraculously restored people's vigor, relieved fatigue and helped the monks not to fall asleep during long and monotonous prayers. Another coffee drink, which they invented, was prepared by soaking these berries in water [1].

*Distribute coffee around the world.* About a thousand years ago, Arabica seeds were exported from Kaffa to the Ethiopian region of Harrar, and the species of plant that was exported was called "tipika." In the 15th century, Arabs exported tipiki seedlings to Yemen, where the Yemeni sheikhs themselves began to grow coffee for sale, becoming monopolists in the market. They forbade the export of green grains, so coffee was roasted in Yemen, and from there it was supplied to other countries. Because of this, everyone thought that coffee grew only in Yemen, and did not know about its presence in Ethiopia [2].

Somehow they managed to take green coffee to India, probably thanks to the Indian pilgrim Baba Budan, which opened up the opportunity to grow coffee to others, not only Arab sheikhs.

Until the 17th century, coffee was supplied to Europe from Yemen, but when the drink became popular, the Dutch decided to grow coffee trees themselves, bypassing Arab traders. In 1699, they planted several seedlings on the island of Java, destroying the Arab monopoly and independently began to supply coffee to Europe. Nowadays, Holland ranks 5th among other countries in terms of coffee consumption in the world.

At the same time, the King of Holland gave the King of France several coffee trees, which were taken to Bourbon Island (Reunion) by the French. It soon turned



out that the trees had changed: the leaves became green, without the reddish tint characteristic of tipika, and the grains became more rounded - this was the first mutation of the tipika, which was called bourbon.

French naval officer Gabriel de Clay brought coffee to America. Coffee tree seedlings came to the island of Martinique, and then coffee trees were grown in Colombia, Brazil, Jamaica, Guatemala and Cuba.

*Traditions of brewing coffee in different cultures.* Coffee is not just a drink, but a real ritual that unites people around their fragrant and rich taste. Each culture has developed a unique way of brewing coffee, investing in the process's traditions, history, and a special view of pleasure.

**Espresso** is the process of brewing coffee under high pressure. It involves the forced pumping of hot water through finely-ground coffee beans, which leads to a strong and concentrated drink. Starting in Italy, espresso has become an integral part of Italian culture and is now popular around the world, often serving as the basis for other drinks such as lattes and cappuccinos.

**The French press** is a device for brewing ground coffee beans in hot water, which allows you to get a drink with a rich and rich taste. Known in France as "cafetière," the French press is noted for its simplicity and ability to store natural oils and coffee flavours.

**Turkish coffee** stands out as a one-of-a-kind way to brew finely ground coffee using a special pot known as cezve. It is prepared with maximum attention to detail and has a deep connection with Turkish culture. The process involves boiling the beans with water and sugar, resulting in a crepe and flavorful coffee drink that is often enjoyed during intimate encounters.

**Pur-over** uses a more precise and relaxed approach to making coffee. This method includes the gradual pouring of hot water on coffee beans in a controlled way, allowing you to carefully highlight the taste properties. He is inspired by respect for the coffee culture in Japan, where accuracy and craft are highly valued.

Coffee occupies a special place in **Ethiopian culture**, going beyond the usual drink. The Ethiopian coffee ceremony includes roasting, grinding and brewing green coffee beans right in front of the guests. This solemn event symbolizes hospitality and deepens the bonds of friendship, often uniting communities as they share stories and create strong bonds.

Originating from Hanoi, **Vietnamese egg coffee** is an exquisite fusion of strong coffee and juicy egg yolks. This exceptional blend has gained worldwide recognition for its unique flavours. Coffee is brewed directly into a cup containing sweetened condensed milk and egg yolks, resulting in a smooth and creamy delight. He demonstrates the ingenuity of the Vietnamese, the love of coffee and the skill in creating wonderful desserts.

**Drip brewing** is a well-known and simple method. It involves pouring hot water into ground coffee beans, which are contained in the filter. Water is filtered through the grains, removing caffeine and aroma. Then the resulting coffee is collected in a pan or mug [3].

**Capillarity in the coffee brewing process.** The brewing process takes place under the pressure of steam seeping from the lower part through the ground coffee in



the middle part, rising to the upper part. Let the drink boil for a couple of minutes (but do not burn to bitterness). The influence of capillary forces on the extraction process. Capillary forces play an important role in the coffee extraction process, affecting the following factors:

1. Extraction speed: Capillary forces lift water through narrow channels in the coffee grounds, which speeds up the extraction process. The finer the coffee grind, the larger the contact surface with water and the stronger the effect of capillary forces.

2. Uniformity of extraction: Capillary forces ensure a more even extraction of coffee substances from the grounds.

This results in a better taste and aroma of the coffee.

3. Control of extraction: Thanks to capillary forces, the speed and degree of coffee extraction can be adjusted. For example, by changing the size of the coffee grind, you can influence the extraction time.

4. Effect on taste: Capillary forces can affect the taste of coffee by extracting various coffee substances from the grounds. For example, finely ground coffee can result in a more bitter taste, as capillary forces extract more caffeine and other bitter substances.

5. Use of capillary forces: There are different methods of coffee extraction that are based on capillary forces. For example, the pourover method uses capillary forces to slowly and evenly extract the coffee grounds from the grounds. It is important to note that capillary forces are only one of the factors that affect the coffee extraction process. Other factors such as water temperature, degree of coffee roasting and grind size also have a significant impact.

### **The role of capillarity in the formation of the taste and aroma of coffee.**

Capillarity is a phenomenon in which liquid rises or falls through narrow tubes or channels without wetting their walls. This phenomenon plays an important role in the formation of the taste and aroma of coffee.

1. Impact on extraction: Capillarity facilitates the extraction of coffee substances from ground coffee. As water passes through the coffee grounds, it fills the pores and channels of the coffee particles due to capillary forces. This leads to the dissolution of coffee substances in water, which forms the taste and aroma of coffee.

The size of the coffee grind affects capillarity. A finer grind has a greater specific surface area, resulting in greater capillary extraction. This can lead to a more bitter and astringent coffee taste.

Grinding uniformity is also important. If the grind is uneven, capillarity will act differently in different particles of the coffee grounds, which can lead to uneven extraction and an unbalanced taste.

2. Effect on aroma: Capillarity also affects the aroma of coffee. The aromatic compounds of coffee dissolve in water and rise through the capillaries to the surface of the coffee. These compounds then evaporate and are perceived by the sense of smell. The shape and size of the coffee container also affect the aroma. A narrow and tall container promotes the concentration of aromas, and a wide and low one disperses them.

3. Effect on taste: Capillarity affects the taste of coffee, affecting the extraction of coffee substances. Different coffee substances have different flavors and capillarity



can cause some substances to be extracted more than others. This can affect the taste balance of the coffee, making it more bitter, sour or sweet.

*Result:* Capillarity is an important phenomenon that affects the formation of the taste and aroma of coffee. It affects the extraction of coffee substances, as well as the aroma and taste of coffee. Understanding capillarity can help you make coffee with better taste and aroma.

**Things that affects coffee extraction.** Coffee extraction is the process of making desirable compounds such as caffeine, lipids, carbohydrates, acids to extract from coffee grounds. This system hides so many physical and chemical principles, that buying the same coffee beans and doing the same manipulations as a barista does to brew coffee can lead to unlikely result. Many people consider the barista's job as easy as pie. Well, Dr David Hoxley, a lecturer in the Department of Chemistry and Physics at La Trobe University and a member of the La Trobe Institute of Molecular Sciences says [4]: "Baristas have a tough job of deciding how to grind the coffee, how to pack it and how to do the tamping – it's a complex multivariate system. They've got beans coming in that may not always be the same, they've got humidity and on their feet they've got to work out how to bring it all together."

So, in short:

- Temperature
- Water chemistry
- Time
- The level of roast
- Grind size
- Pressure for espresso(tamping)

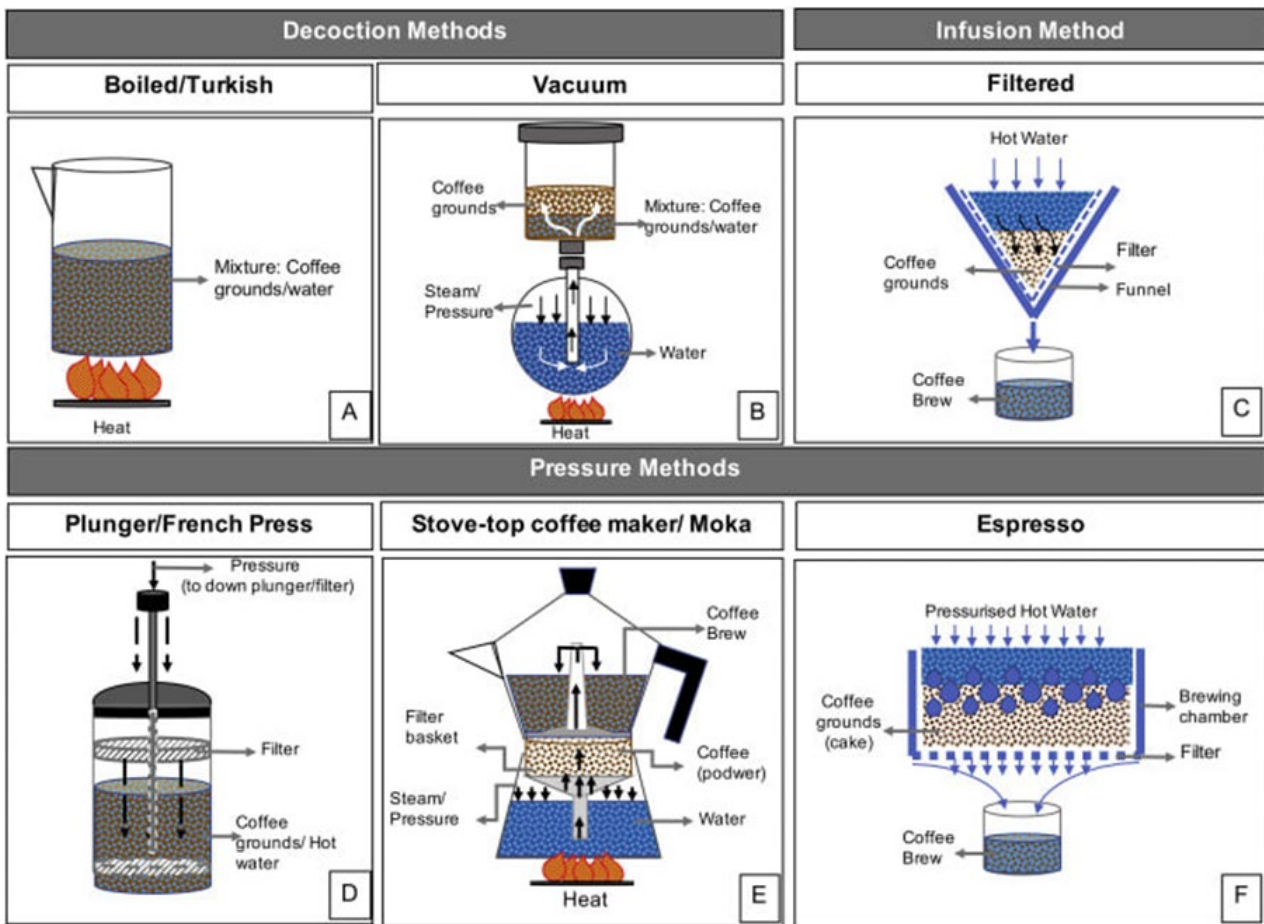
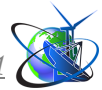
All of numbered above play crucial role in making the extraction hit the sweet point.

Going into details, a coffee that's under-extracted is quite sour, while over-extracted is really bitter. So the main aim is to balance this two things and get this sweet flavor.

*Temperature:* affects the rate of extraction. The higher temperature of water, the quicker all compounds extract. But it should be remembered that it's tougher to control the process of brewing, in order not to make the taste too bitter. On the flipside, if your temperature is too low, coffee will be under-extracted, that makes it taste sour and lack of body (Cold brew is an exception, due to balanced time aspect).

*Water chemistry:* The Specialty Coffee Association's water standards give an ideal target as water with the following characteristics: no odor or color; zero chlorine; a pH of 7.0; alkalinity of 40 ppm; and calcium hardness of 50-175 ppm CaCO<sub>3</sub>. Unless you're interested in researching water chemistry, all you need to know is that the ideal water for brewing coffee is clean, soft and free of chlorine.

*Brewing time:* everything depends on the way coffee is made. In a drip system, the contact time should be approximately 5 minutes. If you are making your coffee using a French Press, the contact time should be 2-4 minutes. Espresso has an especially brief brew time – the coffee is in contact with the water for only 20-30 seconds.



The level of roast:



Roasting is needed to unlock the flavor of beans. Heat is required to trigger chemical reactions to get compounds that are soluble in water.

*Grind size:* larger, coarse particles are more permeable, which means the hot water flows more quickly through them. And if the water flows too quickly, you're likely to get an under-extracted coffee. And vice versa, using smaller particles makes the water slow down its flow. But when these fine grinds are steeped in water for too long, more of the bitter, caffeine flavor seeps out – resulting in an over-extracted coffee.

*Pressure for espresso (or tamping)* – is a process that helps to compress the aggregate of different practical sizes, that is required to resist the hot water. Shortly, with tamping you can also adjust the water's speed, which influences on coffees' taste.

**References:**

1. [Electronic resource]: <https://kavoposhta.com/blog/istoriia-pokhodzhennia-kavy/>
2. [Electronic resource]: [https://papakava.ua/ua/blog/istoriya\\_poshyrennya\\_kavy\\_u\\_sviti](https://papakava.ua/ua/blog/istoriya_poshyrennya_kavy_u_sviti)
3. [Electronic resource]: <https://cuppanord-com.translate.google.com/blog/coffee-culture-around-the-world-different-brewing->





methods/? x\_tr\_sl=en& x\_tr\_tl=uk& x\_tr\_hl=uk& x\_tr\_pto=sc

4. [Electronic resource]: <https://www.latrobe.edu.au/nest/science-coffee-physics-can-perfect-caffeine-hit/>

Стаття відправлена: 11.04.2024 р.

© Замкова С., Сосновська А., Коваль А., Стецюра Д., Матвєєва Т.В.



UDC 629.238

**PROSPECTS FOR USING HYDROGEN AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE****ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ****Volovyk D.M./Воловик Д.М.***Student / студент***Koshlai A.I./Кошлай А.І.***Student / студент***Yerokhina K.V./Єрохіна К.В.***Student / студент***Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.***PhD / к.пед.н, доцент кафедри**ORCID: 0000-0003-4079-4901**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

**Abstract.** This article discusses the potential of hydrogen as a renewable energy source. Here, the importance of the development of hydrogen energy in the context of energy, environmental and climate problems of today is shown. The history of hydrogen, its types, the simplest method of extraction are discussed. The experience of different countries in using hydrogen as a renewable energy source is also highlighted. In addition, the prospects for the use of this fuel in Ukraine, the advantages of hydrogen compared to traditional energy sources are explored, and the need for state support and international cooperation to achieve the full potential of this renewable resource is emphasized. The article calls for attention and investment in the development of hydrogen energy as a key aspect of creating a sustainable and clean energy future.

**Keywords:** hydrogen, alternative energy sources, environment, energetics, climate, fossil fuel.

**Introduction.**

Modern society until the end of the 20th century faced energy problems that led to some extent even to crises. All traditional sources of energy will surely run out, especially with the constantly growing needs of people. Humanity is trying to find new sources of energy that would be beneficial to everyone's relations: ease of extraction, cheapness of transportation, environmental cleanliness and renewability.

An equally important reason for the need to develop alternative energy sources is environmental and climate problems, in particular the global problem warming. Its essence lies in the fact that carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), released during the burning of coal, oil and gasoline, creates the so-called greenhouse effect.

Substantial aggravation of energy and environmental problems, which is observed both in Ukraine and throughout the world, brings to the fore the problem of wider use of alternative energy sources. One of these in the world, while at the pilot stage, is the introduction of the hydrogen energy industry.

It is known that hydrogen is the most common element on the earth's surface and beyond. Therefore, hydrogen is an extremely energy-intensive resource. He burns at the same temperature as natural gas. At the same time, during combustion, substance per unit mass releases almost 3.5 times more heat than when hydrocarbon oil or coal

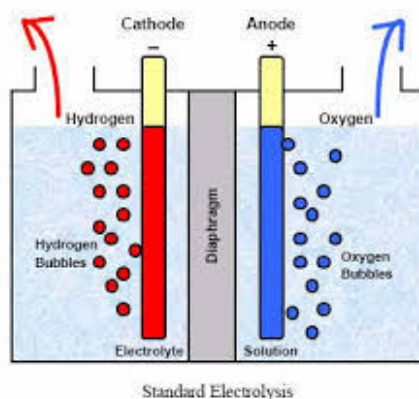


are burned. Hydrogen fuel is much more efficient than diesel or aviation fuel. Moreover, hydrogen as the resource contains a high ecological value, since the product of its combustion is water.

Therefore, in this article, we will consider the prospects of using hydrogen as an energy source.

**History of Hydrogen.** Hydrogen was first identified as an element in 1766 by the British scientist Henry Cavendish after he isolated hydrogen gas by reacting metallic zinc with hydrochloric acid. In 1788 building on the discoveries of Cavendish, French chemist Antoine Lavoisier gave hydrogen its name, which was derived from the Greek words - “hydro” and “genes,” meaning “water” and “born of.” In the 1920s, the German engineer Rudolf Erren redesigned the interior internal combustion engines of trucks, buses and submarines to use hydrogen or hydrogen mixtures. British scientist and Marxist writer J.B.S. Haldane introduced the concept of renewable hydrogen in his article “Science and the Future”, suggesting that “the will large power plants where there is excess during windy weather electricity will be used for the electrolytic decomposition of water on oxygen and hydrogen”. In 1973 the OPEC oil embargo and the resulting supply shock suggested that the era of cheap petroleum had ended and that the world needed alternative fuels. In 1990, the world's first hydrogen production plant based on solar cells Solar-Wasserstoff-Bayern, research and testing center in south Germany began to act [1].

**Simplest method of producing hydrogen.** Hydrogen is a gas that can be obtained from water. It is the simplest and lightest of all chemical elements, which is an ideal fuel. When hydrogen is burned, water is formed, which can be decomposed again into hydrogen and oxygen, without any pollution of the environment. The method by which hydrogen can be extracted from water is called electrolysis. In figure 1 we can see two electrodes, which are inserted in a tank filled with water; a cathode that carries a negative charge in addition to an anode that carries the opposite charge. In order to start the decomposition an electric current is passed through the electrodes. Hydrogen will leave the apparatus in the side where the cathode is located, as soon as it is positively charged in the water molecule [1].



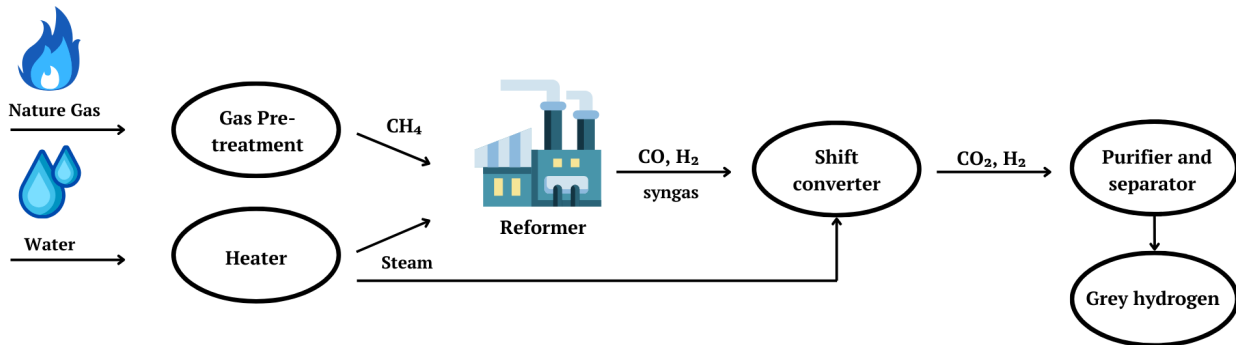
**Figure 1. Hydrogen production using electrolysis**

**Type of hydrogen.** Hydrogen is often classified by different colours to describe its production technologies, e.g. green, grey, blue, etc. As the process can differ in the

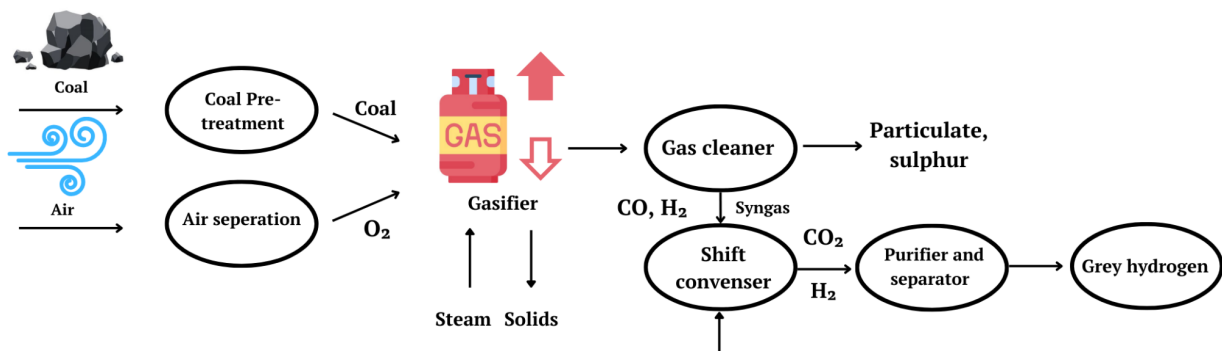


type of energy used, the production costs and associated emissions can be very different. We will consider the main colours: grey, green, blue, blue, turquoise and purple.

**Grey hydrogen.** Currently, grey hydrogen is the most common. Grey hydrogen produced by steam reforming of natural gas or coal gasification without carbon capture, use and storage (CCUS). According to statistics, more than 40% of grey hydrogen is a by-product of other chemical processes. Typically, hydrogen produced as a by-product is unofficially classified as white hydrogen by the North American Freight Efficiency Council. Grey hydrogen is in demand in the petrochemical industry and for ammonia production. And the demand for this hydrogen in these industries has grown over the past 70 years. The main disadvantage of grey hydrogen is the very high CO<sub>2</sub> emissions generated during hydrogen production. About 2% of the world's coal production and 6% of natural gas are used to produce grey hydrogen per year. Additional methods of hydrogen production include partial oxidation of methane (POM), partial oxidation (POX) of oil products and autothermal reforming (ATR). In the literature, this hydrogen is referred to as brown and black hydrogen [2].



**Figure 2. Schematic of the steam reforming of natural gas (SMR) production process**



**Figure 3. Schematic production process of coal gasification**

**Blue hydrogen.** Blue hydrogen is produced by steam reforming methane using natural gas or biomass. For hydrogen to be considered blue, a hydrogen production facility only needs to install a CCUS device to capture it. The exact amount that needs to be captured is not defined. Today, blue hydrogen is seen as a technology before the full transition to green hydrogen, which is why carbon capture and sequestration has been intensively promoted for several years. Although this technology leads to emission reductions, it is far from ideal climate neutrality. At the



moment, it is difficult to accurately state the environmental impact, as it largely depends on which parts of the hydrogen production process are included. It is known that blue hydrogen only halves grey hydrogen emissions [2].

**Turquoise hydrogen.** In contrast to the traditional hydrogen production methods already mentioned, the by-product of turquoise hydrogen via methane pyrolysis is solid carbon in the form of carbon filaments or carbon nanotubes, which can be used for further production process and is much easier to store, hence this type of hydrogen will leave a smaller carbon footprint. Methane pyrolysis, which can be divided into three categories of processes, namely thermal decomposition, plasma decomposition (Kwerner process) and catalytic decomposition, has been known for decades and has been technically implemented in several processes. However, only in recent years has there been a growing interest in hydrogen production mainly by thermal decomposition as the most developed process.

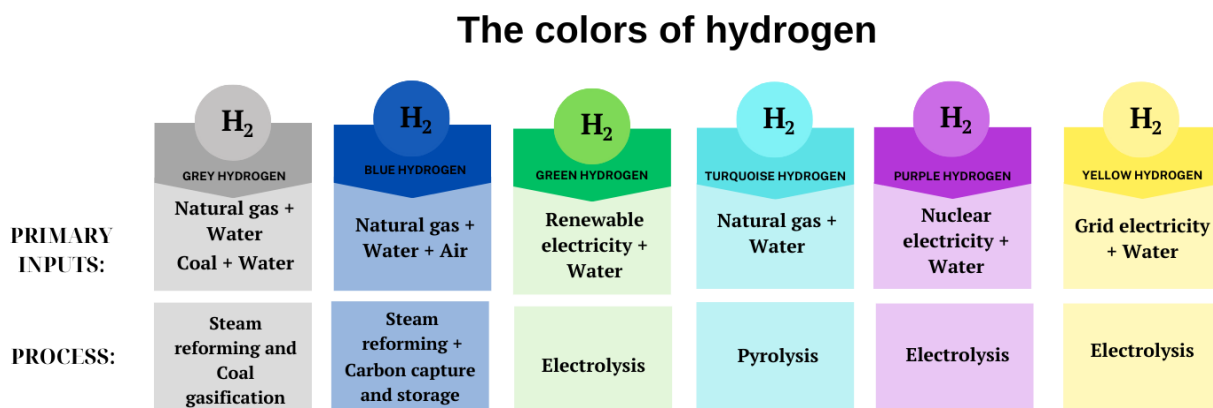
**Green hydrogen.** Green hydrogen is a new technology that solves the problem of greenhouse gas pollution. This hydrogen is produced from water by electrolysis using electricity from renewable sources. Due to its diverse applications, green hydrogen plays an important role in the transition to net zero.

Net zero is the ideal state when the amount of greenhouse gases emitted into the atmosphere is equal to the amount absorbed. To prevent the planet from continually - and catastrophically - warming, all industries must achieve net zero emissions.

Also, industries that are highly dependent on fossil fuels, such as heavy industry or transportation, will benefit greatly from green hydrogen [2, 3].

**Purple hydrogen.** Purple hydrogen can be produced by electrolysis using an atomic current. Although hydrogen production from nuclear electricity is not in demand in European hydrogen strategies, it could be a practical alternative in some regions of the world. Also, the construction of a hydrogen production plant could solve the problem of nuclear power plants being phased out and provide additional energy storage capacity when seasonal storage is needed. In some literature, violet hydrogen is also called yellow hydrogen. However, a more common description of yellow hydrogen for electrolysis using grid electricity [2].

The basic types of hydrogen are shown in figure 4.



**Figure 4. Hydrogen colors**

**Other hydrogen colours.** The most developed methods of hydrogen production today are thermochemical conversion processes of biomass, with gasification being



the most explored technology for hydrogen production from biomass. Various biological technologies such as microbial electrolysis and dark fermentation are also being investigated. To date, very little hydrogen has been produced from biomass, which is the reason why this process has not been assigned a separate colour, according to various scientists.

Researchers have identified two more colours of hydrogen: aqua and white. Aqua hydrogen is produced from oil sands and oil fields using a new process that does not emit carbon dioxide. The colour was chosen as a middle ground between blue and green, which means that hydrogen is produced from fossil fuels (blue) but without carbon emissions (green). White hydrogen is the direct splitting of water molecules using concentrated solar energy. But these colours are still at the basic research stage and will be tested and applied in Saudi Arabia [2].

**Experience of different countries in the use of hydrogen.** January 2022, the International Renewable Energy Agency (IRENA) releases the report "The Geopolitics of Energy Transition: The Hydrogen Factor", which analyses the political and economic changes taking place in the energy sector. It lists the leading countries that are promoting the initiative to switch to clean hydrogen fuel.

**China.** China is a leader in hydrogen consumption and production, with an annual consumption of over 24 million tonnes. However, the country mostly produces grey hydrogen, which is made from fossil fuels, but since 2019, green hydrogen projects have been actively developed.

China also has the world's third-largest fleet of fuel cell electric vehicles (FCEV), and published its first hydrogen roadmap in 2016. This country is very active in the development of fuel cell trucks and buses [4].

**The United States of America.** The US is the second largest hydrogen producer and user in the world after China, accounting for 13% of global demand. Some states, such as California, have been supporting the growth of the FCEV market in the country for more than a decade through various initiatives, such as the Clean Vehicle Rebate Programme. The US was the world leader in this area until 2020 [4, 5].

**Japan.** In 2017, Japan became the first country to present a national hydrogen strategy as part of its ambition to become the world's first "hydrogen society" by introducing this fuel in all industries.

The Japanese government supports this initiative and is willing to invest in hydrogen and fuel cell technologies. For example, in 2020, the government set mobility targets of 800,000 FCEV and 900 hydrogen filling stations by 2030, totalling \$670 million.

However, the country mostly imports hydrogen from abroad as it lacks the resources to produce green hydrogen on a large scale [4, 5].

**South Korea.** South Korea has identified green hydrogen as a key driver of economic growth for 2019. The country aims to become a global leader in the production and deployment of FCEV and large-scale stationary fuel cells for hydrogen energy production.

Its Green New Deal contains an ambitious target of deploying 200,000 FCEVs by 2025, 20 times the 2020 figure.

Last year, South Korea passed a law aimed at promoting hydrogen vehicles,



charging stations and fuel cells.

The government has ambitious plans for the future to meet the country's energy needs, for example, by 2030, hydrogen will supply 10% of the country's cities, counties and towns, by 2040 its share will increase to 30%, and by mid-century it will become the largest single source of energy in the country [4, 5].

**The European Union.** The EU has quite ambitious goals in the European Green Deal, where the hydrogen strategy is the basis for achieving the main goal. For example, by 2023, the Union aims to install 40 gigawatts of renewable hydrogen electrolysis capacity.

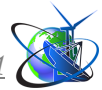
The European Clean Hydrogen Alliance has been established to support investment and scale-up of green hydrogen projects, as the European Union aims to become an industrial leader in clean hydrogen. Different member states have the potential to become major exporters, importers or transit hubs for hydrogen.

**India.** Green hydrogen could help India take a big step towards energy independence. As the country begins to shift towards renewable energy sources and away from imported fossil fuels.

The government is considering legislative changes that would require refineries and fertiliser producers to use a minimum quota of green hydrogen in their production [5].

**Other countries.** Countries such as Chile, Morocco and Namibia are major exporters of emission-free green hydrogen. At the same time, fossil fuel exporters such as Oman, the United Arab Emirates (UAE) and Saudi Arabia are eager to use clean hydrogen to diversify their economies [4, 5].

**Prospects for using hydrogen as a fuel in Ukraine.** Ukraine has many opportunities for relatively cheap production of renewable energy. Hydrogen can be considered a universal fuel for vehicles. It is absolutely ecologically clean. Hydrogen can replace gasoline, diesel fuel and fuel oil in all types of heat engines. The European Hydrogen Strategy, which is part of the European Green Deal adopted in 2020 by the European Parliament, makes transitioning to a green hydrogen economy a key goal. Its overall purpose is to make Europe climate neutral by 2050. This strategy can protect biological diversity, and green the economy. Ukraine possesses the prerequisites for large-scale and export-oriented green hydrogen production. Besides, Ukraine has strong points for building a hydrogen economy: a favourable geographical location, large nuclear power plants, the presence of steel, fertilizer and cement production, an extensive gas transportation network, large geological gas storage facilities near the EU. Ukraine's natural gas storage system is the third largest in the world in terms of capacity and allows storing fuel not only for the country, but also for the EU. In the 2x40 GW Initiative, Hydrogen Europe proposes a strategy for a fast scale-up of the hydrogen economy in the EU. The strategy proposes the installation of 8 GW electrolyser capacity destined for export, 21 TWh of green hydrogen, which is 12% of the EU demand in 2030 outlined in the European Hydrogen Roadmap, could be produced annually, assuming 3,500 full load hours operating at an efficiency rate of 75%. Given Ukraine's status as a candidate for EU membership and the requirements of the "European Green Course", the development of the hydrogen economy is of strategic importance for the country. Hydrogen energy



would contribute to the solution of problems in recovery of Ukraine's economy, especially against the background of Russia's war against Ukraine [6].

**Challenges in the distribution of hydrogen.** Hydrogen holds great promise for the future as an alternative, environmentally friendly and clean fuel. Every year, more and more global governments and companies are investing in hydrogen energy technologies. Hydrogen is a leak-prone gas with a powerful warming effect that is often ignored. To prevent this, hydrogen must be produced cleanly and used wisely.

Consider the main problems connected with hydrogen fuel:

**1. Hydrogen emissions.** Many people do not realise that hydrogen can contribute to global warming because when it is released into the atmosphere before being used or burned, it reacts with other chemicals to create a warming effect.

And humanity is only now beginning to understand how powerful this effect can be. For example, a study by scientists has shown that on a time scale of a decade or two, the power of hydrogen warming is much greater than previously recognised.

This poses a major challenge for the industry: as hydrogen molecules are so tiny, they are prone to leakage.

All of this suggests that minimising leaks should now be a priority for every hydrogen project.

One of the solutions to the leakage problem is to produce hydrogen close to the place of its operation, because the further the hydrogen has to be delivered, the greater the risk of leakage [7].

**2. Hydrogen production.** Currently, the hydrogen production process is energy-intensive and results in significant climate pollution.

However, green and blue hydrogen are produced under conditions that drastically minimise methane and CO<sub>2</sub> emissions.

Studies have shown that with high levels of green hydrogen leakage, climate performance will be better for another 20 years than with fossil fuel pollution, but not enough to be considered climate neutral.

Whereas in the case of blue hydrogen, with a large permanent leakage, this type of hydrogen will actually increase the 20-year warming impact.

So, if hydrogen production and distribution systems are not managed properly, this "clean" fuel can have a very bad impact on the climate in the short term [7, 8, 9].

**3. Impacts of hydrogen on societies.** When developing hydrogen projects, water consumption and air pollution from hydrogen production and use must be taken into account. For this reason, the development of hydrogen production should minimise harm to communities and society and address local concerns [7].

In the context of the global transition to clean energy, hydrogen is therefore best used where clean electricity cannot do the job on its own. Hydrogen can be used in heavy industry - for example, in steel and cement production - or as a feedstock for low-carbon fuels for ships and aircraft. In some cases, diverting electricity from the grid is not a sensible approach, as electricity can be used directly to meet these energy needs more efficiently and at lower cost.

Green hydrogen, which requires green electricity to produce, is currently in short supply and is likely to remain so for many years. Instead of placing big bets on hydrogen, renewable energy sources should be seriously considered.





The production of blue hydrogen from gas requires not only the prevention of methane emissions, but also the capture and storage of associated carbon dioxide, which is currently very limited.

The production of pure hydrogen is still a long way off, but as the industry continues to develop, it is important to ask the hard questions and make informed decisions to ensure that global investment in hydrogen is justified.

### **Conclusion.**

Highlighting the prospects of using hydrogen as a renewable energy source, we can conclude that this direction has significant potential in solving energy, environmental and climate problems. Hydrogen, as the most abundant element, is an important resource for the future, as its use can help reduce dependence on traditional energy sources, reduce carbon dioxide emissions, and reduce negative environmental impacts.

Hydrogen energy shows great potential in the fields of transport, industry and life support. However, technological, economic and infrastructural challenges must be overcome in order to achieve the full development of this direction. This requires government support, investment in research and development, and promotion of international cooperation in the field of hydrogen energy.

Overall, hydrogen can be an important step towards creating a sustainable, efficient and clean energy future, and already today it deserves the attention and support from governments, scientific institutions and industrial enterprises.

### **References:**

1. Kovalenko N., Hutsol T., Kovalenko V., Glowacki S., Kokovikhin S., Dubik V., Mudragel O., Kuboń M., Tomaszewska-Górecka W. (2021). Hydrogen Production Analysis: Prospects for Ukraine. *Agricultural Engineering*, 25(1) 99-114. IDO: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0008>.
2. Ajanovic A., Sayer M., Haas R. (2022). The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. IDO: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>.
3. *What is hydrogen energy?* (2023). McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-hydrogen-energy>.
4. *Which countries could become the world's hydrogen superpowers?* (2022). World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/clean-hydrogen-energy-low-carbon-superpowers/>.
5. IRENA (2022), *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
6. Rudolf M., Bondaruk V., Crone K. (2021). *Green Hydrogen in Ukraine: Taking Stock and Outlining Pathways*. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
7. Leland A. (2022). *Can hydrogen live up to its clean energy promise? Here are 3 key challenges*. Environmental Defense Fund. URL: <https://www.edf.org/blog/2022/12/13/can-hydrogen-live-its-clean-energy-promise-here-are-3-key-challenges>.
8. Romm J. J. (2004). *The Hype about Hydrogen*. *Issues in Science and*



Technology. URL: <https://issues.org/romm-hydrogen-clean-energy/>.

9. Morris J. (2021). *Why Are We Still Talking About Hydrogen?* Forbes. URL: <https://www.forbes.com/sites/jamesmorris/2021/02/06/why-are-we-still-talking-about-hydrogen/?sh=698516af7f04>.

Стаття відправлена: 17.04.2024 р.

© Воловик Д.М., Кошлай А.І., Єрохіна К.В., Матвєєва Т.В.



УДК 528.92

## APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR FORECASTING THE OCCURRENCE OF FLOODING ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ ПАВОДКІВ

Kravets O.Ya. / Кравець О. Я.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7861-0640

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, Карпатська 15, 76019

**Анотація.** В роботі розглянуто проблему прогнозування та моделювання процесу виникнення паводків. Розглянуто основні природні та антропогенні чинники виникнення паводків. Пропонується здійснювати аналіз можливості виникнення та моделювання ходу паводка із застосуванням геоінформаційних технологій. Виділено ключові параметри моделі прогнозування формування паводкового стоку, а також перелік задач, які необхідно розв'язати для реалізації запропонованого підходу. Зокрема, це створення великої бази даних щодо ключових характеристик моделі, а саме: параметри рельєфу (напрямок і крутизна схилу), властивості ґрунтів, рослинного покриву та підстилаючих поверхонь, кількість опадів. Запропонована модель може стати основою для створення спеціалізованого програмного забезпечення для прогнозування паводків. В статті наведено загальну схему роботи майбутньої програми.

**Ключові слова:** паводок, геоінформаційні технології, модель, ґрунти, вологоємність, крутизна схилів.

**Вступ.** Паводок – це фаза гідрологічного режиму ріки, яка характеризується швидким, відносно короткотривалим підвищенням рівня води в річищі під час сильних злив, тривалих дощів або інтенсивного танення снігу в період відлиги, на яке накладаються дощі. Сила паводків значною мірою залежить від інтенсивності і тривалості атмосферних опадів або запасу води у сніговому покриві та інтенсивності його танення [4].

Проблема оцінки та прогнозування ходу паводків є важливою та актуальною задачею для багатьох країн світу. Також актуальною є ця проблема і для території України та, зокрема, Прикарпаття. Аналіз даних гідрометеорологічних спостережень та літературних джерел свідчить, що в останні 100 років було зафіксовано понад 10 катастрофічних паводків на цій території.

Паводки в басейні Дністра виникають під дією складного комплексу взаємопов'язаних природних та антропогенних чинників. Основними природними чинниками паводків є кількість, інтенсивність, тривалість випадання атмосферних опадів, а також величина території, охопленої дощами, на якій спостерігається формування поверхневого стоку води, крутість схилів, стан рослинного покриву, властивості ґрунтів і гірських порід. Головними антропогенними чинниками виникнення паводків є зміна характеру рослинного покриву в наслідок вирубування лісів, розорюванням схилів з крутизною



більше 3°, надмірного випасання худоби, зміна стану річищ тощо.

*Метою та завданням* даного дослідження є розроблення прогностичної моделі процесу формування паводкових стоків для її подальшої практичної реалізації у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення для прогнозування паводків.

*Об'єктом дослідження* є процес формування паводкових стоків, а предметом – прогностичне моделювання процесів формування паводкових стоків з використанням геоінформаційних технологій [1-4].

**Основний текст.** Аналізуючи питання моделювання та прогнозування паводкових стоків можна зробити наступні висновки.

1. Існуючі моделі приблизні, базуються або на статистичних даних, яких в даній галузі зібрано недостатньо, або на численних емпіричних допущеннях, що робить їх дуже локальними (прив'язаними до локальних територій).
2. Існуючі моделі не враховують інтенсивні антропогенні зміни в навколишньому середовищі.
3. Існуючі системи прогнозування паводкових явищ на основі вимірювальних пунктів та контролю кількості опадів можуть бути ефективні, але дають лише короткотерміновий прогноз по факту наближення безпосередньої загрози життю та майну людей, що є недостатнім.
4. Більш точний підхід з використанням геоінформаційних технологій дозволяє аналізувати різні можливі сценарії паводків, але навряд чи може напряду бути застосованим в якості інструменту прогностичного моделювання.

Разом з тим, сучасні інформаційні засоби дозволяють збирати, нагромаджувати та аналізувати значну кількість різної інформації. Пропонується розробити підходи до створення моделі даних предметної області для задачі прогнозування паводків шляхом найточнішого врахування всіх можливих параметрів.

Для цього необхідно:

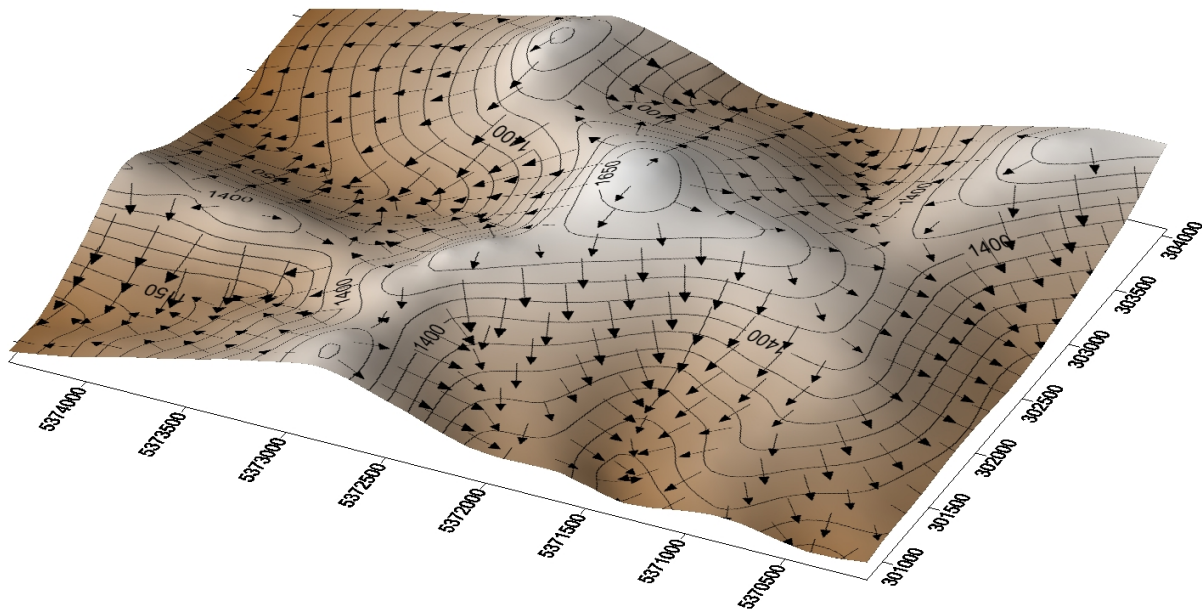
- проаналізувати предметну область та вибрати ключові параметри;
- проаналізувати можливість одержання характеристик параметрів, можливість їх моніторингу та моделювання в умовах недостатньої кількості інформації;
- вдосконалити модель формування паводкового стоку на основі існуючих;
- розробити вимоги до програмного забезпечення інформаційної системи для реалізації запропонованого підходу до вирішення поставленої задачі.

В якості ключових параметрів моделі прогнозування формування паводкового стоку обрано наступні параметри.

1. Максимальний кут нахилу поверхні землі та відповідний напрям формування можливого поверхневого стоку для виділеної частини території з однаковими характеристиками, які наведено нижче. Може бути визначений методами геодезичних вимірювань, за відповідними картами, з використанням даних цифрових моделей рельєфу. На рисунку



- 1 наведено 3D-модель рельєфу з візуалізованими напрямками можливого поверхневого стоку.
2. Водопроникність поверхневого шару ґрунту, а саме: здатність пропустити за певний проміжок часу максимальну кількість води так, щоб це не призводило до формування поверхневого стоку. Вона визначатиметься типом ґрунту, а також залежатиме від його вологості. На рисунку 2 наведено відповідну класифікацію ґрунтів.
3. Вологість ґрунту та наявного рослинного покриву.
4. Вологоємність ґрунту, а саме - здатність увібрати певний об'єм води за одиницю часу одиницею площі виділеної ділянки. Визначатиметься характеристиками та потужністю ґрунтового шару, типом підстилаючої поверхні (рілля, населені пункти, водні об'єкти), характером рослинності (ліси, чагарники, луки) тощо. На рисунку 3 наведено класифікацію типів поверхонь з точки зору вбирання ними води.
5. Кількість опадів. Визначається на метеостанціях з допомогою дощомірів вимірювачів рівня опадів [4,5].



**Рисунок 1 - 3D-модель рельєфу з візуалізованими напрямками можливого поверхневого стоку**

*Авторська розробка*

Для моделювання паводкового стоку пропонується поділити площу водозбору на як завгодно малі (розмір обмежений лише наявними обчислювальними ресурсами) ділянки з однаковими (відхилення не більше 10 %) ключовими параметрами моделі. Розрахунки об'ємів паводкового стоку будуть виконуватись для цих окремих елементів водозбору [4,5]. Об'єм стоку в кожному елементі визначатиметься таким чином:

$$V_i = V_r + \sum V_{i+n} - V_s - V_p, \quad (1)$$

де  $V_i$  – об'єм стоку з поверхні  $i$ -го елемента;

$V_r$  – об'єм опадів;

$V_{i+n}$  – об'єм стоку з поверхні сусідніх елементів;



$V_s$  – об’єм води, що поглинається ґрунтом;

$V_p$  – об’єм води, що поглинається рослинним покривом.

Авторська розробка

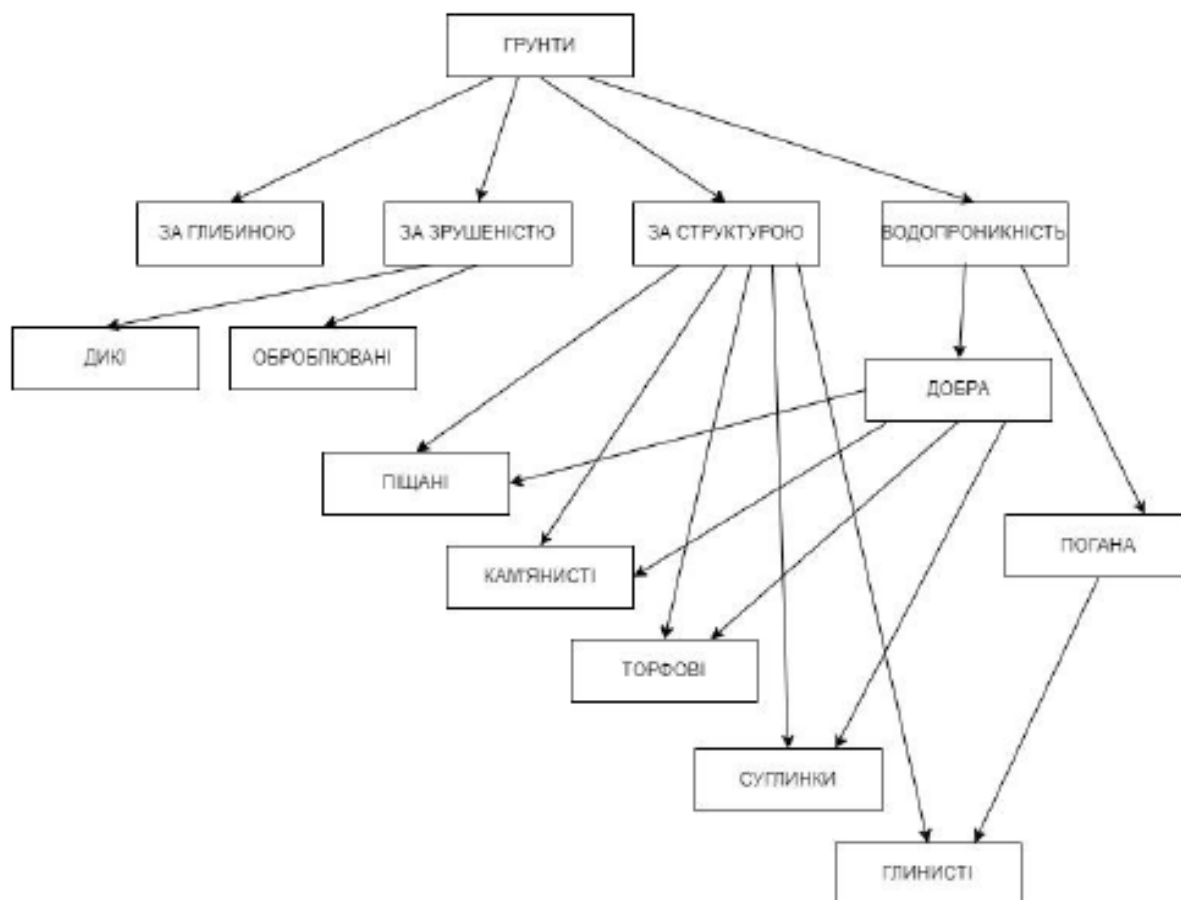


Рисунок 2 – Класифікація ґрунтів

Авторська розробка

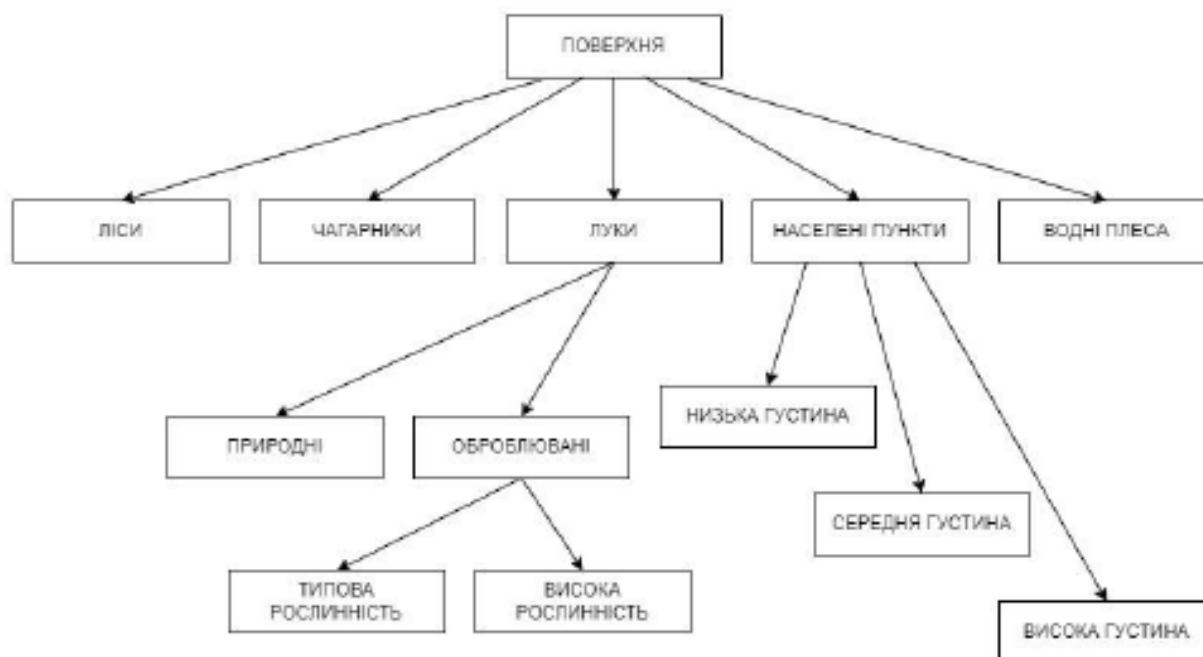


Рисунок 3 – Класифікація типів поверхонь

Авторська розробка



Це дозволить аналізувати ймовірність формування паводкового стоку на основі моніторингу кількості опадів, а також здійснювати прогнозування для різних типів територій. Фіксація кількості опадів буде одним з найважливіших факторів, що впливатиме на точність прогнозу. При відсутності достатньої кількості даних вимірювань за наявності передумов (значні опади на всій площі водозбору) для встановлення кількісних характеристик опадів можуть бути використані методи двомірної апроксимації по наявних даних.

Таким чином, ключовими характеристиками, які необхідно визначати є вологоємність рослинного покриву, вологоємність підстилаючих ґрунтів, кількість опадів та поточна вологість [4].

На рисунку 4 наведено загальна структурну схему роботи запропонованої моделі.

Реалізація запропонованої моделі передбачає розв'язання наступних задач:

- вибір методів та засобів оцінки параметрів ґрунтів, їх поточної вологості;
- вибір методів та підходів до оцінки параметрів рослинності;
- вибір методів оцінки опадів;
- вибір методу приблизної оцінки характеристик опадів для кожного виділеного елемента на основі наявних даних;
- створення інформаційної системи в складі основних елементів – програмного, технічного та інших забезпечень [4].

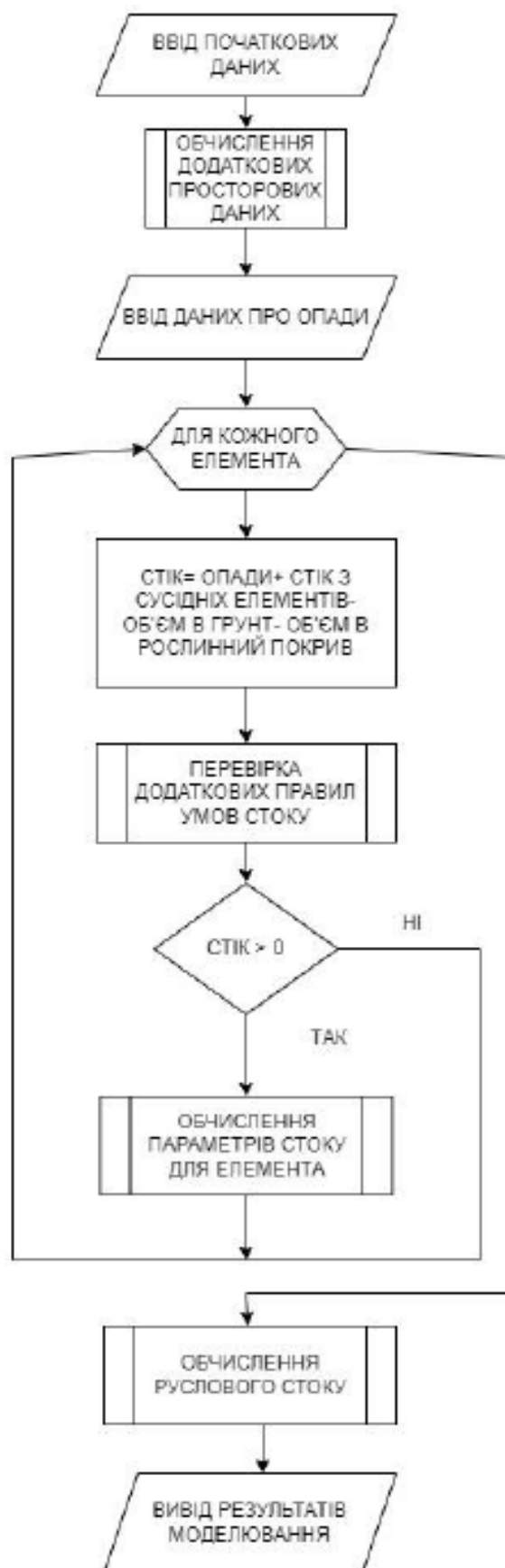
**Висновки.** Отже, в основі запропонованого підходу лежить припущення, що паводковий стік – це надлишок рідких опадів, який не може бути увібраний ґрунтами та лісовим покривом. Його реалізація базується на використанні геоінформаційних технологій та акумуляції і моніторингу значної кількості даних про будову земної поверхні, рослинний покрив та кількість опадів. Тобто, для реалізації запропонованої системи прогнозування необхідно створити базу даних, яка міститиме масив інформації щодо ключових характеристик моделі. Запропонована модель може стати основою для створення спеціалізованого програмного забезпечення для прогнозування паводків [4].

### Література:

1. Garorte L., Bras R.-L. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models. *Journal of Hydrology*. 1995. P.279-306.
2. Glenser M., Klein U., Fritsch D., Strunz G. Complex analyses methods in hybrid GIS using uncertain data. *GIS*, 2, 2000 – P. 22-30.
3. Кравець О. Я. Алгоритм прогнозування паводкового стоку. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. № 1. Київ. 2005. С. 33-36.
4. Кравець О. Я., Незамай Б. С. Моделювання процесу формування паводкового стоку. // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Стан, проблеми та перспективи розвитку науки, освіти та технологій»*. – 20 лютого 2024 р., м. Ізмаїл, Україна. С. 63-64.
5. Кравець О. Я., Незамай І. С. Ідентифікація параметрів моделі прогнозування паводків та аналіз можливості їх оцінювання. // *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*



«Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості». – 12 жовтня 2023 р., м. Івано-Франківськ. С. 191-192.



**Рисунок 4 – Загальна структурна схема роботи програми**

Авторська розробка





**Abstract.** *This study considers the problem of forecasting and modeling the process of flood occurrence. The main natural and anthropogenic factors of floods are considered. It is proposed to carry out an analysis of the possibility of the occurrence and modeling of the course of the flood using geoinformation technologies. The key parameters of the model for predicting the formation of flood flow are highlighted, as well as the list of problems that must be solved for the implementation of the proposed approach. In particular, it is the creation of a large database on the key characteristics of the model, namely: relief parameters (direction and steepness of the slope), properties of soils, vegetation and underlying surfaces, rainfall. The proposed model can become the basis for creating specialized software for flood forecasting. The article provides a general scheme of the future program.*

**Key words:** *flood, geoinformation technologies, model, soils, moisture content, steepness of slopes.*

Стаття відправлена: 13.03.2024р.

© Кравець О.Я.



УДК 681.05.03:681.5

## DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR THE OPTIMIZATION OF WELL DRILLING TIME BASED ON THE DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЧАСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИНИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Karpinets V.I. / Карпинець В.І.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019

**Анотація.** У роботі розглядається алгоритм оптимізації часу буріння свердловини з використанням методу динамічного програмування. Робота визначає актуальність проблеми оптимізації буріння у контексті видобутку вуглеводнів та досліджує можливості покращення ефективності цього процесу.

**Ключові слова:** алгоритм оптимізації, динамічне програмування, математична модель оптимальне керування.

**Вступ.** Однією з ключових галузей розвитку сучасної енергетики є видобуток вуглеводнів з підземних родовищ, що вимагає вдосконалених технологій буріння свердловин. Ефективність цього процесу напряму впливає на вартість видобутку та загальну продуктивність видобувних площадок. У зв'язку з цим актуальною стає задача розробки алгоритму оптимізації часу буріння свердловини. Метод динамічного програмування (МДП) вважається потужним інструментом для вирішення задач оптимізації в різних галузях, включаючи буріння свердловин. Основною метою цього дослідження є розробка алгоритму оптимізації часу буріння свердловини з використанням методу динамічного програмування [1÷4].

### Основні дослідження.

Моделювання задачі: створення математичної моделі, що відображає основні параметри буріння, такі як глибина свердловини, характеристики ґрунтів та обладнання.

Перейдемо до розгляду моделювання задачі оптимізації. Потрібен мінімізувати функціонал якості, який має вигляд [4] :

$$T = \int_{h=0}^H \frac{1}{v(h)} dh \rightarrow \min \quad (1)$$

Запишемо залежність швидкості буріння з урахуванням зносу долота для заданого інтервалу  $T$  при управлінні стаціонарним об'єктом у вигляді:

$$\frac{dh}{dt} = f_{fuzzy}(n(t), P(t), p_w(h(t))) \cdot e^{-w(t)} \quad (2)$$

де  $w$  - нарахування зносу на глибині  $h$ ; на якій знаходиться в даний момент долото, яке задається як:



$$w(t) = \int_{\tau=0}^t \theta_{fuzzy} \left[ n(\tau), P(\tau), K_{a\delta p}(h(\tau)) \right] d\tau. \quad (3)$$

Стан системи на глибині  $h$  характеризується вектором  $x = \langle w, d \rangle$ , де  $d$  - номером долота. Вектор управляючих впливів  $u = \langle P, n, S_d \rangle$  складають осьове навантаження на долото, частота обертання долота, параметр, що позначає зміну долота:  $S_d = 1$ , коли відбувається зміна долота, інакше  $S_d = 0$ .

Початковий стан системи  $t(h)|_{h=0} = 0, w(h)|_{h=0} = 0, d = 1$ . Буріння відбувається на глибині  $H$ , при цьому на кінцевий стан системи  $t(h)|_{h=H}, w(h)|_{h=H}, d$  накладені обмеження:

$$\begin{aligned} 0 &\leq w \leq w_{max}, \\ 1 &\leq d \leq d_{max}. \end{aligned} \quad (4)$$

На значення керуючих параметрів осьового навантаження і частоти обертання долота так само накладено обмеження:

$$\begin{aligned} P_{min} &\leq P \leq P_{max} \\ n_{min} &\leq n \leq n_{max} \end{aligned} \quad (5)$$

Для чисельного рішення нелінійної задачі на простір станів об'єкта  $x = \langle h, w, d \rangle$  нанесемо сітку, вузли якої відповідають дискретним значенням стану об'єкта управління.

Розглянемо значення параметрів дискретизації зносу долота  $w$  і поточної глибини  $h$ , що характеризують стан об'єкта управління. Глибина буріння  $H$  може приймати значення до 3000-4000 м. При визначенні кроку дискретизації будемо виходити з значень, які може приймати швидкість буріння. Виберемо мінімальний крок дискретизації швидкості буріння, який позначимо, як  $\Delta V_{min}$ . Виходячи із значення мінімального кроку за часом, крок дискретизації глибини буріння буде визначатися співвідношенням:  $\Delta h = \Delta V_{min} \cdot \Delta t_{min}$ .

При визначенні інтервалу дискретизації зносу долота будемо виходити з урахування критерію зняття долота з вибою і часу буріння долотом. Наведемо

залежність  $v = v_0 \cdot e^{-\theta t} = v_0 \cdot e^{-w(t)}$  до вигляду  $w = \ln \frac{v}{v_0}$ . Нехай критерій

зняття долота з вибою виглядає наступним чином: зняти долото з вибою, коли швидкість буріння впаде в  $n$  раз. Якщо  $t_{max}$  - максимальний час роботи долота, при якому його швидкість може зменшитися в  $n$  раз, то  $w_{max} = \ln(n)$ . При визначенні верхньої межі кроку дискретизації зносу, будемо виходити з

максимального часу роботи долота  $t_{max} (v = v_0 \cdot e^{-\sum_{k=1}^m \theta_k \cdot \Delta t_k} = v_0 \cdot e^{-\theta \cdot t_{max}})$  і критерію зміни долота  $\theta = \ln(v/v_0) / t_{max} = w_{max} / t_{max}$ .

Розглянемо інтеграл, що визначає прирощення глибини при бурінні свердловини за деякий інтервал часу  $[T_i, T_{i+1}]$ :

$$h_{i+1} - h_i = \int_{T_i}^{T_{i+1}} v(t) dt = \int_{T_i}^{T_{i+1}} f_{fuzzy}(P, n, p_w) \cdot e^{-\int_{\tau=0}^t \theta_{fuzzy}(P, n, K_{a\delta p}) d\tau} dt \quad (4)$$



Будемо вважати, що на інтервалі управління  $[h_i, h_{i+1}]$  керуючі параметри  $P_i$  і  $N_i$ , а так само параметри середовища, що руйнується  $K_{\text{аобр}}(h_i)$ ,  $p_{\text{ш}}(h_i)$  залишаються незмінними, тоді постійні значення можна винести за знак інтеграла:

$$h_{i+1} - h_i = f(P_i, n_i, p_{\text{ш}}) \cdot \int_{T_i}^{T_{i+1}} e^{-\theta(P_i, n_i, K_{\text{аобр}}) \tau} d\tau + \int_0^{T_i} \theta(P, n, K_{\text{аобр}}) dt. \tag{5}$$

Для стислості викладу зробимо заміну змінних:

$$h_{i+1} - h_i = v_i \cdot \int_{T_i}^{T_{i+1}} e^{-[\theta_i(t-T_i)+w_i]} dt = v_i \cdot e^{-w_i} \cdot \int_{T_i}^{T_{i+1}} e^{-\theta_i(t-T_i)} dt. \tag{6}$$

Інтегруючи цей вираз, отримуємо:

$$h_{i+1} - h_i = \frac{v_i \cdot e^{-w_i}}{\theta_i} (1 - e^{-\theta_i \cdot (T_{i+1} - T_i)}). \tag{7}$$

Визначимо з цього виразу  $T_{i+1} - T_i$

$$T_{i+1} - T_i = - \frac{\ln\left(1 - \frac{\theta_i \cdot (h_{i+1} - h_i)}{v_i \cdot e^{-w_i}}\right)}{\theta_i} = - \frac{\ln\left(1 - \frac{\theta_i \cdot \Delta h}{v_i \cdot e^{-w_i}}\right)}{\theta_i}. \tag{8}$$

Час  $\Delta T_i$ , необхідний для переходу зі стану на глибині  $h_i$  в стан на глибині  $h_{i+1}$ :

Визначимо рівняння, що переводить систему управління зі стану з глибиною  $h_i$  в стан з глибиною  $h_{i+1}$  при бурінні одним і тим же долотом, у вигляді різницевого рівняння:

$$w_{i+1} - w_i = \theta_{\text{fuzzy}}(P_i, n_i, K_{\text{аобр}}(h_i)) \cdot (T_{i+1} - T_i) \tag{9}$$

Для того, що б позбавитися від  $T_{i+1} - T_i$  підставимо праву частину виразу (8), зробивши відповідні перетворення, отримаємо дискретний аналог управління об'єктом, що переводять систему зі стану на глибині  $h_i$  в стан на глибині  $h_{i+1}$  при бурінні одним і тим же долотом:

$$w_{i+1} = w_i - \ln\left(1 - \frac{\theta_{\text{fuzzy}}(P_i, n_i, K_{\text{аобр}}(h_i)) \cdot \Delta h}{f_{\text{fuzzy}}(P_i, n_i, p_{\text{ш}}(h_i)) \cdot e^{-w_i}}\right) \tag{10}$$

При зміні долота витрачається час на спускопідйомні операції  $t_i = t_i + T_{\text{сп}}$ , при цьому після зміни старого долота знос у нового дорівнює нулю  $w_{i+1} = 0$ , глибина свердловини не змінюється  $h_{i+1} = h_i$ , номер долота збільшується  $d_{i+1} = d_{i+1}$ .

Схематична ілюстрація алгоритму вибору послідовності значень керуючих параметрів  $P_i$  і  $N_i$  при бурінні на задану глибину  $H$ , що доставляють оптимум цільової функції (1) представлена на рисунку 1.

У відповідність з принципом динамічного програмування бота алгоритму здійснюється у два етапи. На першому етапі роботи алгоритму, починаючи з останньої ділянки управління з глибиною  $h_{N-1}$  і до дільниці управління з глибиною  $h_i$ , для всіх можливих станів системи  $\langle w_i, d_i \rangle$  з глибиною  $h_i$  проводиться вибір таких значень керуючих впливів  $u_i^*$ , які переводять систему з поточного стану в кінцеве стан з глибиною  $h_N$  за мінімальний час.

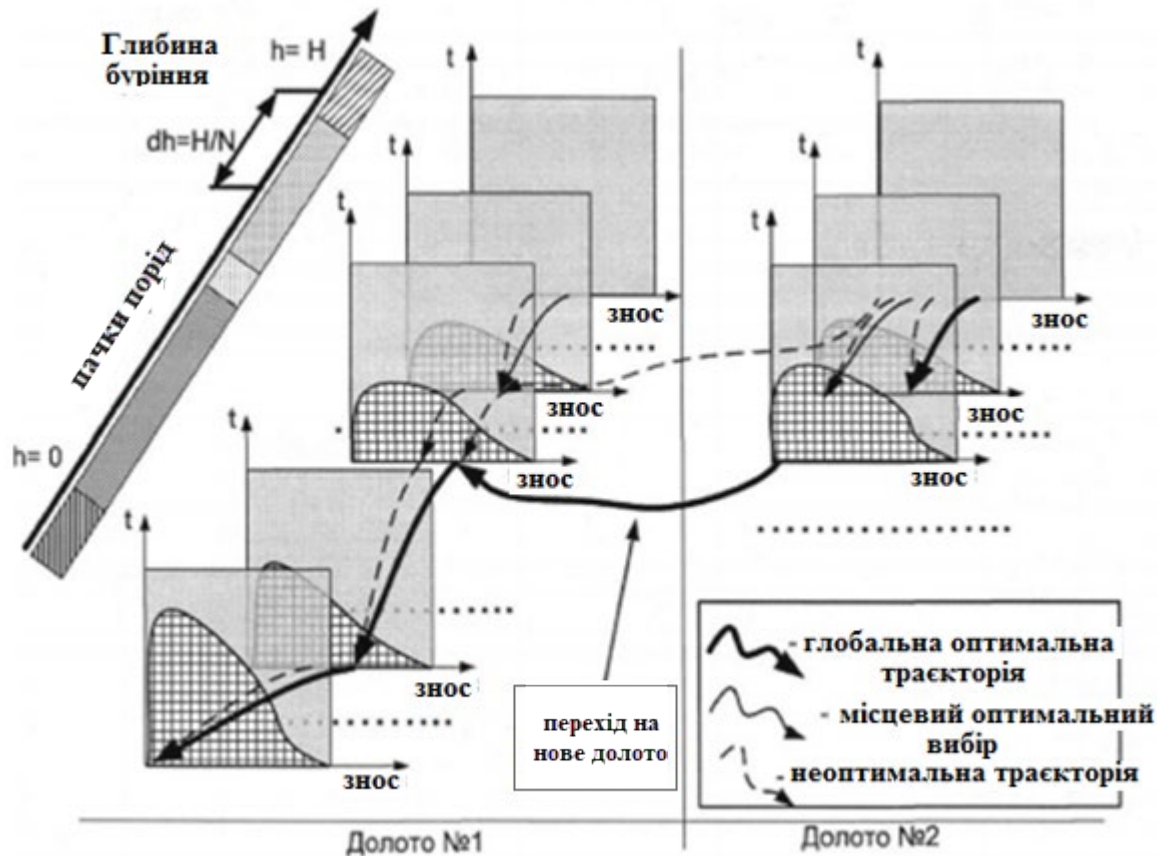


Рисунок 1 - Схема алгоритму оптимізації

Джерело: [3]

На другому етапі, виходячи з значень керуючих впливів отриманих для всіх допустимих станів системи, відбувається вибір послідовності значень керуючих параметрів  $\langle P_{N-1}^*, n_{N-1}^*, S_{N-1}^* \rangle$ , які задовольняють критерію (1).

Розглянемо перший етап роботи алгоритму. Зробимо перший крок оптимізації для останньої ділянки інтервалу управління.

Будемо розглядати випадки, коли буріння закінчилося на 1-му, 2-му, ... $D_{max}$ -му за рахунком долоті. Для кожного значення  $w_{N-1}^d$  знаходимо методом перебору всіх можливих значень управління такі значення  $\langle P_{N-1}^*, S_{N-1}^* \rangle$ , які мінімізують критерій (3.4). Згідно з процедурою динамічного програмування, в якості оптимального рішення слід взяти те, для якого час переходу мінімальний:

$$T_1^{*d}(h_{N-1}, w_{N-1}^d) = \min_{\substack{P_{N-2} \in P \\ n_{N-2} \in N}} x[\Delta T(h_{N-1}, w_{N-1}^d, P_{N-1})], \quad d = \overline{1, D_{max}}, \quad (11)$$

де  $P, N$  - множина всіх дискретних значень управління. Всі значення  $\langle P_{N-1}^*, n_{N-1}^* \rangle, T_1^*(h_{N-1}, w_{N-1}^d, d_{N-1})$  для стану  $w_{N-1}^d, d = \overline{1, D_{max}}$ , запам'ятовуємо.

Перейдемо до оптимізації  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$  на останній ділянці управління [2,3]. Якщо взяти до уваги принцип оптимальності, то вибір  $\langle P_{N-1}^*, n_{N-1}^* \rangle$  повинен проводитися тільки в залежності від початкового стану  $\langle w_{N-1}, d_{N-1} \rangle$  останньої



ділянки, не залежно від того, яке значення управління  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$  вибирається на попередньому кроці.

І знову для кожного початкового стану  $\langle w_{N-2}, d_{N-2} \rangle$  передостаннього ділянки (беручи до уваги, що оптимальне управління на останній ділянці залежно від  $\langle w_{N-1}, d_{N-1} \rangle$  нам відомо) знаходимо методом перебору з усіх можливих значень керування такі  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$ , які звертають в мінімум вираз:

$$T_2^*(h_{N-2}, w_{N-2}^d, d) = \min_{S_{N-2} \in [0,1]} \left\{ \begin{array}{l} \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_{N-2}, w_{N-2}^d, P_{N-2}, N_{N-2}) + T_1(h_{N-1}, w_{N-1}^d, d) \right] : S = 0 \\ \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_{N-2}, 0, P_{N-2}, N_{N-2}) + T_1(h_{N-1}, w_{N-1}^{d+1}, d+1) + T_{sp}(h_{N-2}) \right] : \left. \begin{array}{l} S = 1 \\ d \neq D_{\max} \end{array} \right\} \quad (12)$$

При цьому для кожного з обраних значень  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$  і  $\langle w_{N-2}, d_{N-2} \rangle$  обчислюємо початковий стан  $\langle w_{N-1}, d_{N-1} \rangle$  останньої ділянки.

Так як значення  $\langle w_{N-1}, d_{N-1} \rangle$  цілком залежить від попередніх значень  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$  і  $\langle w_{N-2}, d_{N-2} \rangle$ , то замість  $\langle w_{N-1}, d_{N-1} \rangle$ , у функцію мінімальної помилки  $T_1$  підставимо праву частину рівняння об'єкту:

$$T_2^*(h_{N-2}, w_{N-2}^d, d) = \min_{S_{N-2} \in [0,1]} \left\{ \begin{array}{l} \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_{N-2}, w_{N-2}^d, P_{N-2}, N_{N-2}) + T_1(h_{N-1}, w(h_{N-2}, w_{N-2}^d, P_{N-2}), d) \right] : S = 0 \\ \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_{N-2}, 0, P_{N-2}, N_{N-2}) + T_1(h_{N-1}, w(h_{N-1}, w(h_{N-2}, w_{N-1}^{d+1}, P_{N-1}, N_{N-2}), d+1)) \right] : \left. \begin{array}{l} S = 1 \\ d \neq D_{\max} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Очікувані мінімальні втрати для залишилися до кінця інтервалу керування двох кроків  $T_2$  ( $w_{N-2}, d_{N-2}$ ) і значення оптимального керування  $\langle P_{N-2}^*, n_{N-2}^* \rangle$  запам'ятовуємо. Продовжуючи послідовну процедуру оптимізації, для останнього  $N$ -го кроку отримуємо:

$$T_1^*(h_{N-1}, w_{N-1}, d) = \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} [\Delta T(h_1, w_1^d, P_1, N_1) + T_1(h_2, w_2^d, d)], \quad d = \overline{1, D_{\max}} \quad (14)$$

Це функціональне рівняння Беллмана дискретної форми методу динамічного програмування для вирішення оптимізаційної задачі. У загальному випадку для  $i$ -ї точки [4]:

Модель (15) відображає основні параметри буріння, такі як глибина свердловини, характеристики ґрунтів та обладнання тощо.



$$T_2^*(h_i, w_i^d, d) = \min_{S_{N-2} \in [0,1]} \left\{ \begin{array}{l} \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_i, w_i^d, P_i, N_i) + T_1(h_{i+1}, w_{i+1}^d, d) \right] : S = 0 \\ \min_{\substack{P_{N-2} \in P, \\ n_{N-2} \in N}} \left[ \Delta T(h_i, 0, P_i, N_i) + T_1(h_{i+1}, w_{i+1}^{d+1}, d+1) + T_{sp}(h_i) \right] : \left. \begin{array}{l} S = 1 \\ d \neq D_{\max} \end{array} \right\} \quad (15) \end{array} \right. ,$$

$$d = \overline{1, D_{\max}}, \quad i = \overline{N-1, 1}$$

### Висновки.

Було розроблено ефективний алгоритм оптимізації часу буріння свердловини на основі методу динамічного програмування може значно підвищити продуктивність видобувних площадок та зменшити витрати на видобуток вуглеводнів. Результати цього дослідження можуть бути використані для практичного застосування в нафтогазовій промисловості з метою оптимізації та підвищення ефективності технологічних процесів буріння свердловин.

### Література:

1. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.
2. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – С.399.
3. Фадєєва О.В. Удосконалення математичної моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин / О.В. Фадєєва // Вісник Хмельницького національного університету. - 2008. - № 6(123). - С. 55-60.
4. Семенцов Г.Н., Гутак О.В. Моделювання та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління: [Текст]. – Одеса: Куприенко С.В. – 2014. – 295 с. – 300 прим. – ISBN 978-966-2769-43-2.

**Abstract.** The work is devoted to the development of an algorithm for the optimization of well drilling time using the dynamic programming method. The work determines the relevance of the problem of drilling optimization in the context of hydrocarbon production and explores the possibilities of improving the efficiency of this process. The work uses mathematical modeling to represent drilling parameters and develops an algorithm based on the principles of dynamic programming. The developed algorithm can become an important tool for improving the technological processes of drilling wells and solving challenges related to the complexity of geological conditions and high requirements for production efficiency.

**Keywords:** optimization algorithm, dynamic programming, mathematical model, optimal control.

Стаття відправлена: 18.03.2024 р.  
© Шавранський М.В., Карпінець Б.І.



УДК 004.82-83

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMANITY: RELATIONSHIPS,  
PROBLEMS, FUTURE****ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ЛЮДСТВО: ВЗАЄМИНИ, ПРОБЛЕМИ, МАЙБУТНЄ****Romanchuk L. A. / Романчук Л. А.,***candidate of Philology / к.філол.н.*

ORCID: 0000-0001-5759-0126

*Dnipro National University named after Olesya Honchara,**Dnipro, Gagarin Ave., 72, 49000**Дніпровський національний університет ім. Олеси Гончара,**Дніпро, пр. Гагаріна, 72, 49000***Mormul M. F. / Мормуль М. Ф.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8036-3236

*University of Customs and Finance**Dnipro, str. Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000**Університет митної справи та фінансів,**Дніпро, Володимира Вернадського 2/4, 49000***Shchyotov O. M. / Щитов О. М.***c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1435-2918

*Lyceum No. 100, Dnipro, square Uspenska 1, 49000**НБК-Ліцей № 100, Дніпро, Успенська 1, 49000***Shchyotov D. M. / Щитов Д. М.***Ph.D. / к.е.н.*

ORCID: 0000-0003-4306-8016

*University of Customs and Finance**Dnipro, str. Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000**Університет митної справи та фінансів,**Дніпро, Володимира Вернадського 2/4, 49000*

**Анотація.** Розглянуто витоки, проблеми та суперечності у створенні та дослідженні штучного інтелекту. Проаналізовано його ролі у кінематографі та у майбутньому. Зазначено перспективи, шляхи на напрями розвитку, прогнози вчених та митців щодо співвідношення ШІ та людини. Визначено види та форми, які може приймати ШІ: 1) віртуальні (комп'ютерні програми, самонавчальні системи); 2) механічні (андроїди чи роботи); 3) механіко-біологічні (кіборги чи термінатори), 4) спайки людини з комп'ютером); 5) “кібернетичний зародок”), у тому числі “колектив роботів”, або “машинна цивілізація”.

**Ключові слова:** штучний інтелект, робот, маніпулятор, мисляча машина, кіборг, андроїд, людство, моделювання свідомості.

**Вступ**

Дослідження в галузі штучного інтелекту виникли під впливом ідеї спільності процесів керування і передачі інформації в живих організмах, суспільстві і комп'ютерах. Сам термін “штучний інтелект” уведений Дж. Маккарті в 1956 році. Філософська “прийнятність” проблематики була обумовлена спінозіанським твердженням, що лежить у її підґрунті, про те, що “порядок і зв'язок ідей ті ж самі, що порядок і зв'язок речей”. Тим самим створити в комп'ютері структуру, що відтворює “світ ідей”, означало створити





структуру, ізоморфну структурі речовинного світу, тобто побудувати “електронну” модель світу. Ця модель інтерпретувалася як комп’ютерна модель людських знань про світ, а процес людського мислення – як пошук таких трансформацій моделі, що мають перевести комп’ютерну модель у деякий фінальний стан.

У наш час вже створено низку локальних штучних інтелектів, пристосованих до конкретних сфер діяльності: чат-бот ChatGPT працює у діалоговому режимі на різних мовах; програма Deep Blue грає в шахи, а AlphaGo – у го; Watson здатна сприймати людську мову і робити ймовірнісний пошук; MYCIN діагностує захворювання по частковим симптомам; ViaVoice розпізнає мову; Midjourney генерує зображення на основі текстових запитів, TensorFlow пристосована для побудови і тренування нейронної мережі з метою розпізнавання і класифікації образів, AIVA складає симфонії та музику до фільмів (саундтреки). Штучний інтелект активно використовують у військовій галузі (дрон та ланцети за допомогою просунутої оптики самостійно розпізнають та фіксують координати техніки ворога (навіть замаскованої), аналізують дані, підвищуючи ефективність прийняття рішень), тощо.

Але, попри це, постають серйозні питання про ступінь його “розумності”, “людяності”, пристосованості до проблем суспільства та рівня небезпеки щодо людства [20]. Ці питання дуже актуальні і потребують досконалого дослідження та розгляду проблеми взаємовідносин “штучний інтелект – людина” з найрізноманітніших боків.

## **Основний текст**

### **1. Дефініції III**

У ході створення “штучного інтелекту” вчені зіштовхнулися з низкою труднощів. Основні з них полягали у тому, що дотепер не існує однозначного і загальноприйнятого визначення і розуміння “штучного інтелекту”. Існує безліч визначень цього терміну. Так, А. В. Тимофєєв пропонує називати інтелектом “здатність мозку вирішувати інтелектуальні завдання шляхом придбання, запам’ятовування та цілеспрямованого перетворення знань у процесі навчання на досвіді та адаптації до різноманітних обставин” (“как алгоритмическое и программное обеспечение его управляющей системы (“мозга”), обладающее способностью моделировать (отображать) окружающую среду и решать широкий класс интеллектуальных задач посредством обучения на опыте и адаптации к изменяющимся условиям функционирования”) [23, с. 27]. У філософії інтелект характеризує відносно стійку структуру розумових здібностей індивіда, що виявляються, наприклад, в умінні сприймати інформацію і використовувати її для розв’язання тих чи інших завдань.

Існують суто поведінкові визначення. За О. Н. Колмогоровим, будь-яка матеріальна система, що з нею можна досить довго обговорювати проблеми науки, літератури і мистецтва, має інтелект. Іншим прикладом інтелекту може слугувати відоме визначення А. Тьюрінга [23, с. 19-22], засноване на спеціально організованій “трі в імітацію” між людьми і машиною, що знаходяться в різних кімнатах, але мають можливість обмінюватися інформацією. Якщо в процесі діалогу між учасниками гри не вдасться



встановити, що один з них – машина, то таку машину можна вважати наділеною інтелектом. Недоліком тьюрінгівського визначення є те, що в принципі можна побудувати автомат з повним набором рішень на всі можливі задачі – і удаваний інтелект зведеться до простого вибору в пам'яті відповідного рішення. У найзагальнішому значенні штучний інтелект – це сукупність автоматичних методів і засобів цілеспрямованої переробки інформації відповідно до досвіду, що набувається в процесі навчання, й адаптації при вирішенні різноманітних задач [23, с. 45]. Особливості цієї чи іншої системи штучного інтелекту визначаються властивостями закладених у неї алгоритмів і програм і технічною реалізацією.

Сучасні науковці поняттю «штучний інтелект» дають таке визначення:

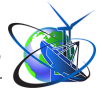
“Штучний інтелект – функція штучної свідомості, яка представлена створеною та контрольованою нею системою алгоритмів, забезпечує самонавчання згідно з наявною інформацією, набутими знаннями, правилами, законами суспільства та своїм досвідом, створення на цій основі нових знань для виконання доручень людини, а також здатність проводити самодіагностику й обґрунтовувати прийняті нею рішення” [20, с. 62].

Втім, найменування “штучний інтелект” має і деякий метафоричний підтекст. Творці систем класу ШІ (штучний інтелект) не керуються психологічними структурами, що властиві процесам людського мислення, найважливішою відмінністю якого є мова. Зіставлення природного інтелекту зі штучним робиться тільки за результатами їх функціонування. Тож штучний інтелект на сьогоднішній день не може претендувати на будь-яке зіставлення з поліфункціональністю і безмежними здібностями людського інтелекту. Але за окремими своїми параметрами комп'ютерні системи здатні значно перевершувати відповідні можливості людини. Спираючись на це, В. П. Зінченко називає комп'ютер не штучним інтелектом, а інструментом інтелектуальної дії або зречевленим інструментом інтелекту, що може істотно полегшити, прискорити, підвищити точність прийняття рішення [9, с. 59].

## **2. Історія питання**

Із самого початку появи спроб створення штучного інтелекту було поширене переконання щодо принципової здатності комп'ютера до самостійного дослідження моделі, що зберігається в ньому, тобто до самостійного навчання стратегії досягнення поставленої мети. Лише у 1980-х роках було усвідомлено значущість проблеми використання в інтелектуальних системах людських знань про дійсність. Але ще раніше почалися дослідження, зв'язані зі спробою формального опису і комп'ютерної реалізації інтелектуальних систем, що не обмежуються моделюванням дійсності або знаннями про дійсність, але спираються на схеми усвідомлення як самої дійсності, так і її образів. Схеми ці засновані на чіткому математичному описі структур рефлексії. Цей підхід фактично означав розрив зі спінозіанською ідеологією штучного інтелекту [26, с. 163-164].

Філософська традиція називає рефлексією думку про думку, тобто коли предметом думки виявляється не річ, а факт мислення. Рефлексія – думка суб'єкта про образ дійсності, тобто критичний образ цього образу, що



припускає оцінку створюваних в уяві моделей. Класична парадигма штучного інтелекту ігнорує дану обставину і тому не цікавиться рефлексією.

На відміну від звичайних машин, штучний інтелект тісно зв'язаний із проблемою психіки. У кібернетичному моделюванні психіки слід зазначити два істотних моменти:

– узагальнення поняття “машина”, що у кібернетиці розглядається як пристрій, що не тільки перетворює речовину й енергію, але головним чином перетворює інформацію [29, с. 37];

– єдність фізіологічних і психічних процесів.

Ідеї про роль випередження в процесах відображення розвиваються в так званих “живих” моделях, коли за модельний об'єкт для деякої досліджуваної біологічної системи береться інша біологічна система. До них відносяться моделі зовнішнього і внутрішнього середовища та “моделі потрібного майбутнього”. Усі наші уявлення про зовнішній світ матеріально здійснюються нервовими процесами мозку, які можна розглядати у вигляді своєрідних моделей “зовнішнього середовища”. Це один з типів “живих” моделей. Інший тип – штучні моделі, джерелом яких може бути, наприклад, методика дослідження умовних рефлексів І. П. Павлова, що полягає в ізоляції організму від реального зовнішнього середовища й у створенні її штучної спрощеної моделі. У мозок надходить інформація із “середини” організму – з його внутрішніх органів, м'язів і т. ін. На цій основі в мозку утворюється “нервова модель” внутрішнього середовища – свого роду матеріальний код, яким записана інформація про поточне середовище і цілу низку життєвих процесів. Якщо інформацію, необхідну для побудови зовнішнього середовища, мозок одержує через органи почуттів, то відображення чи модель того, у що має перетворитися це середовище відповідно до потреб організму, мозок створює сам – хоча поки що не ясно, яким “кодом” і в яких формах. Пізнавальні процеси будь-якої складності являють собою активне моделювання сприйманого фрагмента дійсності.

Аналіз питань кібернетичного моделювання роботи мозку дозволяє зробити два істотні методологічні висновки. Перший стосується аналізу співвідношення можливостей людини і кібернетичної машини в плані моделювання на машині функцій мислення. Другий висновок відноситься до з'ясування чинників, що обмежують можливості кібернетичного моделювання психіки, одним зі шляхів подолання якої є розробка методів евристичного програмування, заснованого на вивченні і використанні принципів мислення людини.

Перші спроби моделювання таких сторін людської діяльності, що здаються людині дуже простими, зіткнулися із великими труднощами. (Наприклад, серйозною проблемою дотепер вважається розпізнавання образів системами штучного інтелекту. Хоча відзначимо, що проблеми розпізнавання текстів і перекладу, що вважалися раніше не менш серйозними, були частково вирішені).

Труднощі моделювання свідомості навіть на почуттєвому рівні пов'язані насамперед з цілісним, інтегративним характером її функціонування. Можна



сказати, що діяльність свідомості має системний характер. Це виражається, по-перше, у тім, що окремі форми почуттєвого пізнання виступають у взаємозв'язку і єдності; по-друге, їхня діяльність істотно залежить від мислення.

Кібернетика і математична логіка поступово дійшли висновку, що будь-яка чітко окреслена і математично описана – формалізована й алгоритмізована – галузь інтелектуальної діяльності людини в принципі може бути передана машині (“теза Тьюрінга”). Або, іншими словами, всякий детермінований процес, сутність якого можна пояснити людині, потенційно здійснюваний машиною, якій надано необмежений час і яка має майже необмежену пам'ять. Однак треба відрізнити потенційну здійснюваність від здійснюваності за допомогою реально наявних засобів. Оскільки збігатися обидва ці види можуть тільки для надприродного інтелекту.

Виникає принципове запитання: чи можна моделювати інтелектуальну діяльність, а якщо можна, то як це зробити? Існують дві точки зору.

1. Багато вчених вважають безсумнівним, що обчислювальні машини і роботи можуть у принципі мати всі основні риси інтелекту. Таким чином, вони дають позитивну відповідь на запитання “чи можуть обчислювальні машини або роботи мислити?” (А. Тимофєєв [23], А. Тьюрінг [23], І. Шкловський [25]).

Існує кілька шляхів розв'язання задач за допомогою систем штучного інтелекту: а) повне перебирання варіантів, що практично неможливо через велику кількість інтелектуальних задач; б) евристичні й адаптивні алгоритми. Нами було розроблено комплекс програм для прийняття рішень у багатокритеріальних умовах, який спирався на співпрацю машини з людиною (людино-машинні процедури) у діалоговому режимі і через цю співпрацю відбувалося навчання, самонавчання й самоудосконалення роботи програм по вибору найкращого компромісного розв'язку (аналог штучного інтелекту у галузі прийняття рішень). При цьому для пошуку оптимального компромісного розв'язку в залежності від типу задач ми користувалися такими методами: метод рівномірної оптимальності; метод справедливого компромісу; метод вагової згортки критеріїв; метод ідеальної точки (гарантованого результату або рівномірного стиснення); метод досягання недосяжного результату; метод головного критерію; метод лексикографічного упорядкування критеріїв; метод послідовних поступок; метод використання контрольних показників [15, с. 72-74].

2. Друга точка зору протилежна першій. Деякі вчені схиляються на користь негативної відповіді на запитання, чи може машина уподібнитися людині. У їхньому числі і творець кібернетики Джон фон Нейман. Розглядаючи задачу про машинне моделювання нейронних структур мозку, він прийшов до гіпотези: якщо система досягає певного ступеня складності, її опис не може бути простішим, ніж вона сама. “Немає сумніву в тім, – писав Нейман, – що окрему фазу будь-якої мислимої форми поведінки можна “цілком і однозначно” описати за допомогою слів. Цей опис може бути довгим, однак завжди можливим” (“Нет сомнения в том, что отдельную фазу любой мыслимой формы поведения можно “совершенно и однозначно” описать с помощью слов.



Это описание может быть длинным, однако всегда возможным”) [16, с. 90]. З ідей фон Неймана впливає, що проблема створення машинної програми, здатної вирішувати всі ті різноманітні задачі, що успішно вирішує людський мозок, надзвичайно важка, якщо не безнадійна.

Раніше проблема штучного інтелекту розглядалася як технічна проблема, пов'язана з реалізацією на ЕОМ програм, що здатні виконувати деякі класи інтелектуальних операцій. Згодом, однак, з одного боку, помітно зменшився оптимізм щодо інтелектуальних можливостей ЕОМ, а з іншого, стало ясно, що штучний інтелект – це не просто вдало написана програма, його створення – надзвичайно складна міждисциплінарна проблема, що вимагає для свого вирішення об'єднаних зусиль психологів, математиків, лінгвістів і т. ін. Так, психологія мала дати строге визначення знання для використання його в комп'ютерних системах. Лінгвістика мала пояснити, як працює мова, що є не тільки носієм знань, але і бере активну участь у їх формуванні. Оскільки жодна наукова галузь не дала необхідних відповідей на ці питання, відомий представник дисципліни штучного інтелекту Р. Шенк змушений був констатувати, що власне конструкторам комп'ютерних систем доводиться створювати свої лінгвістичні і психологічні теорії, аби домогтися ефективних рішень своїх задач.

У нинішній час намітилися два шляхи дослідження штучного інтелекту:

1) машинні способи розв'язання інтелектуальних задач мають будуватися без строгого огляду на людину, знання про те, як вона вирішує ті чи інші задачі;

2) “біонічно мислячі” вчені сподіваються на спеціально конструйовані мережі штучних нейронів та інші аналоги конструкцій, властиві людині [17], [18]. Цей напрямок зв'язаний зі створенням нового класу пристроїв обчислювальної техніки – нейрокомп'ютерів. У порівнянні з традиційними універсальними ЕОМ нейрокомп'ютери володіють низкою незвичайних властивостей, породжуваних їхньою архітектурою, що тією чи іншою мірою відбиває динаміку інформаційних процесів головного мозку. Саме тому вони добре пристосовані для вирішення складних інтелектуальних задач і, за думкою фахівців, зрештою перевершать інтелект свого творця [30]. У зв'язку з цим виникає питання: чи не вийде так, що, як тільки електронний мозок досягне людського рівня, людство виконає свою історичну місію і, як наслідок, зникне?

З усього викладеного впливає, що до розходження між потенційно здійсненним і фактично реалізованим треба додати розходження між фактично реалізованим і нереалізованим у доступному для огляду майбутньому. А межі між потенційно здійсненним і нездійсненним за допомогою автоматів відповідає теза кібернетики. Для тих, хто визнає матеріалістичне положення про те, що будь-який процес природи пізнаваний за допомогою розуму, ця теза про принципову можливість моделювання на ЕОМ будь-якого реального процесу, якщо він ясно й однозначно описаний на якійсь мові, – є природним висновком з логіко-математичної теорії обчислювання. На питання про те, де пролягає межа між реально здійсненним для кібернетики і реально неможливим (хоча і можливо потенційним), відповіді ми не знаємо.

Так само як немає вичерпних відповідей на такі запитання: на якій



сировині (інформації чи знаннях) мають працювати системи штучного інтелекту, і чи значить це, що такого роду системи повинні імітувати розумові процеси людини? Нарешті, чи можна передати машині розумові здібності людини подібно до того, як нині в людському організмі природне серце замінюють штучним [18]?

### **3. Проблеми взаємин штучного інтелекту і людини**

Є багато заперечень з приводу можливості моделювання життєвих процесів психіки і розуму, які можна умовно розбити на три типи.

1. Еволюційне заперечення. Мозок сучасної людини – це результат процесу еволюції, що тривав мільярди років. Робота не можна навчати надто тривалий час. Тому ніколи не з'являться інтелектуальні маніпулятори [11, с. 94-99]. Помилка такого міркування полягає в постулюванні того, що автоматична система може імітувати відповідну біологічну функцію (мислення, політ і т. ін.) тільки шляхом копіювання механізму й еволюційного шляху свого біологічного прототипу. Роботи ж починають учитися розв'язанню інтелектуальних задач, уже маючи дуже високу початкову організацію (“еволюційний стаж”), закладену в них людиною. Крім того, можливим є шлях природного накопичення інформації “кібернетичним зародком” через досвід спілкування з людьми. Один із розробників штучного інтелекту, герой новели “Кібер”, зізнається новопризначеному начальнику свого відділу:

“– Кілька років тому ми створили кібернетичний зародок, здатний розвиватися за аналогією з природними ембріонами і вбирати в себе всю інформацію, що надходить до нього – зі своїм способом сортування, зберігання та класифікації її. Дитина росла, не підозрюючи про те, що вона – кібер. Програми працювали без перебою, і імітація поведінки була безперечною. І – ось результат.

– Який результат?

– Ви. А тепер те, як далі проходитиме експеримент і розвиватимуться програми адаптації, покаже час. Вибачте”.

(«Несколько лет назад мы создали кибернетический зародыш, способный развиваться по аналогии с естественными эмбрионами и вбирать в себя всю поступающую в него информацию – со своим способом сортировки, хранения и классификации ее. Ребенок рос, не подозревая о том, что он – кибер. Программы работали без перебоя, и имитация поведения была абсолютной. И – вот результат.

– Какой результат?

– Вы. А теперь то, как будет дальше проходить эксперимент и как развиваться программы адаптации, покажет время. Извините») [3, с. 14].

Дж. Баррат писав, що для усвідомлення ШІ своєї місії (як і походження) може знадобитися ініціація, поштовх [1, с. 14-16].

2. Соціальне заперечення, згідно з яким людина – “істота соціальна”, а мислення – функція не людини, а людства, що виникло в результаті колективної діяльності (соціального життя) людей; робот же індивідуальний за своєю природою, отже, він не може мати інтелект [16, с. 102]. Це заперечення містить ту саму помилку – постулат про те, що шлях до мислення може бути



тільки один. Сказане вище зовсім не виключає того, що інтелект може розвинути в процесі індивідуального вирішення все складніших інтелектуальних задач. Крім того, зовсім не виключене створення “колективу роботів” для спільного розв’язання задач (ремонт самих себе, створення нових роботів, нового програмного забезпечення і т. ін.).

3. Третій тип пов’язаний із сумнівом у можливості імітації за допомогою неживих елементів явища життя взагалі. Тобто створення, відтворення її сутності на будь-якій якісно іншій основі. Однак, якщо виходити з функціонального визначення поняття життя, даного О. А. Ляпуновим, як “високостійкого стану речовини, яка використовує для вироблення зберігаючих реакцій інформацію, що кодується станами окремих молекул” [13, с. 184], то й у цьому плані не бачиться ніяких принципових ускладнень. Способи кодування інформації можуть бути різні, і не обов’язково ґрунтуватися на білковій основі. Те ж саме стосується і вищого рівня організації життя, рівня цивілізації.

Усі ці заперечення поєднує одна загальна думка, яка полягає в тім, що штучний інтелект обов’язково має походити на інтелект людини.

Однак теза, що часто висувається: “якщо людина щось робить таким чином, то і машина має робити це так само” – дуже спірна. Не випадково введено слово “штучний” у назву проблеми штучного інтелекту, і тому не зовсім зрозуміла вимога деяких учених, щоб машинний інтелект обов’язково був саме таким, як у людини. По суті, немає розумних підстав казати, що машинні моделі мають наближатися за своїм характером і структурою до схеми сприйняття і переробки інформації людиною.

#### **4. Позитивні та негативні ролі штучного інтелекту**

Штучний інтелект може приймати різноманітні форми:

1) віртуальні (комп’ютерні програми, самонавчальні системи);

2) механічні: андроїди чи роботи (поняття робота, “автомата у вигляді людино-ляльки, яка керується телемеханічно та виконує кілька складних операцій” [28, с. 111], увів у побут чеський письменник К. Чапек у 1921 р. у драмі “Расумовські Універсальні роботи”), а також різноманітні апарати з закладеними у них програмами дій, супутники тощо;

3) механіко-біологічні: кіборги чи термінатори, що поки що зі сфери фантастики, хоча, за думкою шведсько-американського астрофізика Макса Тегмарка, доба штучного інтелекту – це закономірний наступний етап розвитку розумних форм, Життя 3.0., на якому людина нарешті звільниться від біологічних кайданів еволюції і стане повноцінним господарем власної долі [21]. Враховуючи, що нині різні органи і навіть серце людини навчилися замінити штучними і вже виникає питання про можливість “заміни” у майбутньому розуму людини штучним, можна казати про те, що настала ера початкової “кіборгізації” людини – епоха протокіборгів, які є деякою заявкою на зміну характеру антропологічної еволюції, що давно перестала бути суто біологічним процесом [18, с. 272]. М. А. Бердяєв, наприклад, не бачив принципових труднощів у можливості впровадження техніки в органічне життя і навіть заміну його, але вважав це згубним для цивілізації [7, с. 156-157]. У такому разі людина може перестати існувати як особистість, індивідуальність;



4) тимчасову чи постійну спайку людини з комп'ютером, куди переноситься її свідомість. Поки що така можливість перебуває поза межами реальності і освоюється лише фантастами та режисерами (див. роман С. Синіцина “Жага всевладдя” 2006 року, фільми “Трон” 1982, “Газонокосар” 1992, “Нірвана” 1997, “13-й поверх” 1999, “Геймер” 2009, “Вихідний код” 2011 тощо). Але вчені не сумніваються у скорому вирішенні цієї проблеми.

Знаменно, що перші застосування штучного інтелекту вважалися найбільш необхідними для впровадження у правоохоронній сфері, що відрізняється чотирма моментами: 1) Законом, що становить певний набір правил (актів, інструкцій, кодексів і т. ін.), і механізм їхнього застосування (алгоритм дії); 2) підвищеним ризиком стосовно представників Закону; 3) можливостями здійснення помилок та їхніх наслідків; 4) ризиком бути втягненим у корупцію.

Перевага подібних стражів очевидна: вони байдужі до проблем влади, слави і грошей, отже, їх не можна “купити”; вони чіткі у виконанні і застраховані від випадкових або навмисних помилок; більш швидкі в аналізі ситуації і виборі дій; максимально об'єктивні, скромні, невідкупні, розумні, здатні навчатися, безсторонні, логічні, довговічні, безстрашні, надійні, до них не потрібні міри покарання за порушення закону, що є основою їхніх програм, і таке інше.

Можна зазначити й очевидні недоліки: зависання в ситуації розмитої невизначеності, можливість збою (хоча його можна віднести до розряду “хвороб”, що їм підлягає і людина, наприклад, зараження вірусом, утрата пам'яті тощо); непристосованість до виконання незапрограмованих фізичних дій (затримка злочинця, оперативний пошук, непередбачувана ситуація) і, нарешті, прогнозована вченими і загрозлива катастрофічними наслідками можливість виходу з-під контролю. В американських фільмах-антиутопіях “Термінатор”, “Суддя Дред”, “Машина смерті”, “Матрикс”, “Дізнання пілота Пірса”, “Лекс” роль вартових закону відведена здатним мислити машинам – роботам, що згодом збунтувалися проти свого творця (повторення біблійного бунту) і чи то створили свою машинну цивілізацію, ворожу людині, чи то обмежилися одиночним бунтом.

Саме в такому, есхатологічному ключі бачиться багатьом проблема штучного інтелекту з усіма її небезпечними наслідками. Негативним прогнозам закономірно протистоять оптимістичні (фільми серії “Робокоп” – тому свідчення). Саме цей момент був тривалий час причиною заборони створення програми штучного інтелекту Римським клубом. Мисляча машина, штучно створений (нехай і з добрими намірами) інтелект уявлявся неодмінно бездушною, глибоко антигуманною сутністю. А право її створення заперечується як замах на права Бога, єдино якому належить прерогатива і функція Творіння. Показовим прикладом подібного уявлення є повість Мері Шеллі “Франкенштейн, або Сучасний Прометей” (1818), в якій учений штучно (із трупних останків) створює людську плоть, одержуючи у підсумку потворного і мстивого монстра. Головна провина Франкенштейна при цьому полягає не в його помилці у створенні людини і не в зрадництві ним власного створіння, а саме в його бажанні стати Творцем штучного життя. (Цікаво, що





наприкінці ХХ ст. шанувальники Церкви Сатани Ла Вея на запитання “У чому полягає суть сатанізму?” дадуть стисло відповідь: “Ми робимо штучних людей”, посилаючись саме на Франкенштейна М. Шеллі [12]). Відверто лиховісними є ляльки й автомати Гофмана, що імітують живих людей.

Страх перед машиною виник в епоху романтизму у зв'язку з розпочатою інтенсивною механізацією суспільства, хоча своїми коренями дана традиція веде ще в первісний світ магії і похоронних ритуалів [24]. У наелектризованій атмосфері романтичної доби народжувалися процеси і стимули магічного характеру, що опановували душами і вселяли жах до механізації суспільства. Підземні духи або, за висловленням А. Терца (Синявського), “людиноподібні автомати, які відштовхують своєю неживістю і водночас приваблюють красою і властивостями речі, що чудово оживає” (“человекообразные автоматы, отталкивающие своей безжизненностью и вместе с тем привлекающие красотой и свойствами чудесно оживающей вещи”) [22, с. 317], вселялися в парові котли і портрети, що несуть печать прокльону – мерця, штучного супутника і двійника людини, що у ролі примари або робота виходив у герої епохи. “Заводна лялька тоді вважалася вершинним досягненням техніки, і це мало сенс: техніка – в ідеалі, в потенції – прагнула замінити людину воскреслою річчю... Машина, що обросла правдоподібною людською плоттю, мерць, що ожив, становили приховану схему, основу основ реалізму і надавали величезний вплив на суспільство і художників слова” (“Заводная кукла тогда почиталась вершинным достижением техники, и это имело смысл: техника – в идеале, в потенции – стремилась заменить человека воскресшей вещью”) [22, с. 317-319].

Уже у підґрунті романтизму, у першій спробі вступити у світоглядний спір з машиною, є передчуття, що світ перебуває на хибному шляху. Штучний світ, що ним є насамперед уся сучасна цивілізація, “світ-ерзац”, усе більше і більше емансипувався від свого творця, розростався над ним і, нарешті, став функціонувати відповідно до своїх власних законів. У написаній напередодні Другої світової війни книзі “Європа і душа Сходу” В. Шубарт точно провістив зростання ролі машини в житті суспільства і небезпеки загальної машинізації (а нині – комп'ютеризації). “Незвичайність нової життєвої сили, – писав він, – додає людині щемливе почуття відсутності волі і страху. Вона почуває себе переможеною тим технічним апаратом і організаціями, що сама створила. Або іншими словами – механізми стали автономними. Вони стали демонами. У них знову відроджується той ірраціональний елемент, що прометеївська людина вважала цілком вигнаним за допомогою механізації” (“Необычность новой жизненной силы сообщает человеку щемящее чувство отсутствия свободы и страха. Он чувствует себя побежденным тем техническим аппаратом и организациями, которые он сам создал. Или иными словами – механизмы стали автономными. Они стали демонами. В них вновь возрождается тот иррациональный элемент, который прометеевский человек почитал полностью изгнанным при помощи механизации”) [27, с. 147].

Думка про автономію механізмів уперше з'явилася в марксистському



вченні, у понятті виробничих відносин, яким людина відчуває себе немов відданою деяким злим духам. Весь марксизм є не щось інше, як протест проти уречевлення людини, проти перемоги над її творцем.

Як констатує В. Шубарт, “техніка ввійшла в стадію свого власного самознищення” (“Техника вошла в стадию своего собственного самоуничтожения”) [27, с. 149]. Машина, одного разу пущена в хід, не зупиняється більше там, де цього хоче людина. Вона йде за своєю власною логікою, а не за наказом хазяїна.

“Незвичайність нової життєвої сили повідомляє людині щемне відчуття відсутності свободи та страху. Він відчувається переможеним тим технічним апаратом та організаціями, які він сам створив. Або інакше кажучи – механізми стали автономними. Вони стали демонами. Вони знову відроджується той ірраціональний елемент, який прометеєвская людина вважала повністю вигнаним з допомогою механізації” (“Необычность новой жизненной силы сообщает человеку щемящее чувство отсутствия свободы и страха. Он чувствует себя побежденным тем техническим аппаратом и организациями, которые он сам создал. Или иными словами – механизмы стали автономными. Они стали демонами. В них вновь возрождается тот иррациональный элемент, который прометеевский человек почитал полностью изгнанным при помощи механизации”) [27, с. 147].

У наш час ставлення до здатної мислити машини, робота багато в чому нагадує повні містики відчуття людей епохи романтизму.

Штучний інтелект, поєднаний з біологічним тілом (людиною), часто ототожнюється з оживленим мерцем, повсталим трупом, що стає подібним до запрограмованої машини (згадаймо фільми “Досконалий солдат”, “Зомбі”, “Суддя Дред”, “Газонокосар” та ін.). Що, знов таки, вказує на негативне ставлення до можливого конкурента по розуму. Щоправда, у “Термінаторі-2” (так само як у “Робокопі”) роботи вже поділяються на поганих і добрих залежно від їх ставлення до людини: “за” чи “проти”. Загальна комп’ютеризація, створення віртуальних програм, ігор, мережі Інтернет і можливості, що відкрилися у зв’язку з цим, істотно змінили ставлення до здатних мислити машин у бік позитивних, водночас наблизивши їхню реальну появу в побуті і роботі. Так що описана вище картина правоохоронного контролю, де головне рішення здійснюватиме комп’ютер (робот, автомат, маніпулятор, агрегат і т.ін.), а правоохоронцями чи митниками стануть штучні апарати (як це демонструють різні фантастичні фільми, зокрема, “Гостя з майбутнього” (1985) з біороботом-митником у секторі часу або “Чужий” з головним комп’ютером-координатором Матір’ю та контролером-андроїдом Ешем), сьогодні вже не здається фантастичною [19, с. 31-32].

### **5. Майбутнє спайки «людство – III»**

Машинна цивілізація – не вигадка фантастів, а цілком обґрунтована реальність. Глобальна мережа Internet вже сьогодні поєднає ЕОМ в одне велике “комп’ютерне співтовариство”, за допомогою якого відбувається їх “спілкування”. Цілком можливе створення в майбутньому і цивілізації штучного розуму – машинної цивілізації. М. С. Кардашев визначав цивілізацію



як високостійкий стан речовини, здатної збирати, абстрактно аналізувати та використовувати інформацію для отримання якісно нової інформації про навколишнє становище і про самого себе, для самовдосконалення можливостей отримання нової інформації та для вироблення зберігаючих реакцій; цивілізація відокремлюється обсягом накопиченої інформації, програмою функціонування та простором для реалізації цих функцій [10, с. 48]. З цього погляду немає протиріч у можливості існування цивілізації іншої природи, окрім білкової.

Оскільки роботи в принципі можуть мати основні властивості біологічних систем, їх можна віднести і до “живих істот”, якщо розуміти цей термін досить широко. Створюючи досконалих роботів, людина створює і нове життя – “життя роботів”, – високоорганізоване, але дуже своєрідне і не схоже на наше власне життя. Відбувається створення роботизованого “безлюдного” простору. Вважається, що роль людини в такому просторі зведеться тільки до складання програм, налагодження і ремонту устаткування. Ця тенденція вже спостерігається в розвинутих країнах, де все більша чисельність населення зайнята в цій сфері.

Творці штучного інтелекту часто не замислюються про необхідність цього і можливі наслідки, у тому числі і соціальні, які детально простежуються у роботах [1], [14]. Хоча вчені попереджають про проблему упередженості в системах штучного інтелекту, яка може призвести до дискримінації та несправедливого ставлення [8, с. 16].

Видатний же американський режисер-документаліст Джеймс Баррат після розмов із багатьма вченими дійшов висновку, що “штучний інтелект цілком здатний знищити людство ... катастрофічний результат не просто можливий, але майже неминучий” [1, р. 23].

Але сподіватимемося на краще.

### **Висновки**

Розглянуто витoki, проблеми та суперечності у створенні та дослідженні штучного інтелекту. Проаналізовано його ролі у нинішньому кінематографі та у можливому майбутньому. Зазначено перспективи, шляхи на напрями розвитку штучного інтелекту, а також прогнози вчених та митців щодо співвідношення ШІ та людини. Визначено види та форми, які може набувати ШІ, у тому числі у вигляді “колективу роботів”, а у майбутній перспективі – “машинної цивілізації”.

### **Використана література**

1. Barratt J. Our Final Invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era of Homo sapiens. – New York: Thomas Dunn, 2013. – 304 с.
2. Liebowitz J. Possible impact of artificial intelligence // Information Age. – 1989. – Vol. 11, № 3. – P. 155-159.
3. Romanchuk L. A. Cybernet // Lettres russes. – Paris, 1998. – Novembre, 24. - P.13-14, 44-45.
4. Russell S., and Norving P. Artificial Intelligence. A Modern Approach. – New Jersey: by Pearson Education, 2010. – Third Edition. – 706 p.
5. Turing A. Computing Machinery and Intelligence // Mind, Volume LIX,



Issue 236, October 1950. – P. 433-460, doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433.

6. Wiener N. God and Golem. – Cambridge: Publisher MIT Press, 1964. – 104p.

7. Бердяев Н. А. Человек и машина // Вопросы философии. – 1989. – № 2. – С. 147-162.

8. Богом'я В., Гудзь А. Штучний інтелект: сучасний стан і перспективи застосування // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2023. – Том 46, № 1. – С. 13-17.

9. Зинченко В. П. Искусственный интеллект и парадоксы психологии // Природа. – 1986. – № 2. – С. 10-15.

10. Кардашев Н. С. О стратегии поиска внеземных цивилизаций // Вопросы философии. – 1977. – № 12. – С. 43-54.

11. Крутч Д. Мозг – не машина (пер. с англ.) // Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная: Сб. – Москва: Наука, 1968. – С. 93-100.

12. ЛаВей. Записная книжка дьявола (пер. с англ.). URL: <http://warrax.df.ru\Satan\Books>.

13. Ляпунов А. А. Об управляющих системах живой природы // Проблемы кибернетики / ред. А. Ляпунов. – Москва: Физматгиз, 1963. – Вып. 10. – С. 179-193.

14. Методи штучного інтелекту: навч. посіб. / В. Б. Гітіс, К. Ю. Гудкова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 136 с.

15. Мормуль М. Ф., Щитов О. М., Щитов Д. М. Аспекти багатокритеріального вибору управлінських рішень // SWorldJournal. – 2023. № 19, part 1. – С. 64-76. DOI: 10.30888/2663-5712.2023-19-01-018.

16. Нейман Дж. Общая и логическая теория автоматов / В кн.: Тьюринг А. Может ли машина мыслить? (пер. с англ. Ю. Данилова). – Москва: Гос. изд-во физико-мат. литературы, 1960. – 68 с.

17. Погореленко А. Штучний інтелект: сутність, аналіз застосування, перспективи розвитку // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Економічні науки. – 2018. – № 32. – С. 22-27.

18. Ракитов А. И. Философия компьютерной революции. – Москва: Директ-Медиа, 2013. – 293 с.

19. Романчук Л. А., Щитов О. М. Штучний інтелект – на сторожі закону // Вісник Академії митної служби України. – 2001. – №3. – С. 30-38.

20. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія / За ред. А. Шевченка. – Київ: Наука і освіта, 2023. – 305 с.

21. Тегмарк М. Життя 3.0.: доба штучного інтелекту (пер. с англ. З. Кораблиної.). – Київ: Наш формат, 2019. – 432 с.

22. Терц А. В тени Гоголя // Терц А. Собр. соч.: В 2 т. Т. 2. – Москва: Аграф, 2003. – 416 с.

23. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект. – Москва: Наука, 1978. – 192 с.

24. Чанышев А. Н. Трактат о небытии // Вопросы философии. – 1990. – № 10. – С. 158-165.

25. Шкловский И. С. Проблемы внеземных цивилизаций и ее философские аспекты // Вопросы философии. – 1973. – № 2. – С. 76-93.



26. Шрейдер Ю. А. Искусственный интеллект, рефлексивные структуры и антропный принцип // Вопросы философии. – 1995. – № 7. – С. 163-167.

27. Шубарт В. Европа и душа Востока (пер. с нем. В. Васильева-Востокова) // АУМ. Синтез мистических учений Запада и Востока. – № 4. – Нью-Йорк, 1990. – С. 11-161.

28. Энциклопедический словарь: В 3 тт. / Гл. ред. Б. А. Введенский. – Москва: Большая советская энциклопедия, 1955. – Т. 3.

29. Эшби У. Что такое разумная машина // Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная / ред. А. И. Берга и Э. Кольмана. – Москва: Наука, 1968. – 311 с.

30. Яценко В. О. Новий підхід до розробки штучного інтелекту подібного інтелекту людини // Штучний інтелект. – 2023. – № 1. – С. 105-121.

**Abstract.** *The origins, problems and contradictions in the creation and research of artificial intelligence are considered. His roles in cinema and in the future are analyzed. Prospects, paths to directions of development, predictions of scientists and artists regarding the relationship between AI and man are indicated. The types and forms that AI can take are defined: 1) virtual (computer programs, self-learning systems); 2) mechanical (androids or robots); 3) mechano-biological (cyborgs or terminators), 4) connections between a person and a computer); 5) “cybernetic germ”), including “robot collective” or “machine civilization”.*

**Keywords:** *artificial intelligence, robot, manipulator, thinking machine, cyborg, android, humanity, modeling of consciousness.*



UDC 629.238

## TECHNOLOGIES OF 2D ANIMATION ТЕХНОЛОГІЇ 2D АНІМАЦІЇ

**Ananchenko O./ Ананченко О.***Student / студент***Bridnia A./Брідня А.***Student / студент***Kozlenko O./Козленко О.***Student / студент***Levchuk A./Левчук А.***Student / студент***Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.***PhD / к.пед.н, доцент кафедри**ORCID: 0000-0003-4079-4901*

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

**Annotation.** Animation (literally means "to bring to life") is an art form that consists in the sequential change of drawn frames. Nowadays, animation is a rather popular technology and has a great importance in human life.

**Keywords:** 2D, Adobe Animation, artificial intelligence, frames per second, animation, animation principles, software.

### Introduction.

In our constantly evolving world, animation remains an enduring and beloved form of art for people of all ages. From classic Disney animations to innovative high-quality 3D animations, it captivates audiences. 2D animation technologies are not limited to the film industry; they are also applied in various domains such as video games, website creation, advertisements, presentations, and more. Their straightforward technology makes conveying information quite effortless.

### Research Objectives:

- To get acquainted with the general history of animation
- Learn to understand the basics of 2D animation and the stages of its creation
- Learn the basic concepts and principles of animation.
- Consider software programs and their content.
- Analyze current trends and innovations in 2D animation.

**Background.** The origins of this significant art form can be traced back to the Paleolithic era. During that time, people created vessels adorned with animal drawings, and when these vessels were rotated, they produced an imitation of moving images. A vivid example is a cup discovered in southeastern Iran, dating back 5000 years. On this ancient vessel, a goat is depicted leaping to eat leaves from a tree. While this is far from the animations we know today, the underlying technology remains remarkably similar.

Our ancestors also created animations on rocks. Despite the chaotic and abstract nature of these drawings, they conveyed information that aided historians and



archaeologists in understanding that era. For instance, the Great Hall of Bulls in France features an “animated” depiction of a hunt.

Another crucial invention dates back to 1603: the “Magic Lantern”. The Magic Lantern was a projector that displayed images painted on glass. Some parts of these images were movable, making it an early example of frame-by-frame animation.

In 1831, the “Phenakistoscope” was invented. This device consisted of a cardboard disk with slits. Figures were drawn on the disk, and when it was spun, motion was created. Joseph Plateau, the inventor, described it as the “principle of modern cinema or, more accurately, the law on which film recording or projection is based.” The Phenakistoscope served as the foundation for many subsequent inventions. Following a similar technology, the “Zoetrope” was created in 1834.

A zoetrope is a drum-like device with strips of images attached to its inner walls. When the drum spins rapidly, it creates a sequential motion of the images. Unlike the phenakistoscope, the zoetrope can accommodate a greater number of images, making it a technological advancement in animation.

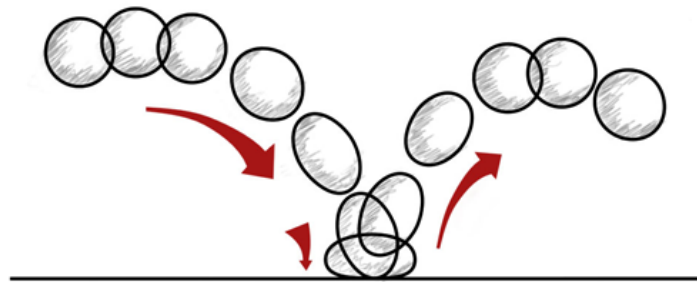
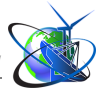
Even more closely aligned with modern animation technology is the “flip book”, dating back to 1868. A flip book consists of pages with drawn images, and when a person rapidly flips through the pages, the animation comes to life. Flip books were popular among both children and adults.

In the early 20th century, the animation industry experienced rapid growth. Projects like “Mighty Mouse,” “Betty Boop,” “Felix the Cat,” and “Mickey Mouse” emerged. One of the most significant endeavors was by the renowned company Disney, founded by Roy and Walt Disney. As mentioned earlier, Walt Disney created “Mickey Mouse” and later “Snow White”, which were among the first hand-drawn animations. The technology for creating such cartoons was straightforward: different parts of the animation, such as backgrounds and characters, were drawn on separate sheets of paper. These sheets were layered and carefully framed to produce complete animated films

In 1980, the concept of CGI (computer-generated imagery) emerged, revolutionizing the animation industry. The fundamental difference between CGI animation and traditional animation lies in the replacement of hand-drawn art with 3D modeling, akin to a virtual version of stop-motion. An animation form that combines both approaches, utilizing two-dimensional computer graphics, can be considered computer animation [1].

**The basics of 2D animation.** From the inception of 2D animation technology, animators have strived to enhance techniques for connecting frames seamlessly, replicating natural movement, and achieving object fluidity. Over time, they systematized their experiences and developed several specialized techniques that remain fundamental principles in animation today.

*Squash and Stretch.* When a rigid shape transitions from one position to another, noticeable stiffness occurs. While this phenomenon is common with solid objects like dishes or furniture, less rigid bodies exhibit significant movement during transitions. To convey flexibility, animators employ compression and stretching. Crucially, maintaining the object’s volume remains essential. For example, if a ball compresses vertically during motion, it expands horizontally, and vice versa (fig.1).



**Fig. 1. Ball compression during motion**

*Anticipation.* When viewers watch animation, they need events on the screen to occur in a clear and logical sequence. The subsequent action should be understandable even before it happens. This can be something as subtle as a character's eye movement in the direction they will take their next step, or something more significant like a fully executed physical motion: a hand swing before a throw, a low crouch before starting to run, and so on.

In contrast to this principle is the “element of surprise”, which works only when the audience is not forewarned about upcoming events on the stage.

*Staging.* Each animation element communicates with the viewer to some extent, so it must be entirely comprehensible, leaving no room for misinterpretation. The character's intentions should be discernible from their actions, and the character's personality should influence their behavior. Emotions and experiences should evoke empathy in the audience. Every frame should contribute to the viewer's understanding of the story. Achieving this involves considering the overall scene atmosphere, lighting, play of light and shadow, camera angles, character movements, distance between the camera and characters, color palette, contrast, and more.

*Straight Ahead Action and Pose to Pose* are the two primary approaches to animation (fig. 2):

**Straight Ahead Action:** In this method, the animator creates a scene gradually, starting from the first frame and then drawing subsequent frames one after another. While the animator knows the plot and events that should occur in the scene, they can introduce new ideas during the animation process until the scene is complete. However, this approach can sometimes result in a slightly comical appearance because maintaining proportions and character positions becomes challenging.

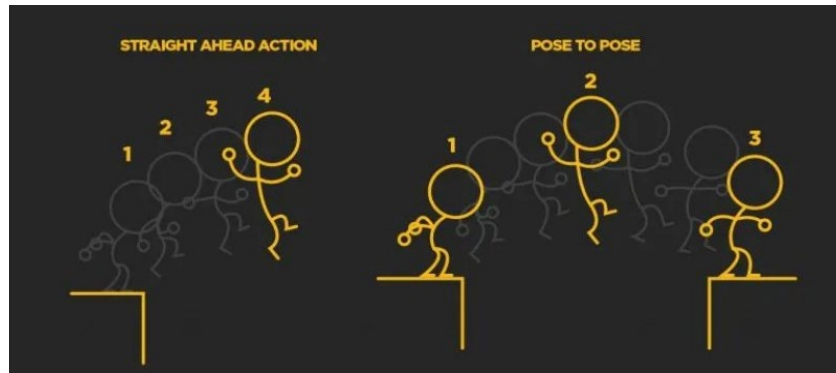
**Pose to Pose:** This technique involves identifying key frames in the scene and creating them upfront. The in-between frames are filled in later. Pose to Pose provides greater control and clarity of movement. Often, a combination of both methods is used. For instance, when animating a character with long hair, their overall movement might follow the Pose to Pose approach, while the hair movement is animated using Straight Ahead Action.

*Through and Overlapping Action.* To avoid rigid and abrupt character motion stops and achieve naturalness, animators needed to better convey the physical laws of movement, including inertia. The movement of lighter body parts (such as limbs and hair) and relatively separate elements (like clothing) follows their own rules, independent of the body's main motion. After the character stops, some parts may

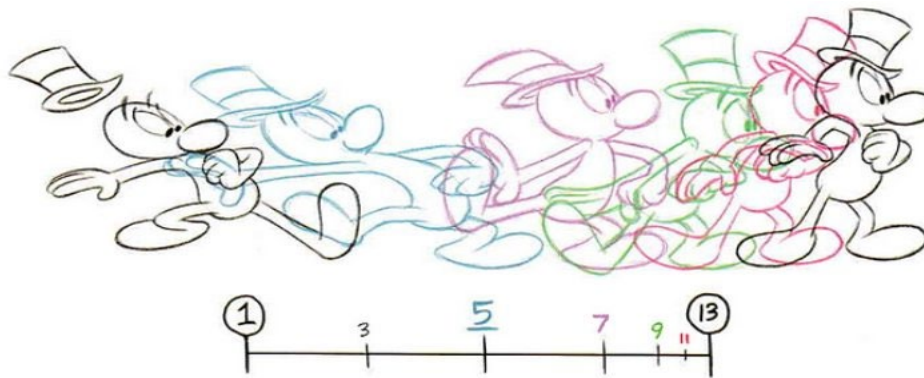




continue their movement for a few frames (fig. 3). Gradual movement also means that different parts of the character’s body initiate motion not simultaneously but with slight delays or lags [6].

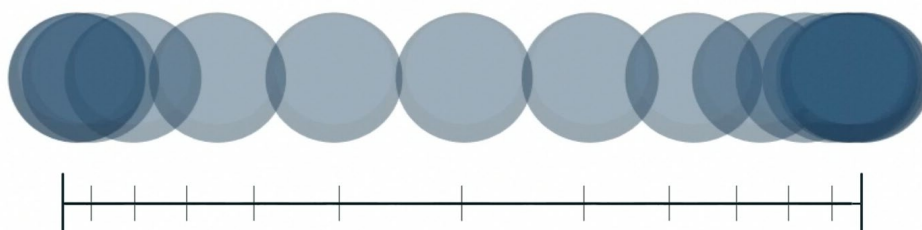


**Fig. 2. Straight Ahead Action and Pose to Pose animations**



**Fig. 3. An example of the effect of inertia when the character stops**

*Slow In and Slow Out:* Undoubtedly, keyframes are more critical for perception than in-between frames. However, if the time allocated for displaying each frame were equal, viewers might miss the best elements of the scene. To prevent this, in-between frames are concentrated closer to the keyframes, leaving one frame in the middle. This approach achieves a lively result. Thus, the entrance and exit to keyframes occur gradually, giving rise to the name (fig. 4).

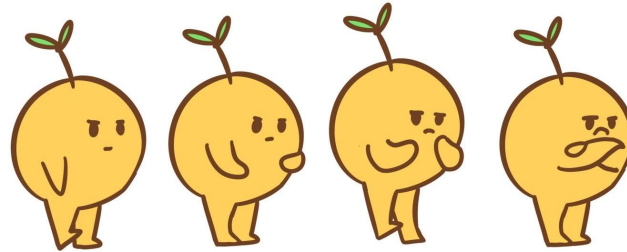


**Fig. 4. Placing frames on the timeline with Slow In and Slow Out**

*Arcs:* Most living creatures do not move strictly in straight lines; their movements follow slightly curved paths. This movement along an arc is one of the factors distinguishing living organisms from machines. Therefore, utilizing this principle is essential for achieving smooth and natural motion.



*Secondary Actions:* Any action that emphasizes the primary action is considered secondary. It should not distract the viewer's attention or be more interesting than the main action. For example, if a character is curious about something, they might put on glasses to underscore their interest. When applied correctly, secondary actions enrich the scene and add depth to the character (fig. 5).



**Fig. 5. An example of using secondary actions**

*Timing and motion.* The standard frame rate is 24 frames per second. The number of frames spent on a particular movement will determine the amount of time it takes to perform it. Sometimes you don't need to create a new pattern for each frame, you can use it twice. This will make the movement look slower and smoother.

*Exaggeration.* For animation, excessive realism can be boring and unexpressive. Exaggerating emotions, facial features, or body structure makes it easier for the viewer to understand a character's character or role in the story.

*Solid drawing.* An animator needs to know the basics of drawing, because they often need to depict an object of a complex shape from all possible angles, in any position. The animator must know how objects behave in three-dimensional space and be able to reflect this in 2D, while maintaining the balance of the drawing, proportions, lighting, etc.

*Appeal.* Attractive things and design attract the human eye. You want to look at a good image for a long time and evaluate it. Not all animated characters have to be liked by the viewer, but they need to be interesting, even the villains and villains need to have their own charisma to make their actions interesting to watch [2].

### **The process of creating 2D animation**

#### 1. The pre-production stage:

✓ *Script:* development of a script for the project. A script is a text document that describes what should happen on the screen: each scene and character dialogues are described in detail with remarks.

✓ *Storyboard:* a series of drawings that show how each scene of the animation will look like. It allows animators to define how characters will move, how the camera will follow the action, and how different shots will look.

✓ *Conceptualization:* defining and approving the general idea of the animation.

#### 2. The production stage:

✓ *Character design:* creation of detailed character designs that should depict their appearance, facial expressions, and some movements.

✓ *Background design:* development of the background.

✓ *Layout:* planning the arrangement of characters and backgrounds in each scene.



- ✓ *Animation*: creation of the actual animation.
- ✓ *Clean-up*: improving the created animation, ensuring consistency and smoothness.
- ✓ *Color*: adding color to characters and backgrounds.
- ✓ *Compositing*: combining all the elements that have been created (characters, backgrounds, effects) into the final scene.

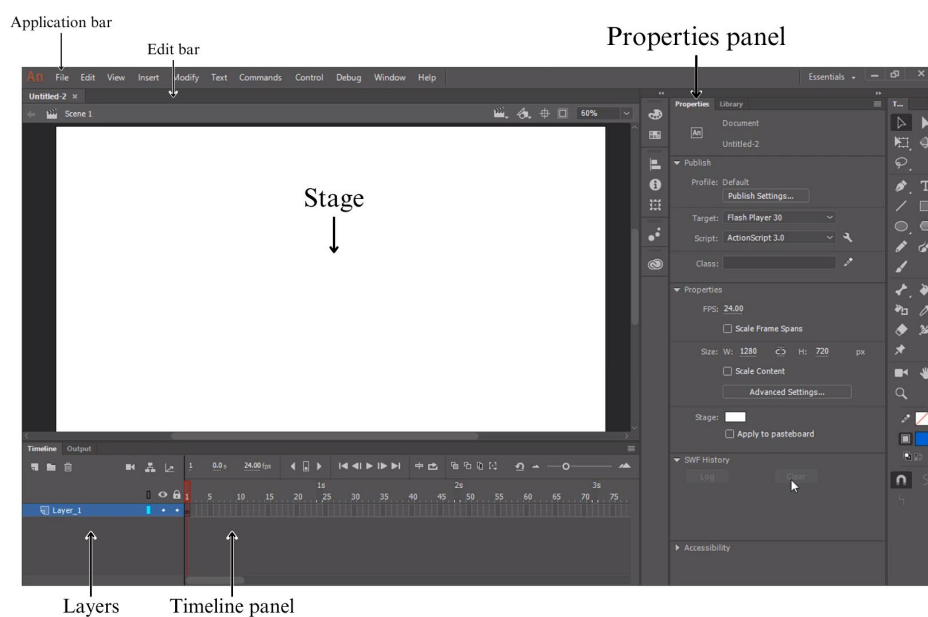
### 3. The post-production stage [3]:

- ✓ *Editing*: arranging scenes in the right order and adjusting the timing.
- ✓ *Sound design*: adding sound effects, music and dialogues.
- ✓ *Rendering*: creating the final frames of the animation.
- ✓ *Quality control*: checking the animation for errors or inconsistencies.
- ✓ *Presentation*: providing the finished animation to the audience.

**Software for 2D animation.** Creating 2D animations in the digital realm requires suitable software and hardware to realize and display graphical elements. Several software solutions are available, ranging from free to conditionally free or requiring monthly or annual subscriptions. Each application has its advantages and drawbacks, but the primary goal of all is to provide users with tools to bring their creative ideas to life.

While each program offers different features, let's focus on a more detailed analysis of Adobe Animate. Considering its compatibility with other Adobe products, this application provides a broader range of capabilities [5].

As with any content playback application, we begin by creating a scene where we'll work and edit the graphics. After creating a scene with certain parameters (width, height, resolution, FPS (Frame per second), and platform type), we have access to a workspace that can be customized, but we'll consider the default settings (fig.6).



**Fig. 6 Adobe Animate workspace**

When working with a canvas for creating graphical elements, we can begin by utilizing layers and the timeline panel (fig.6). By adding geometric primitives using



built-in tools or importing raster images onto the scene, we can organize them into different layers and initiate the animation process.

The entire animation process revolves around creating frames, which change from one to another with each subsequent second, ultimately forming a sequence. The smoothness of the animation directly depends on the set frames per second (FPS). Keyframes play a crucial role in animation. In between these keyframes, gaps are filled using various animation methods, as described below.

Working with colors and other settings within the application is much simpler thanks to the built-in tools. One significant difference between traditional paper-based animation and computer-based animation lies in the ease of making corrections in the final project. Instead of redoing the entire work, adjustments can be made with a few mouse clicks if the end result doesn't meet the publisher's requirements [4].

Adobe Animate offers extensive functionality for creating and editing animations. However, it may not suit everyone due to its payment requirements or other issues. As alternatives, there are free solutions such as Synfig Studio, Wick Editor, TupiTube, and Pencil2D. Additionally, several paid options like Animation Desk, Procreate Dreams, and Expressive Animator cater to different needs. Depending on individual preferences and requirements, users can choose the program that best suits their animation goals [5].

**Current Trends and Issues in 2D Animation.** With the advent of modern computer technologies and advancements in existing animation techniques, new opportunities arise for animators transitioning to digital workstations. To comfortably use animation software and render geometric primitives or complex graphical objects, appropriate hardware is essential. Graphic tablets have become indispensable tools for professional animators. Additionally, modern computers with enhanced capabilities are necessary for working with detailed objects and rendering final animations.

Annual software updates introduce new features and enhance existing ones. These updates include working with built-in artificial intelligence (AI) within applications, integrating third-party modules, optimizing functionality, and ensuring continuous application performance. As hardware and software continue to progress rapidly, the time required to complete tasks is significantly reduced.

The utilization of trained AI has tremendous potential in graphic design and animation. It allows for the implementation of various processes with just a few mouse clicks. However, while graphic AI shows promise, it does not yet meet the standards of animation studios. Due to their novelty, these applications are typically used for experimentation rather than professional business purposes.

Despite the advancements in hardware and software, the animation process remains intricate and time-consuming, especially when dealing with complex frames. As a result, the industry faces financial challenges and a shortage of skilled professionals. The diverse nature of animation processes further complicates the situation. However, the industry holds significant promise due to ongoing improvements. The Rise of 3D animation has led some studios to shift away from 2D animation, which also contributes to the evolving landscape.



## Conclusion.

2D animation has come a long way – from early animations on pottery and cave walls to Walt Disney’s frame-by-frame animation and today’s computerized techniques using various software. Over time, it has continuously transformed and refined itself, establishing fundamental principles that still guide animators today. The animation process involves several stages: concept development, scripting, storyboarding, actual animation, and revision. For more automated and efficient 2D animation, tools like Adobe Animate are valuable. Additionally, the integration of artificial intelligence holds great potential for the industry, provided it receives adequate funding and attracts new talent.

## References:

1. History of Animation. URL: <https://history-of-animation.webflow.io>.
2. Thomas F., Johnston O. The Illusion of Life: Disney Animation. Hyperion, 1995. 576 p. ISBN 0786860707.
3. 2D Animation Pipeline - A Brief Guide. URL: <https://thevideoanimationcompany.com/2d-animation-pipeline-a-brief-guide>
4. Chun R. Adobe Animate Classroom in a Book® 2024 Release. California: Adobe Inc., 2024. 819 p.
5. Adobe Animate. Version 24.0.0.305. Adobe Inc.
6. Pixi-Gags. ANIMATION - The DISNEY Method! 👍, 2022. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0-VSBjLJVio>.

Стаття відправлена: 10.04.2024 р.

© Ананченко О., Брідня А., Козленко О., Левчук А., Матвєєва Т.В.



## PETER HIGGS AND HIS BOSON – THE PARTICLE OF GOD

**Bridnia A./Брідня А.**

*Student / студент*

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

**Matvieieva T.V./ Матвєєва Т.В.**

*PhD / к.пед.н, доцент кафедри*

*ORCID: 0000-0003-4079-4901*

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
Kyiv, Av.Peremogy, 37, 03056*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

*"I never expected this to happen in my lifetime and shall be asking my family to put some  
champagne in the fridge."*

*Peter Higgs*

**Annotation.** *This article delves into the life and scientific contributions of Peter Higgs, a renowned British physicist whose work revolutionized our understanding of particle physics. From his early struggles with health and education to his groundbreaking theoretical predictions and eventual Nobel Prize-winning discovery of the Higgs boson, Higgs's journey is a testament to the power of perseverance and intellectual curiosity. Through a structured exploration of Higgs's biography, scientific achievements, and impact on modern physics, the article sheds light on the intricate complexities of particle physics and the profound implications of Higgs's work.*

**Keywords:** *Peter Higgs, physicist, particle physics, Higgs boson, Nobel Prize, scientific discovery, theoretical physics, particle accelerator, Standard Model, elementary particles.*

### **Introduction.**

In the realm of science, there exist names that serve as epicenters of revolutionary shifts in the comprehension of fundamental laws of nature. One such luminary is Peter Higgs. His name is invariably associated with the elucidation of a pivotal component of the Standard Model of particle physics - the boson, now bearing his namesake. The life and scientific endeavors of Higgs epitomize steadfast inquiry, creative thought, and profound influence on the discipline of physics.

### **Research objectives:**

1. Investigate the formative experiences and key milestones in Peter Higgs's scientific career.

2. Analyze Peter Higgs's seminal discoveries in the field of particle physics, with a focus on his theoretical framework for the existence of the Higgs boson and its implications for our understanding of fundamental particles and forces in the universe.

3. Examine the contemporary significance of the Higgs boson in modern science.

4. Evaluate the significance and impact of Peter Higgs's contributions to science through the lens of the Nobel Prize in Physics.



**Background.** Peter Higgs was born in the Elswick area of Newcastle upon Tyne, England, in 1929. His father, Thomas Ware Higgs, worked as a sound engineer at the BBC. Due to asthma, he frequently missed school and received education at home. His academic pursuits were influenced by his father's job-related relocations and the upheaval of World War II.

In 1946, at the age of 17, Higgs enrolled at the City of London School, specializing in mathematics. Subsequently, in 1947, he matriculated at the Royal College of London, where he obtained a Bachelor's degree in physics in 1950 and a Doctor of Philosophy degree in 1954 [2].

Following the defense of his dissertation, Higgs served as a senior researcher at the University of Edinburgh (1954 – 1956), after which he held various positions at Imperial College London and University College London. In 1960, he returned to the University of Edinburgh, assuming a faculty position at the Tait Institute of Mathematical Physics.

In 1964, Higgs published his seminal paper, in which he postulated the existence of the Higgs boson, which became a cornerstone of the Standard Model of elementary particles.

#### **Peter Higgs's Scientific Career And Discoveries.**

In 1954, Higgs defended his dissertation titled "Some Problems in the Theory of Molecular Vibrations." That same year, he commenced his teaching tenure at the University of Edinburgh. Peter's formative years were significantly influenced by the summer schools hosted by this institution in the 1960s, featuring luminaries such as Sheldon Glashow and Martinus Veltman, later Nobel laureates [4].

During his youth, Higgs was considered eccentric for pursuing ideas that other physicists viewed skeptically. At that time, there were contentious debates in science regarding how particles acquire mass. Recognizing the shortcomings of prevailing theories, in 1964, he authored an extensive paper outlining his own perspective on the matter.

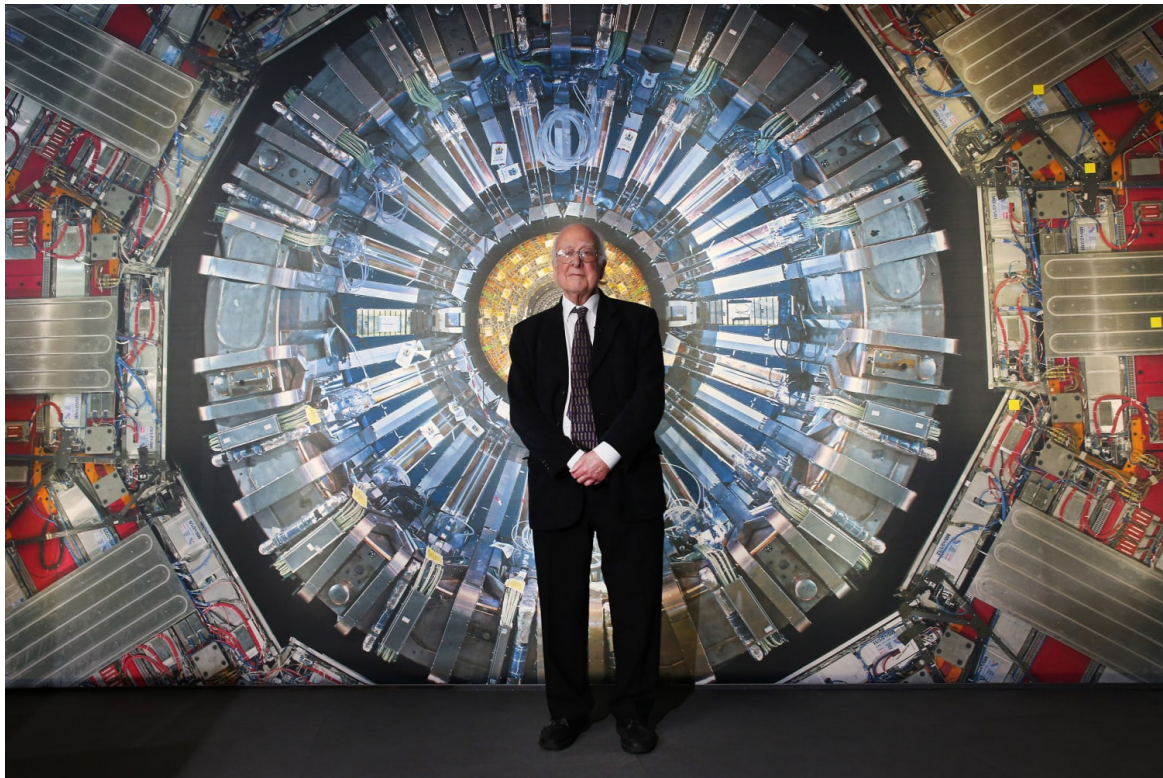
British scientific journals rejected Higgs's publication, prompting him to add two paragraphs and publish it in an American scientific journal. In the penultimate sentence, Peter first mentioned the existence of a new particle, subsequently dubbed the "Higgs boson." The scientific community greeted the British physicist's theory with skepticism, with Stephen Hawking even stating that the Higgs boson would never be found.

Higgs's groundbreaking discovery elucidated how elementary particles obtain mass: through interaction with an invisible "Higgs field" permeating space. However, the existence of the new particle still needed to be proven. Over the course of three decades, Peter Higgs, along with Belgian François Englert and his co-author Robert Brout, conducted experiments, attempting to reproduce the Big Bang by colliding particles, in hopes of observing the Higgs boson in resultant mini-explosions.

In 2012, with the aid of the Large Hadron Collider, the existence of the particle was confirmed. On July 4th, as Higgs entered the lecture hall of the European Organization for Nuclear Research, he was greeted with thunderous applause. Viewers from around the globe watched live as the professor shed tears of overwhelming emotion [5].



**Fig. 1. Peter Higgs and Stephen Hawking**



**Fig. 2. Peter Higgs at the discovery of the Higgs boson in front of the Hadron Collider.**

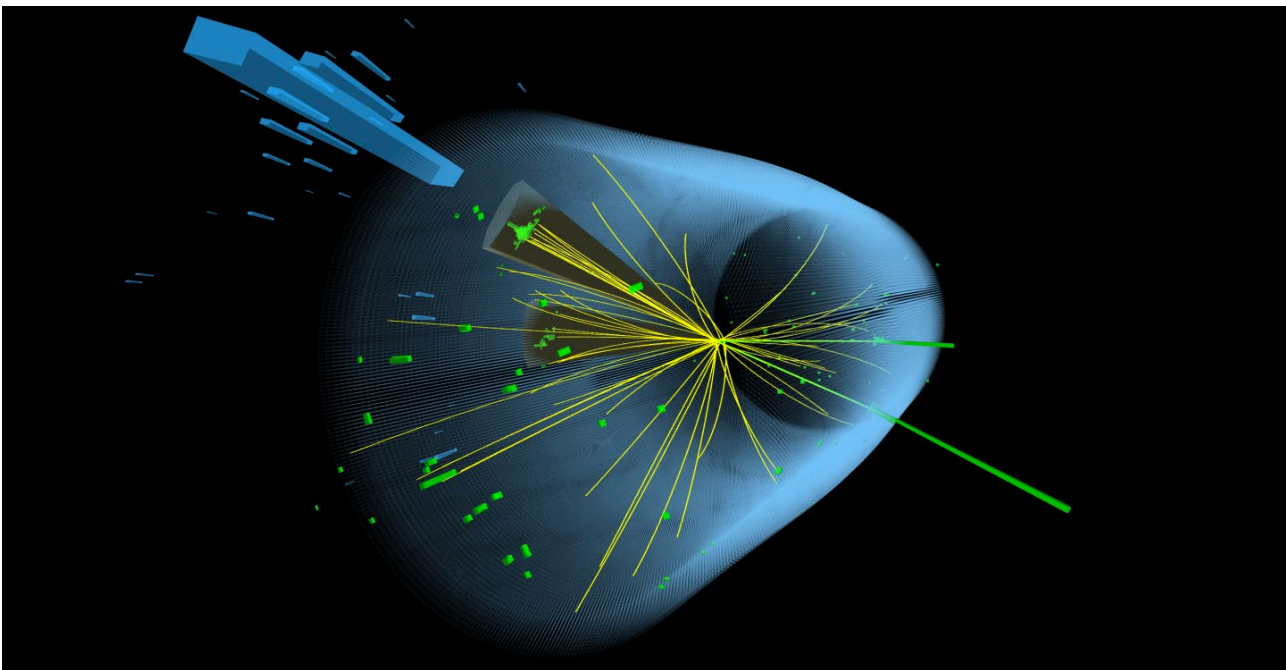
**The role of the higgs boson in modern science.** At the time, scientists were not precisely certain how closely the particle they had discovered corresponded to the predictions of the Standard Model. By March 2013, physicists had amassed sufficient data on the particle to officially declare it as the Higgs boson. A boson is a type of





subatomic particle. Each energy field possesses a specific particle that dictates its interaction with the surrounding environment. According to scientific data, the mass of the Higgs boson is approximately  $125.36 \pm 0.41$  gigaelectronvolts [1].

The Higgs boson serves as the missing link that aids physicists in understanding the structure of the universe. It was postulated by physicists that space is permeated by Higgs bosons. Upon interacting with other elementary particles, bosons impart their mass to them. Therefore, if the mass of certain elementary particles can be calculated, then the mass of the Higgs boson can also be determined. Conversely, knowing the mass of the Higgs boson allows for the calculation of the masses of other elementary particles [3].



**Fig. 3. The Higgs boson**

The discovery of the Higgs boson provides robust support for the Standard Model, offering physical evidence of the universe's invisible field that endowed mass to all matter after the Big Bang, compelling particles to coalesce into stars, planets, and all else. Were the boson not found, the entire theoretical physics framework would collapse. "No Higgs boson—no mass, no mass—no you, no me, no anything else."

The discovery of the Higgs boson has engendered new concerns in science. For instance, Stephen Hawking, in his book "The Grand Design," suggested that the Higgs boson might become unstable at energies exceeding 100 billion gigaelectronvolts (GeV) and, under certain circumstances, could lead to vacuum decay and the complete disappearance of concepts such as space and time. However, he also reassures, stating that such a catastrophe is unlikely, as a particle accelerator reaching 100 billion GeV would need to be larger than the Earth, and it is unlikely to be funded given the current economic conditions [3].

Modern science is not static but continuously and steadily evolves. As of now, there are no practical applications for the Higgs boson. Therefore, contemporary



physicists and astronomers still have much work and experimentation ahead concerning the study of this universe's foundational particle. Scientists anticipate that in several decades, thanks to the discovery of the Higgs boson, it will be possible to...

### **The Nobel Prize.**

The Nobel Prize in Physics for the year 2013 was awarded to British scientist Peter Higgs and Belgian physicist François Englert for the theoretical underpinning of the existence of the boson – a particle through which other elementary particles acquire mass [2]. In the 1960s, they were part of a group of physicists striving to explain the physical phenomenon of mass in elementary particles.

Their proposed theory predicted the existence of a particle, subsequently named the Higgs boson, which was detected at the Large Hadron Collider at CERN in 2012. In developing the theory, alongside Higgs and Englert, were Carl Hagen, Tom Kibble, and Gerald Guralnik, as well as Robert Brout, who passed away in 2011.

Professor Ruben Saakyan of University College London is confident that experimental physicists in Switzerland indeed confirmed the existence of the very particle predicted by Higgs and other theorists.

"This year's prize is dedicated to something very small that explains everything else in our world," said Staffan Normark, Permanent Secretary of the Royal Swedish Academy of Sciences.



**Fig. 4. Peter Higgs at the Nobel Prize award ceremony**

### **Conclusions.**

In conclusion, the life and work of Peter Higgs exemplify the relentless pursuit of scientific understanding and the profound impact a single individual can have on our collective knowledge of the universe. From his early years marked by academic resilience to his groundbreaking theoretical contributions, Higgs's journey embodies the essence of scientific inquiry and innovation.

The discovery of the Higgs boson, culminating in the Nobel Prize in Physics in 2013, stands as a testament to Higgs's visionary insights and the collaborative efforts of the scientific community. His theoretical groundwork, alongside that of his



contemporaries, has not only provided a crucial piece to the puzzle of particle physics but has also deepened our comprehension of the fundamental forces shaping the cosmos.

Moreover, Higgs's humility and dedication serve as an inspiration to aspiring scientists worldwide, emphasizing the importance of curiosity, perseverance, and interdisciplinary collaboration in pushing the boundaries of human knowledge.

As we reflect on Peter Higgs's remarkable contributions, we are reminded of the transformative power of scientific exploration and the enduring legacy of those who dare to question, imagine, and explore the mysteries of the universe.

### References:

1. Jakobs K., Zanderighi G. The profile of the Higgs boson: status and prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2023. Vol. 382, no. 2266. URL: <https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0087>
2. My Life as a Boson: The Story of "The Higgs". *People*. 2012. 6 September. P. 50–51. URL: <https://nucleares.unam.mx/~bijker/subnuclear/HiggsBoson.pdf>.
3. Raychaudhuri S. The Higgs Boson and its physics: an overview. *Indian Journal of Physics*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s12648-023-02718-8>
4. Rodgers P. Peter Higgs: the man behind the boson. *Physics World*. 2004. Vol. 17, no. 7. P. 10–11. URL: <https://doi.org/10.1088/2058-7058/17/7/17>
5. Sutton C. Peter Higgs obituary: physicist who predicted boson that explains why particles have mass. *Nature*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1038/d41586-024-01103-7>

Стаття відправлена: 18.04.2024 р.  
© Брідня А., Матвєєва Т.В.



УДК 004.7:37.018.2

## USE OF FUNCTIONAL TEMPLATES IN THE CREATION AND DEVELOPMENT OF OPEN ONLINE DISTANCE EDUCATION PLATFORMS

### ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШАБЛОНІВ ПРИ СТВОРЕННІ І РОЗВИТКУ ВІДКРИТИХ ОНЛАЙН ПЛАТФОРМ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Talalaiev V.O. / Талалаєв В.О.

*c.t.s., docent / к.т.н., доцент*

ORCID: 0009-0004-5435-0644

Denisyuk A.V. / Денисюк А.В.

ORCID: 0009-0007-4034-4659

Kyrylenko A.O. / Кириленко А.О.

ORCID: 0009-0004-2658-6692

*National Aviation University, Kyiv, Liubomyr Huzar, 1, 03058**Національний авіаційний університет, Київ, Любомира Гузара, 1, 03058*

**Анотація.** Стаття присвячена питанню використання функціональних шаблонів при створенні та розвитку відкритих онлайн-платформ дистанційного навчання. У роботі обґрунтовано актуальність розробки спеціалізованої відкритої онлайн-платформи для професійної підготовки ІТ-фахівців. Проаналізовано сучасні дослідження щодо цифровізації вищої освіти та необхідності впровадження нових форм організації навчального процесу.

Основним результатом дослідження є розробка комплексного підходу до формування функціонального шаблону відкритої онлайн-навчальної платформи (OOLP). Такий підхід ґрунтується на трансформації стратегічних цілей закладу вищої освіти в конкретні функціональні вимоги до платформи. Запропоновано модульну архітектуру OOLP, що включає базове ядро з типовими функціями та додаткові модулі для реалізації передових технологій, зокрема на основі штучного інтелекту. Представлено алгоритм формування динамічних функціональних шаблонів OOLP, синхронізованих з різними часовими перспективами стратегічного розвитку університету. Це забезпечує поступове нарощування функціональності платформи відповідно до актуальних пріоритетів і цілей навчального закладу. Визначено перспективні напрями подальших досліджень, пов'язані з комплексним впровадженням новітніх технологій, таких як штучний інтелект, доповнена та віртуальна реальність, в архітектуру та функціональні можливості OOLP.

**Ключові слова:** відкрита навчальна онлайн-платформа (OOLP), функціональний шаблон, смарт-університет, професійна підготовка ІТ-фахівців, дистанційне навчання.

#### Вступ. Постановка проблеми

Стрімкий розвиток інформаційних технологій зумовлює постійне ускладнення і розширення спектру професійних вимог до ІТ-фахівців.

Сучасні роботодавці потребують висококваліфікованих спеціалістів, які не лише володіють фундаментальними теоретичними знаннями, а й здатні оперативно застосовувати свої компетентності в умовах швидкоплинного ринку праці. Однак, традиційні підходи до професійної підготовки ІТ спеціалістів у закладах вищої освіти (ЗВО) часто не встигають за темпами технологічних змін, що призводить до виникнення значного розриву між очікуваннями роботодавців і реальними результатами навчання випускників.

Серед основних чинників, що обумовлюють цю проблему, можна виокремити: статичність освітніх програм, які повільно реагують на динаміку



розвитку ринку праці; труднощі оперативного оновлення та адаптації змісту навчальних дисциплін відповідно до нових реалій в актуальних технологіях; обмеженість ресурсів в освітніх закладах для забезпечення якісної підготовки за новітніми технологіями; недостатню мотивацію здобувачів до самостійного оновлення професійних знань тощо. Зазначені чинники зумовлюють актуальність пошуку ефективних рішень, здатних забезпечити гнучке, персоналізоване та актуальне навчання ІТ-фахівців відповідно до вимог ринку праці. Створення відкритої онлайн-платформи як комплексне освітньо-технологічне рішення, що забезпечує організацію та реалізацію процесів дистанційного навчання може стати ефективною відповіддю на виклики, пов'язані з підготовкою конкурентоспроможних ІТ-фахівців.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Наявність об'єктивних передумов для створення спеціалізованої відкритої онлайн-навчальної платформи для ІТ-освіти в Україні підтверджується рядом наукових праць із проаналізованих наукових джерел.

У колективній монографії «Інформаційні технології у вищій школі» [2] констатується суперечність між зростаючими вимогами роботодавців та суспільства до рівня цифрової компетентності майбутніх фахівців та недостатнім рівнем їхньої підготовки у закладах вищої освіти. Зокрема, автори вказують на брак загально-дидактичних підходів до викладання технічних дисциплін в області ІТ, відірваність змісту таких дисциплін від реалій сучасного високотехнологічного виробництва, що опосередковано вказує на необхідність пошуку і впровадження нових форм професійної підготовки ІТ-фахівців.

У роботі «Цифровізація в університетській освіті: дидактичні аспекти» [1] наголошується, що цифровізація освітнього середовища докорінно змінює весь навчальний процес і вимагає застосування нового дидактичного підходу, який має враховувати залучення нових учасників (розробників програмного забезпечення, власників освітніх платформ, тьюторів, фасилітаторів тощо). Автори акцентують увагу на необхідності переорієнтації навчання на задоволення потреб студентів як споживачів освітніх послуг.

Безпосередню ідею створення відкритої онлайн-платформи для ІТ-освіти в Україні розвиває стаття «Реалізація концепції smart-університету в умовах дистанційної освіти» [4]. У даній статті розглядається концепція «розумного університету» (Smart University) як логічний крок на шляху розвитку ідей «розумної освіти», що передбачає поширення інтерактивного навчального контенту та забезпечення ефективною взаємодією усіх учасників освітнього процесу у глобальному інформаційно-освітньому просторі, що повною мірою корелює з ідеєю створення спеціалізованої онлайн-платформи.

Незважаючи на задекларовані в проаналізованих джерелах наміри та об'єктивну потребу в оновленні підходів до професійної підготовки ІТ-кадрів, реальний стан використання в Україні відкритих онлайн-ресурсів для навчання у галузі інформаційних технологій, за даними статті «Відкриті цифрові освітні ресурси у галузі ІТ: кількісний аналіз» [6], залишається вкрай незадовільним через надзвичайно малу кількість власних вітчизняних платформ і курсів



порівняно із закордонними аналогами. Автор відзначає, що «розробка і просування відкритих освітніх ресурсів в Україні започатковані, але не можна говорити про розвиненість цього руху».

Таким чином, здійснений аналіз інформаційних джерел засвідчує актуальність створення спеціалізованої відкритої онлайн-платформи для ІТ-освіти в Україні на основі світових здобутків та кращих практик. Проте визначення її функціонального наповнення, ефективних шляхів розвитку та адаптації до умов сьогодення залишається відкритою задачею, що потребує ґрунтовного вивчення.

Об'єктом наукового дослідження в межах представленої роботи виступають процеси організації та реалізації онлайн-навчання як невід'ємної складової сучасного освітнього простору.

Предметом наукового дослідження є відкрита навчальна онлайн-платформа (OOLP) та її ключові функціональні характеристики. У даному контексті OOLP розглядається як системний об'єкт, що поєднує кращі практики дистанційної освіти з метою формування та реалізації пропозицій навчання за рейтинговими і топовими профілями професійних компетентностей ІТ-фахівців.

Метою представленого наукового дослідження є обґрунтування необхідного функціонального наповнення відкритої онлайн-навчальної платформи (OOLP), яка б дозволяла ефективно інтегрувати та імплементувати кращі практики організації дистанційного навчання з урахуванням сучасних тенденцій в розвитку освітніх та інформаційних технологій.

В роботі ключовим аспектом вирішення актуальної задачі створення відкритої онлайн-навчальної платформи (OOLP) для професійної підготовки ІТ-фахівців стала розробка функціонального шаблону як ефективного інструменту системного формування необхідного складу функціональних можливостей майбутньої платформи.

#### **Результати дослідження.**

Аналіз провідних і передових відкритих освітніх платформ демонструє, як різноманітні технологічні та педагогічні інновації знаходять своє застосування в освітньому процесі. [3]

Так, до прикладу, такі передові досягнення в галузі ІТ, як доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR), знаходять своє застосування в створенні інтерактивних навчальних середовищ. Використання систем AR та VR сприяє поглибленому засвоєнню матеріалу шляхом взаємодії учнів з віртуальними об'єктами та ситуаціями. Показовим прикладом є платформа віртуальних лабораторій Labster, яка спеціалізується на інтерактивних симуляціях наукових експериментів. Крізь призму концепції «навчання через досвід», описані технології забезпечують занурення учнів в інтерактивне середовище моделювання реальних процесів, що посилює мотивацію та включеність їх в освітній процес.

Популярна платформа Coursera є одним з найбільших світових провайдерів масових відкритих онлайн-курсів (МВОК). Дана платформа активно використовує досягнення штучного інтелекту для підвищення



персоналізації та інтерактивності навчання. Зокрема, в рамках курсів впроваджено чат-бот технологію на основі обробки природної мови, що надає персоналізовані підказки та пояснення до навчального матеріалу, відповідає на запитання користувачів, допомагаючи ефективніше засвоювати знання.

Ще одним прикладом є Duolingo – популярна платформа для вивчення мови, яка пропонує широкий спектр можливостей та інструментів для користувачів будь-якого рівня знань. Одним з ключових елементів, який відрізняє Duolingo від інших систем, є використання «гейміфікації» – стратегії, яка полягає в тому, щоб використовувати елементи гри для стимулювання та мотивації користувачів [5].

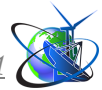
Також активно використовується аналітика навчальних траєкторій та алгоритми рекомендацій контенту в рамках концепції адаптивного навчання. Для цього використовується алгоритмічний підхід до аналізу взаємодії студентів з навчальним контентом для виявлення прогалин у знаннях та рекомендації додаткових матеріалів. Така методика дозволяє модифікувати складність завдань та темп освоєння контенту у режимі реального часу на базі даних про успішність кожного окремого студента, що в свою чергу значно підвищує ефективність онлайн-навчання. IXL – це онлайн-платформа, яка використовується для персоналізації навчання учнів. IXL використовує адаптивний алгоритм для точного визначення загальних робочих оцінок учнів та їхніх рівнів за ключовими напрямками.

Таким чином, проведений аналіз провідних відкритих освітніх платформ демонструє широке впровадження різноманітних технологічних та педагогічних інновацій в освітній процес. Це відкриває широкі можливості для модернізації освітнього процесу шляхом впровадження вищезазначених інновацій, що дозволяють підвищити його ефективність та адаптувати до сучасних потреб суспільства.

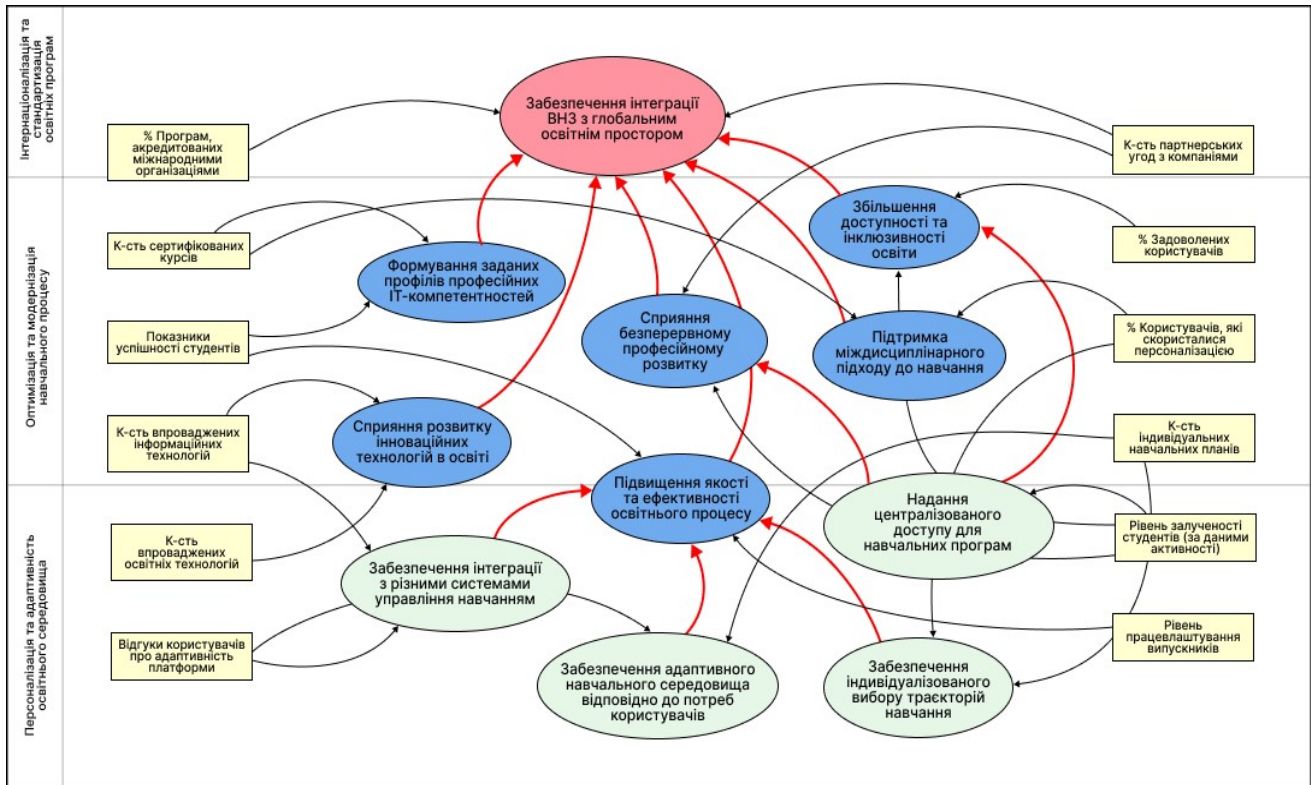
### **Опис рішення**

Впровадження відкритих онлайн навчальних платформ (OOLP) є одним із ключових напрямків реалізації стратегії «Смарт-університету». Метою OOLP є надання ЗВО інструментарію для поступової трансформації в напрямку реалізації даної концепції, що передбачає гнучкі освітні траєкторії, персоналізацію навчання, тісну інтеграцію освітньої діяльності з наукою та інноваціями. Таким чином, з одного боку, вимоги та цілі стратегії розвитку ЗВО в напрямку «Смарт-університету» визначають функціональні можливості, які повинні бути реалізовані в OOLP. З іншого ж боку, розширення та вдосконалення функціоналу OOLP забезпечує технологічну базу для ефективної інтеграції ЗВО в глобальний освітній простір та реалізації інноваційної освітньої парадигми.

У цьому контексті модель стратегічних цілей ЗВО відіграє ключову роль. Дана модель являє собою концептуальну структуру, що визначає загальні напрямки та пріоритети розвитку навчального закладу, його місію, візію, стратегічні цілі та ключові показники ефективності (рисунок 1). У контексті OOLP модель стратегічних цілей ЗВО можна розглядати як високорівневу специфікацію функцій, які повинна забезпечувати пропонована платформа для



інформаційно-технологічної підтримки стратегій розвитку ЗВО. Для досягнення кожної конкретної стратегічної цілі необхідна декомпозиція її на конкретні функціональні вимоги до пропонованої OOLP. Ці функціональні вимоги визначатимуть специфічні сценарії використання, операції та взаємодії, які повинні бути програмно реалізовані для досягнення загальної стратегічної мети.



**Рисунок 1 – Карта стратегічних цілей ЗВО**

*Авторська розробка*

В роботі модель стратегічних цілей ЗВО представляється у вигляді даної карти, що відображає комплексний підхід до визначення концептуальної основи для розробки OOLP. Кожна гілка карти репрезентує окремий стратегічний напрямок розвитку ЗВО, який має бути підтриманий відповідними функціональними можливостями OOLP. Центральним елементом цієї моделі є місія ЗВО, що відображає його основну мету та призначення, визначаючи загальну орієнтацію діяльності навчального закладу. У функціональному шаблоні OOLP місія ЗВО відповідає високорівневим вимогам до платформи, які визначають її загальне призначення та цільове використання.

Стратегічні цілі ЗВО є конкретними орієнтирами, досягнення яких забезпечить реалізацію місії закладу. У функціональному шаблоні OOLP ці стратегічні цілі відповідають основним функціональним областям платформи, які охоплюють різні аспекти навчального процесу, такі як управління курсами, оцінювання, сертифікація тощо. Дані цілі після їх декомпозиції відповідають конкретним сценаріям використання або функціональним вимогам у межах кожного модуля платформи.

Як системний об'єкт OOLP може бути формально представлена у вигляді





кортежу:  $OOLP = \langle F, M, S, I \rangle$ , де:  $F = \{f1, f2, \dots, fn\}$  - множина функціональних можливостей платформи;  $M = \{m1, m2, \dots, mk\}$  - множина функціональних модулів, що реалізують відповідні функції;  $S = \{s1, s2, \dots, sl\}$  - множина сервісів, які надаються платформою;  $I = \{i1, i2, \dots, ip\}$  - множина інтерфейсів взаємодії користувачів з платформою.

Ключовим завданням у процесі розробки відкритої онлайн-навчальної платформи є формування комплексного шаблону її функціональних специфікацій. Даний шаблон повинен забезпечувати тісну інтеграцію функціональних можливостей платформи зі стратегічними цілями та планами розвитку ЗВО. Для досягнення такої інтеграції пропонується методика, яка ґрунтується на трансформації стратегічних цілей ЗВО у конкретні функціональні вимоги до пропонованої платформи. У рамках даної методики передбачається виконання певної послідовності кроків для формування шаблону функціональних специфікацій платформи.

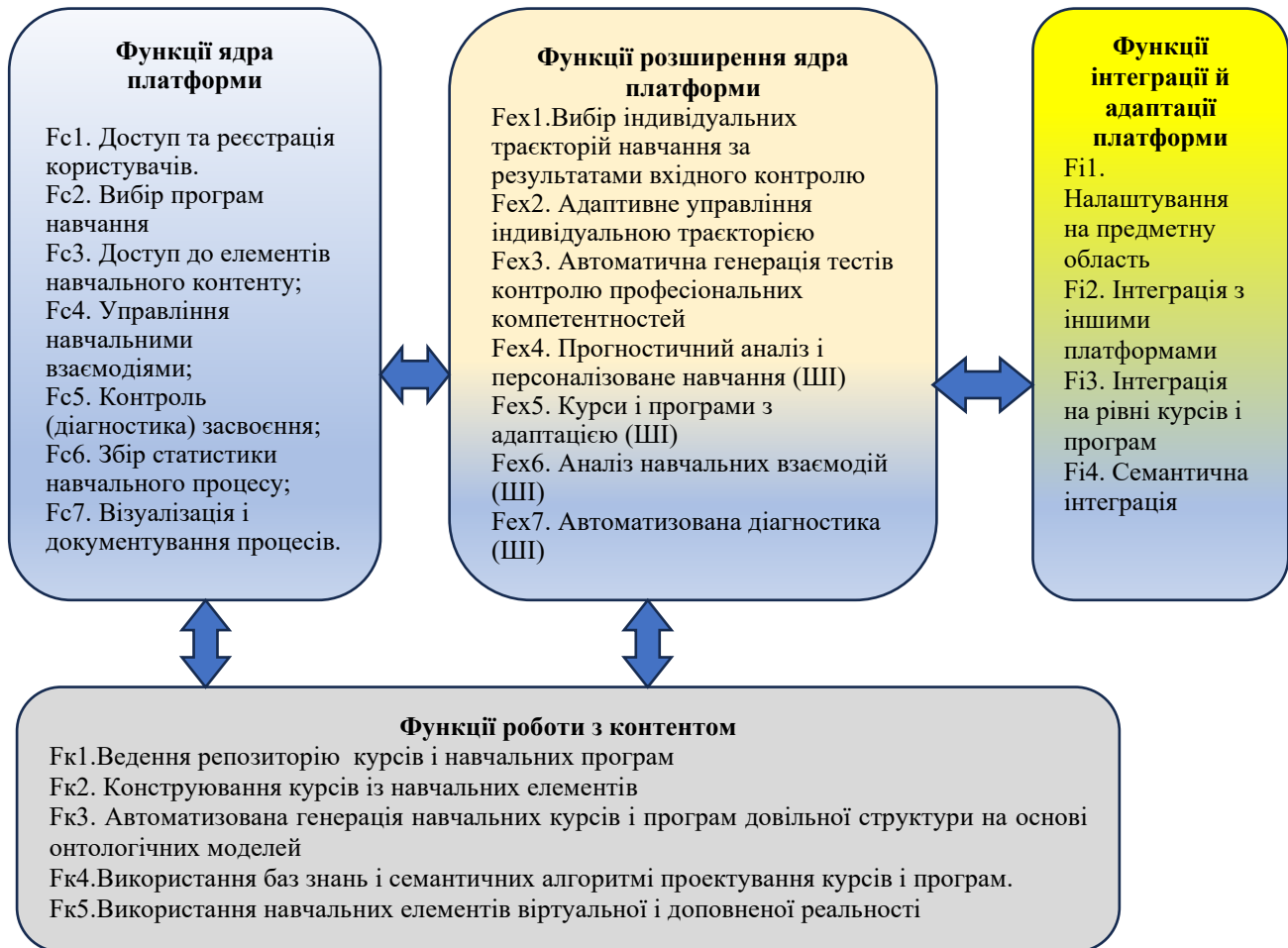
Першим кроком є аналіз карти стратегічних цілей ЗВО, виокремлення ключових компонентів, таких як місія, стратегічні цілі та підцілі - кожен із цих компонентів необхідно розглядати як джерело вимог до функціональності майбутньої платформи. Наступним кроком є декомпозиція стратегічних цілей на конкретні функціональні вимоги до OOLP, яка повинна відбуватися у відповідності до логічної ієрархії компонентів моделі стратегічних цілей. Таким чином, для кожної стратегічної цілі визначається перелік функціональних можливостей платформи, необхідних для її досягнення. Отримані функціональні вимоги групуються у логічні блоки або модулі, кожен з яких відповідатиме певній функціональній області OOLP. На основі визначених функціональних модулів формується загальна структура шаблону OOLP, де кожен модуль повинен містити деталізовані специфікації відповідних функцій. Ґрунтуючись на аналізі існуючих провідних відкритих онлайн-навчальних платформ, пропонується вже згаданий модульний підхід до формування функціонального шаблону. Функціональний шаблон відкритої он-лайн платформи подано на рисунку 2

Ядро платформи акумулює ключові функції, притаманні більшості існуючих OOLP та необхідні для організації навчального процесу в онлайн-середовищі. Цей функціональний базис є мінімально необхідним для реалізації основних операцій з надання навчального контенту, управління навчальними взаємодіями, контролю та діагностики засвоєння знань, збору статистичних даних, авторизації і реєстрації користувачів тощо. Фактично, ядро платформи являє собою універсальний функціональний мінімум, який забезпечує виконання типових завдань систем електронного навчання.

Окрім базового функціонального ядра, запропонована модульна структура включає додаткові функціональні блоки, призначені розширити можливості платформи та забезпечити її відповідність сучасним тенденціям та перспективним напрямкам розвитку освітніх технологій. Зокрема, виділяються модулі розширення ядра платформи, інтеграції та адаптації, а також роботи з навчальним контентом. Модуль розширення ядра відповідає за забезпечення персоналізації та інтелектуалізації навчального процесу шляхом впровадження



передових технологій штучного інтелекту, адаптивних алгоритмів, методів аналітики навчальних даних. Він дозволяє формувати індивідуальні траєкторії навчання, адаптувати контент відповідно до рівня користувача, автоматизувати процеси діагностики та оцінювання засвоєних знань.



**Рисунок 2 – Основні компоненти функціонального шаблону OOLP**

Авторська розробка

Модуль інтеграції та адаптації забезпечує можливість інтегрування платформи з іншими системами, налаштування її на специфіку певної предметної області. Модуль роботи з контентом надає інструменти для автоматизованого конструювання навчальних курсів та програм довільної структури, використання інноваційних форматів навчальних матеріалів, таких як елементи віртуальної та доповненої реальності, а також семантичні методи проектування контенту на основі онтологічних моделей та баз знань.

Для визначення складу функціонального ядра OOLP пропонується використовувати вищезгадану модель стратегічних цілей ЗВО, представлену у вигляді ієрархічної структури:  $SCGoals = \{SC1, SC2, \dots, SCn\}$ , де  $SCi = \langle Gi, Objectives \rangle$  -  $i$ -та стратегічна ціль, що включає загальну ціль  $Gi$  та підпорядковані їй підцілі  $Objectives = \{obj1, obj2, \dots, objm\}$ . Для кожної стратегічної цілі  $SCi$  необхідно визначити відповідні функціональні можливості платформи  $fi \in F$ , такі що для кожної стратегічної цілі  $SCi$  існує відповідна



функціональна можливість  $f_i$  з множини функціональних можливостей платформи  $F$ , яка забезпечує реалізацію даної стратегічної цілі.

Формально це можна записати у вигляді правила:  $\forall SC_i \in SCGoals \exists f_i \in F: SC_i \rightarrow f_i$ .

Для реалізації принципу модульності та гнучкості OOLP пропонується застосовувати декомпозицію функціональних можливостей на логічні модулі  $M$ . Кожен модуль  $m_i \in M$  об'єднує сукупність взаємопов'язаних функцій, спрямованих на забезпечення певної групи освітніх процесів. Формально це записується як  $\forall f_i \in F \exists! m_j \in M: f_i \subseteq m_j$ . Тобто кожна функціональна можливість  $f_i$  належить лише одному модулю  $m_j$ , що забезпечує цілісність та узгодженість архітектури платформи.

Таким чином, запропонований модульний підхід до формування функціонального шаблону поєднує універсальне базове ядро, що реалізує типові функції електронних навчальних систем, з низкою розширених модулів, орієнтованих на впровадження новітніх технологічних рішень в області персоналізації, інтелектуалізації, інтеграції та автоматизації процесів навчання.

Повертаючись до карти стратегічних цілей ЗВО, необхідно виокремити її часову компоненту. Це передбачає не лише ієрархію стратегічних напрямків розвитку університету, але й визначення часових горизонтів, в межах яких передбачається досягнення тих чи інших стратегічних цілей. Дана карта охоплює кілька часових перспектив: короткострокову (1-3 роки), середньострокову (4-7 років) та довгострокову (8-10 років і більше), кожна із яких містить конкретні стратегічні цілі та підцілі, реалізація яких повинна відбутися у відповідному часовому проміжку.

З огляду на це, функціональний шаблон OOLP також має враховувати часовий аспект. Саме тому у підході, що пропонується для кожної часової перспективи карти стратегічних цілей формується окремий функціональний шаблон OOLP. Такий шаблон являтиме собою проміжний стан функціональності платформи, орієнтований на досягнення відповідних стратегічних цілей у визначені часові рамки. У формалізованому виді послідовність формування таких функціональних шаблонів для різних часових перспектив реалізовується за допомогою вище згаданого алгоритму трансформації карти стратегічних цілей ЗВО у функціонал OOLP наступним чином. Нехай  $T = \{T\_short, T\_medium, T\_long\}$  - множина часових перспектив, де:  $T\_short$  - короткострокова перспектива (1-3 роки),  $T\_medium$  - середньострокова перспектива (4-7 років),  $T\_long$  - довгострокова перспектива (8-10 років і більше). Тоді для кожної часової перспективи  $T_i \in T$  ми можемо визначити відповідні стратегічні цілі  $SCGoals\_i: SCGoals\_i = \{SC\{i1\}, SC\{i2\}, \dots, SC\{in\}\}$ , де  $SC\{ij\}$  -  $j$ -та стратегічна цілі, що належить часовій перспективі  $T_i$ . Відповідно до запропонованого підходу, для кожної часової перспективи  $T_i$  формується окремий функціональний шаблон  $OOLP\_i$ , такий що:  $OOLP\_i = \{f\{i1\}, f\{i2\}, \dots, f\{ij\}\}$ , де  $f\{ij\}$  -  $j$ -та функціональна можливість платформи, спрямована на реалізацію стратегічних цілей  $SCGoals\_i$ . Формально, зв'язок між стратегічними цілями  $SCGoals\_i$  та функціональними можливостями  $OOLP\_i$  можна описати наступним правилом:  $\forall SC\{ij\} \in SCGoals\_i \exists f\{ik\} \in$



$OOLP_i: SC\{ij\} \rightarrow f\{ik\}$ . Тобто для кожної стратегічної цілі  $SC\{ij\}$  існує принаймні одна функціональна можливість  $f\{ik\}$  в шаблоні  $OOLP_i$ , яка забезпечує реалізацію даної стратегічної цілі.

Застосування даного алгоритму до компонентів карти стратегічних цілей, які належать до короткострокової перспективи, дозволить сформувати базовий функціональний шаблон OOLP. Такий шаблон міститиме ядро функціональних можливостей, необхідних для забезпечення основних операцій та виконання найбільш нагальних стратегічних завдань ЗВО на початковому етапі. Після цього алгоритм трансформації може бути застосований до середньострокових стратегічних цілей та підцілей – така версія доповнить та розширить базовий шаблон новими модулями та компонентами, спрямованими на досягнення відповідних стратегічних орієнтирів у визначений проміжок часу.

На основі довгострокових компонентів карти стратегічних цілей формується функціональний шаблон OOLP для довгострокової перспективи. Цей шаблон відображатиме максимально повний та розширений стан функціональності платформи, необхідний для забезпечення інноваційних технологічних рішень та реалізації стратегічного бачення ЗВО в довгостроковій перспективі.

Таким чином, застосування алгоритму трансформації до різних часових перспектив карти стратегічних цілей дозволяє отримати набір динамічних функціональних шаблонів OOLP, кожен з яких адаптований до конкретного етапу розвитку ЗВО та визначає стан функціональності платформи, необхідний для вирішення актуальних стратегічних завдань на цьому етапі.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень.**

Проведене дослідження засвідчує актуальність та необхідність розробки відкритої онлайн-навчальної платформи для професійної підготовки ІТ-фахівців у сучасних умовах.

У рамках дослідження запропоновано комплексний підхід до формування функціонального шаблону OOLP, що ґрунтується на трансформації стратегічних цілей закладу вищої освіти в конкретні функціональні вимоги до платформи. Дана методика забезпечує тісну інтеграцію OOLP з пріоритетами розвитку навчального закладу та уможливорює розробку динамічних функціональних шаблонів, адаптованих до різних часових перспектив.

Перспективним напрямом подальших досліджень є впровадження новітніх технологій, зокрема систем штучного інтелекту, в архітектуру та функціональні можливості OOLP. Комплексне впровадження прогресивних технологій в функціонал OOLP відкриває перспективи для суттєвого підвищення ефективності та якості професійної підготовки ІТ-фахівців. Провідною технологією, що витіснить класичні підходи, стане штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання. ШІ-системи відіграватимуть ключову роль в адаптивному навчанні, персоналізації контенту, автоматизованому оцінюванні, а також у вигляді інтелектуальних віртуальних асистентів та чат-ботів для підтримки студентів. Технології доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR) набудуть ширшого застосування, забезпечуючи імерсивні навчальні середовища та віртуальні лабораторії, що замінять традиційні методи візуалізації та симуляції.



Аналітика навчання стане невід'ємною складовою майбутніх OOLP, дозволяючи збирати та аналізувати дані про діяльність студентів з метою постійного вдосконалення навчальних траєкторій та методик викладання.

### Література:

1. Абисова М., Кравчук М., Гурняк О. Цифровізація університетської освіти: дидактичний аспект // Information Technologies and Learning Tools, 2023. 93(1). – С.68-79. DOI: 10.33407/itlt.v93i1.5097
2. Інформаційні технології у вищій школі : Монографія / за заг. ред. Вакалюк Т.А., Литвинової С.Г. – Житомир: вид-во ФОП «О.О.Євенок», 2019. – 364 с.
3. Ніколаєнко, Я. М. Електронне освітнє середовище: світові тенденції розвитку онлайн-освіти // Державна науково-педагогічна бібліотека України імені В.О. Сухомлинського НАПН України, 2021. - С.90-95.
4. Потапчук О.І., Луцик І.Б., Гевко І.В., Буюк Б.Б Реалізація концепції smart-університету в умовах дистанційної освіти // Information Technologies and Learning Tools, 2022. 92(6). - С.140-153. DOI: 10.33407/itlt.v92i6.5009
5. Саган, О. В. Гейміфікація як сучасний освітній тренд. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології // Збірник наукових праць «Педагогічні науки», 2022. 100(2). - С.12–18. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2022-100-2>
6. Семеніхіна, О. В., Юрченко, А. О., Сбруєва, А. А., Кузьмінський, А. І., Кучай, О. В., Біда, О. А. Відкриті цифрові освітні ресурси у галузі ІТ: кількісний аналіз // Information Technologies and Learning Tools, 2020. 75(1). - С. 331–348. DOI: 10.33407/itlt.v75i1.3114

### References

1. Abysova, M. A., Kravchuk, M. H., & Hurniak, O. M (2020), «Digitalization in University Education: Didactic Aspects», Information Technologies and Learning Tools, Vol. 93 No. 1 (2023), pp. 68–79.
2. «Information Technology in Higher Education» : Monograph / edited by Vakalyuk T.A., Litvynova S.G. - Zhytomyr: publishing house "O.O. Evenok" (2019), p. 364.
3. Nikolaienko, Y. M. (2020), «Electronic educational environment: world trends in the development of online education,» State Scientific and Pedagogical Library of Ukraine named after V.A. Sukhomlinsky NAPS of Ukraine, pp. 90-95.
4. Potapchuk, O. I., Lutsyk, I. B., Nevko, I. V., & Buyak, B. B (2020), «Implementation of the Concept of a Smart University in Terms of Distance Education», Information Technologies and Learning Tools, Vol. 92 No. 6 (2022), pp. 140-153.
5. Sahan, O. V. (2021), «Gamification as a modern educational trend. Pedagogical Sciences: Theory, History, Innovative Technologies, Collection of scientific works. Pedagogical Sciences». № 100 (2022), pp. 12–18.
6. Semenikhina, O. V., Yurchenko, A. O., Sbrueva, A. A., Kuzminskyi, A. I., Kuchai, O. V., & Bida, O. A (2019), «Open Digital Educational Resources in IT: A Quantitative Analysis», Information Technologies and Learning Tools, pp. 331–348.

**Abstract.** The article is devoted to the use of functional templates in the creation and development of open online distance learning platforms. The work substantiates the relevance of developing a specialized open online platform for professional training of IT specialists. Modern



research on digitalization of higher education and the need to introduce new forms of organization of the educational process is analyzed. The main result of the study is the development of an integrated approach to the formation of a functional template for an open online learning platform (OOLP). This approach is based on the transformation of the strategic goals of a higher education institution into specific functional requirements for the platform. A modular OOLP architecture is proposed, which includes a basic kernel with typical functions and additional modules for the implementation of advanced technologies, in particular based on artificial intelligence. An algorithm for the formation of dynamic OOLP functional patterns synchronized with different time prospects for the strategic development of the university is presented. This ensures a gradual increase in the functionality of the platform in accordance with the current priorities and goals of the educational institution. The perspective directions of further research related to the complex introduction of the latest technologies, such as artificial intelligence, augmented and virtual reality, into the architecture and functionality of OOLP are determined.

**Key words:** open online educational platform (OOLP), functional template, smart university, professional training of IT specialists, distance learning.

Стаття відправлена: 19.04.2024 р.

© Талалаєв В.О., Денисюк А.В., Кириленко А.О.



УДК 514.18

## DISCRETE MODELING OF TECTONIC COATINGS OF ARCHITECTURAL BUILDINGS IN THE APPEARANCE OF A TRIANGULATION GRID

ДИСКРЕТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКТОНІЧНИХ ПОКРИТТІВ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД У ВИГЛЯДІ ТРИАНГУЛЯЦІЙНОЇ СІТКИ

Mostovenko Oleksiy / Мостовенко Олексій В.

Assistant / асистент

ORCID: 0000-0003-1844-1843

Kovalov Serhiy / Ковальов С.М.

Doctor of Technical Sciences, Prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-7713-1768

Mostovenko Aleksandr / Мостовенко Олександр В.

Doctor of Technical Sciences, Prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3423-4126

Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Київ, Повітрофлотський, 31, 03037

**Анотація.** У даній роботі розглядається формування дискретної моделі безмоментного тектонічного покриття сталої товщини зі сталим перерізом опорних арок на триангуляційній сітці. Зовнішнє навантаження на вузли дискретної моделі безмоментного покриття складається з власної ваги елементів поверхні та елементів в опорних арках. Власна вага покриття в межах однієї клітини залежить від площі клітини, товщини покриття та об'ємної ваги матеріалу. Власна вага елемента опорної арки в межах однієї клітини залежить від довжини цього елемента і площі його поперечного перерізу, а також від об'ємної ваги матеріалу. Тоді навантаження на вузли сітки не буде однаковим, так як площі клітин і довжини ребер вздовж опорних арок будуть різними. Тому розрахунки координат вузлів сіток у попередніх дослідженнях є наближеними, оскільки зовнішнє навантаження на вузли не пов'язувалось із зазначеними параметрами.

Запропоновано тестовий приклад формування врівноваженої триангуляційної сітки під дією вертикальних сил, що відповідають поверхні в плані. Вертикальні сили в наступних наближеннях вибираються пропорційними площам відповідних комірок сітки та довжинам її ребер.

**Ключові слова:** дискретна сітка, безмоментне покриття, опорні арки, тектоніка, зовнішнє навантаження, власна вага, триангуляційна сітка.

### Вступ.

Тектонічною вважається архітектурна споруда, композиція якої базується на виявленні у зовнішній формі внутрішніх властивостей споруди [1]. Одним із чинників тектонічних споруд є об'єднання вимог міцності, стійкості та функціональності конструкції. Таким вимогам відповідають безмоментні покриття архітектурних споруд. Безмоментність покриття, включаючи безмоментність таких елементів як арки опорного контура, можна забезпечити у дискретному вигляді за допомогою статико-геометричного методу [2, 3].

Безмоментною є конструкція, поверхня і опорні елементи якої формуються під дією власної ваги. Власна вага конструкції складається з власної ваги елементів її дискретної моделі. Оскільки параметри поверхні покриття наперед невідомі, вертикальні зусилля власної ваги можна визначити лише методом послідовних наближень [4]. За вихідне наближення



пропонується обрати поверхню, яка формується під дією вертикальних зусиль, що відповідають поверхні у плані. Вертикальні зусилля у наступних наближеннях обираються пропорційними площам відповідних клітин сітки та довжинам її ребер.

### Основний текст.

На похибки, що виникають у результаті визначення координат вузлів дискретного каркаса поверхні безмоментного покриття постійної товщини, істотно впливає правильність розподілу власної ваги покриття між вузлами сітки. Власна вага елемента покриття, яка враховується як зовнішнє зусилля, діюче на вузол сітки для покриття постійної товщини, повинна бути пропорційною площі елемента:

$$P = S \cdot \delta \cdot v, \quad (1)$$

де  $S$  – площа елемента покриття, що відноситься до проміжного вузла сітки;

$\delta$  - товщина покриття;

$v$  – об'ємна вага матеріалу покриття.

Якщо величини  $\delta$  і  $v$  є сталими для даного покриття, їх можна замінити сталим коефіцієнтом.

Тоді формула (1) спрощується:

$$P = k' \cdot S, \quad (2)$$

де  $k' = \delta \cdot v$ .

Припустимо, що власна вага кожної клітини рівномірно розподіляється між вузлами цієї клітини. Тоді власна вага покриття, що діє на проміжний вузол сітки з трикутними клітинами буде:

$$P = \frac{P'_{i,j} + P''_{i,j} + P'_{i-1,j} + P''_{i-1,j} + P'_{i,j-1} + P''_{i,j-1}}{3} \quad (3)$$

Власна вага ребер опорних арок з поперечним перерізом сталої площі для сітки з трикутними клітинами зі сталим параметром  $i$  або  $j$  буде:

$$Q_{i,0} = \frac{k''_{i,0} (l_{i-1,0}^{i,0} + l_{i+1,0}^{i,0})}{2} \quad (4)$$

$$Q_{i,n} = \frac{k''_{i,n} (l_{i-1,n}^{i,n} + l_{i+1,n}^{i,n})}{2} \quad (5)$$

$$Q_{i,j} = \frac{k''_{i,j} (l_{0,j-1}^{0,j} + l_{0,j+1}^{0,j})}{2} \quad (6)$$

$$Q_{m,j} = \frac{k''_{m,j} (l_{m,j-1}^{m,j} + l_{m,j+1}^{m,j})}{2} \quad (7)$$

$$Q_{i,r} = \frac{k''_{i,r} (l_{i-1,r}^{i,r} + l_{i+1,r}^{i,r})}{2} \quad (8)$$





$$Q_{q,j} = \frac{k''_{q,j} (l_{q,j-1}^{q,j} + l_{q,j+1}^{q,j})}{2} \tag{9}$$

де  $k''$  - добуток об'ємної ваги матеріалу на площу поперечного перерізу арки;

$l$  – довжина елемента арки в межах однієї клітини.

Для сітки з трикутними клітинами власна вага ребер, що розміщені в діагональному напрямі на топологічній схемі, визначається за формулою:

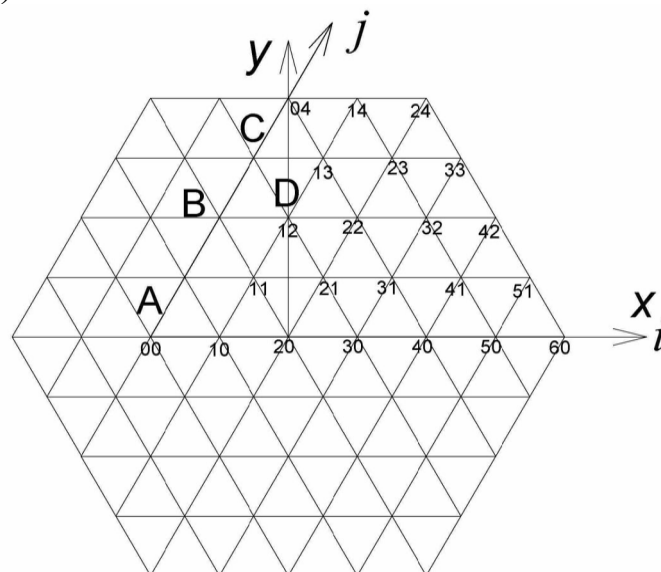
$$Q_{i,j} = \frac{k''_{i,a-i} (l_{i-1,j+1}^{i,j} + l_{i+1,j-1}^{i,j})}{2}, \tag{10}$$

де  $a$  – параметр діагонального напрямку.

Навантаження на вузол опорного контура для сітки з трикутними клітинами складається частково з власної ваги клітин, що належать цьому вузлу, і частково з власної ваги двох ребер, які також належать цьому вузлу:

$$\begin{aligned} Q_{0,j-1}''' &= \frac{P'_{0,j-1} + P'_{0,j} + P''_{1,j}}{3} + \frac{Q_{0,j-1}^{0,j} + Q_{0,j}^{0,j+1}}{2}; \\ Q_{m,j}''' &= \frac{P'_{m,j} + P'_{m,j+1} + P''_{m-1,j}}{3} + \frac{Q_{m,j-1}^{m,j} + Q_{m,j}^{m,j+1}}{2}; \\ Q_{i,0}''' &= \frac{P''_{i-1,0} + P'_{i,1} + P''_{i,0}}{3} + \frac{Q_{i-1,0}^{i,0} + Q_{i,0}^{i+1,0}}{2} \\ Q_{i,n}''' &= \frac{P'_{i,n} + P''_{i,n-1} + P'_{i+1,n}}{3} + \frac{Q_{i-1,n}^{i,n} + Q_{i,n}^{i+1,n}}{2} \end{aligned} \tag{11}$$

Приклад. Задано топологічну схему поверхні у вигляді правильного шестикутника зі стороною 4 умовні одиниці, поділеного на 96 однакових трикутників (рис. 1).



**Рис. 1.** Топологічна схема поверхні



Задано координати вузлів спирання арок:

$$x_{60}=4; y_{60}=0; z_{60}=0;$$

$$x_{-2,0}=-4; y_{-2,0}=0; z_{-2,0}=0;$$

$$x_{24}=2; y_{24}=3,464; z_{24}=0;$$

$$x_{-2,4}=-2; y_{-2,4}=3,464; z_{-2,4}=0;$$

$$x_{2,-4}=-2; y_{2,-4}=-3,464; z_{2,-4}=0;$$

$$x_{6,-4}=2; y_{6,-4}=-3,464; z_{6,-4}=0.$$

Для того, щоб у системах рівнянь рівноваги вузлів не було від'ємних індексів, за початок відліку оберемо точку  $A$  ( $x_A=-2; y_A=0$ ).

Задамо також умовну вагу оболонки у межах однієї клітини  $P=-0.3$  та умовну вагу елемента опорного контура у межах клітини  $Q=-10.5$ . Тоді згідно з (3) навантаження на внутрішні вузли сітки дорівнює:

$$P^{III} = 2P = -0.6, \quad (12)$$

а навантаження на вузол опорного контура згідно з (11):

$$Q^{III} = Q + P = -10.8 \quad (13)$$

Нехай дискретною моделлю поверхні покриття буде розтягнута сітка зі стиснутим опорним контуром. Причому зусилля стиску у ребрах опорного контура задамо у вісім разів більше, ніж зусилля розтягнення у внутрішніх ребрах сітки. Тоді рівняння рівноваги вузлів сітки будуть у вигляді трьох систем:

1) проєкції зусиль у ребрах сітки на вісь  $Ox$ :

$$2X_{21} - 6X_{30} + 2X_{31} + X_{40}=0;$$

$$X_{30} + 2X_{31} - 6X_{40} + 2X_{41} + X_{50} = 0;$$

$$X_{40} + 2X_{41} - 6X_{50} + 2X_{51} + 4 = 0;$$

$$-7X_{21} + X_{22} + X_{30} + X_{31} = 0;$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{30} - 6X_{31} + X_{32} + X_{40} + X_{41} = 0;$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{40} - 6X_{41} + X_{42} + X_{50} + X_{51} = 0;$$

$$X_{13} + X_{21} - 6X_{22} + X_{23} + X_{31} + X_{32} = 0;$$

$$X_{22} + X_{23} + X_{31} - 6X_{32} + X_{33} + X_{41} + X_{42}=0;$$

$$-7X_{13} + X_{14} + X_{22} + X_{23} = 0;$$

$$X_{13} + X_{14} + X_{22} - 6X_{23} + X_{32} + X_{33} + 2 = 0;$$

$$X_{41} - 8X_{42} + X_{50} + 14X_{51} - 32 = 0;$$

$$X_{32} - 8X_{33} + X_{41} + 14X_{42} - 8X_{51} = 0;$$

$$X_{23} + X_{32} + 14X_{33} - 8X_{42} - 16=0;$$

$$X_{13} + X_{23} + 14X_{14} - 16 = 0;$$

(14)



2) проєкції зусиль у ребрах сітки на вісь  $Oy$ :

$$\begin{aligned}
 Y_{12} - 5Y_{21} + Y_{22} + Y_{31} &= 0; \\
 Y_{21} + Y_{22} - 6Y_{31} + Y_{32} + Y_{41} &= 0; \\
 Y_{31} + Y_{32} - 6Y_{41} + Y_{42} + Y_{51} &= 0; \\
 Y_{21} + Y_{22} - 3Y_{12} + Y_{13} &= 0; \\
 Y_{12} + Y_{13} + Y_{21} - 6Y_{22} + Y_{23} + Y_{31} + Y_{32} &= 0; \\
 Y_{22} + Y_{23} + Y_{31} - 6Y_{32} + Y_{33} + Y_{41} + Y_{42} &= 0; \\
 Y_{04} + Y_{12} - 5Y_{13} + Y_{14} + Y_{22} + Y_{23} &= 0; \\
 Y_{13} + Y_{14} + Y_{22} - 6Y_{23} + Y_{32} + Y_{33} + 3,464 &= 0; \\
 Y_{41} - 8Y_{42} + 14Y_{51} &= 0; \\
 Y_{32} - 8Y_{33} + Y_{41} + 14Y_{42} - 8Y_{51} &= 0; \\
 Y_{23} + Y_{32} + 14Y_{33} - 8Y_{42} - 27,712 &= 0; \\
 -8Y_{04} + Y_{13} + 14Y_{14} + Y_{23} - 27,712 &= 0; \\
 7Y_{04} + Y_{13} - 8Y_{14} &= 0;
 \end{aligned} \tag{15}$$

3) проєкції зусиль у ребрах сітки на вісь  $Oz$ :

$$\begin{aligned}
 6Z_{30} - 6Z_{20} - 0,6 &= 0; \\
 Z_{20} - 4Z_{30} + 2Z_{31} + Z_{40} - 0,6 &= 0; \\
 Z_{30} + 2Z_{31} - 6Z_{40} + 2Z_{41} + Z_{50} - 0,6 &= 0; \\
 Z_{40} + 2Z_{41} - 6Z_{50} + 2Z_{51} - 0,6 &= 0; \\
 2Z_{30} - 6Z_{31} + 2Z_{40} + 2Z_{41} - 0,6 &= 0; \\
 Z_{31} + Z_{40} - 5Z_{41} + Z_{42} + Z_{50} + Z_{51} - 0,6 &= 0; \\
 Z_{41} - 8Z_{42} + Z_{50} + 14Z_{51} - 10,8 &= 0; \\
 2Z_{41} + 14Z_{42} - 16Z_{51} - 10,8 &= 0.
 \end{aligned} \tag{16}$$

Враховуючи симетрію вихідних умов, системи рівнянь рівноваги проєкцій зусиль на осі  $Ox$  і  $Oy$  складено для  $1/4$  частини топологічної схеми, а систему рівнянь рівноваги проєкцій зусиль на вісь  $Oz$  – для  $1/12$  частини.

Результати розв'язання систем (14-16) наведено в таблиці 1.

Результати підрахунку абсцис і ординат залишаються сталими в ітераційному процесі, оскільки зміна вертикального навантаження на них не впливає.



**Таблиця 1. Координати дискретної сітки вихідного наближення**

|     |   |       |       |       |       |       |       |     |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| J=4 | X | 0     | 0,99  | 2     |       |       |       |     |
|     | Y | 3,989 | 3,852 | 3,464 |       |       |       |     |
|     | Z | 3,194 | 2,353 | 0     |       |       |       |     |
| J=3 | X |       | 0,53  | 1,617 | 2,842 |       |       |     |
|     | Y |       | 2,893 | 2,801 | 2,783 |       |       |     |
|     | Z |       | 1,865 | 1,546 | 2,353 |       |       |     |
| J=2 | X |       | 0     | 1,1   | 2,241 | 3,455 |       |     |
|     | Y |       | 1,919 | 1,906 | 1,905 | 1,995 |       |     |
|     | Z |       | 1,394 | 1,44  | 1,865 | 3,194 |       |     |
| J=1 | X |       |       | 0,552 | 1,662 | 2,771 | 3,831 |     |
|     | Y |       |       | 0,957 | 0,959 | 0,988 | 1,069 |     |
|     | Z |       |       | 1,176 | 1,394 | 1,865 | 2,353 |     |
| J=0 | X |       |       | 0     | 1,105 | 2,2   | 3,234 | 4   |
|     | Y |       |       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0   |
|     | Z |       |       | 1,076 | 1,176 | 1,44  | 1,546 | 0   |
|     |   | i=0   | i=1   | i=2   | i=3   | i=4   | i=5   | i=6 |

Результатом розв’язання системи рівнянь (16) є лише наближені аплікати вузлів сітки. Для отримання більш точного результату потрібно власну вагу елементів покриття узгодити з площинами клітин і довжинами ребер.

Довжина довільного ребра BC (рис. 1) визначається за координатами вузлів, які належать цьому ребру:

$$l_{BC} = \sqrt{(x_B - x_C)^2 + (y_B - y_C)^2 + (z_B - z_C)^2}. \quad (17)$$

За відомими довжинами ребер можна підрахувати за формулою Герона площі трикутних клітин сітки:

$$S_{i,j} = \sqrt{p_{i,j}(p_{i,j} - l_{BC})(p_{i,j} - l_{CD})(p_{i,j} - l_{BD})}. \quad (18)$$

Складемо систему рівнянь рівноваги вузлів з урахуванням площ клітин та довжин контурних ребер сітки. Враховуючи симетрію сітки, ці рівняння складено тільки для 1/12 її частини.

$$\begin{aligned}
 -6Z_{20} + 6Z_{30} + k_1 S_{20} &= 0; \\
 Z_{20} - 4Z_{30} + 2Z_{31} + Z_{40} + k_1 S_{30} &= 0; \\
 Z_{30} + 2Z_{31} - 6Z_{40} + 2Z_{41} + Z_{50} + k_1 S_{40} &= 0; \\
 Z_{40} + 2Z_{41} - 6Z_{50} + 2Z_{51} + k_1 S_{50} &= 0; \\
 2Z_{30} - 6Z_{31} + 2Z_{40} + 2Z_{41} + k_1 S_{31} &= 0; \\
 Z_{31} + Z_{40} - 5Z_{41} + Z_{42} + Z_{50} + Z_{51} + k_1 S_{41} &= 0; \\
 Z_{41} - 8Z_{42} + Z_{50} + 14Z_{51} + k_1 S_{51} + k_2 l_{51} &= 0; \\
 2Z_{41} + 14Z_{42} - 16Z_{51} + k_1 S_{42} + k_2 l_{42} &= 0,
 \end{aligned} \quad (19)$$



де  $Z_{20} = 1,076$ ;  $Z_{42} = 3,194$ ;

$k_1 S_{i,j}$  – навантаження на вузол з урахуванням площ клітин;

$$k_1 S_{i,j} = \frac{k_1 (S''_{i,j} + S'_{i,j} + S'_{i-1,j} + S''_{i,j+1} + S'_{i,j-1} + S''_{i+1,j})}{3}; \tag{20}$$

$k_2 l_{i,j}$  – навантаження на вузли опорних арок з урахуванням ваги елементів арок;

$$k_2 l_{i,j} = \frac{k_2 (l_{i,j}^{i-1,j+1} + l_{i,j}^{i+1,j-1})}{2} \tag{21}$$

Навантаження на вузли сітки, які підраховано за формулами (20) і (21), наведені у таблиці 2, підставляються до системи рівнянь (19), після розв’язання якої отримаємо нове наближення аплікату сітки, яке наведено в таблиці 3.

Цей результат також є наближеним, оскільки зміна аплікату вузлів сітки впливає на навантаження на вузли. Тому результати розв’язання системи (19) приймаються як вихідні дані для наступної ітерації.

**Таблиця 2. Навантаження на вузли сітки**

|       |   | № наближення |            |                     |                     |
|-------|---|--------------|------------|---------------------|---------------------|
| $J=2$ | 1 |              |            | $0,813k_1+1,306k_2$ |                     |
|       | 2 |              |            | $0,795k_1+1,224k_2$ |                     |
|       | 3 |              |            | $0,98k_1+1,209k_2$  |                     |
|       | 4 |              |            | $0,795k_1+1,206k_2$ |                     |
|       | 5 |              |            | $0,804k_1+1,206k_2$ |                     |
| $J=1$ | 1 |              | $1,13k_1$  | $1,347k_1$          | $0,872k_1+1,948k_2$ |
|       | 2 |              | $1,142k_1$ | $1,197k_1$          | $0,909k_1+1,969k_2$ |
|       | 3 |              | $1,13k_1$  | $1,128k_1$          | $0,895k_1+1,973k_2$ |
|       | 4 |              | $1,136k_1$ | $1,356k_1$          | $0,895k_1+1,974k_2$ |
|       | 5 |              | $1,133k_1$ | $1,36k_1$           | $0,898k_1+1,974k_2$ |
| $J=0$ | 1 | $1,064k_1$   | $1,079k_1$ | $1,122k_1$          | $1,601k_1$          |
|       | 2 | $1,064k_1$   | $1,079k_1$ | $1,175k_1$          | $1,734k_1$          |
|       | 3 | $1,064k_1$   | $1,079k_1$ | $1,123k_1$          | $1,66k_1$           |
|       | 4 | $1,064k_1$   | $1,081k_1$ | $1,13k_1$           | $1,663k_1$          |
|       | 5 | $1,066k_1$   | $1,081k_1$ | $1,123k_1$          | $1,601k_1$          |
|       |   | $i=2$        | $i=3$      | $i=4$               | $i=5$               |



Алгоритм ітераційного процесу виглядає наступним чином:

- 1) за вихідне наближення приймається сітка, яка формується під дією рівномірно розподіленого навантаження на вузли;
- 2) за формулою (17) визначаються довжини всіх ребер сітки вихідного наближення;
- 3) за формулою (18) визначаються площі клітин сітки;
- 4) за формулами (20) і (21) визначається навантаження на вузли сітки і опорних арок та підставляється до системи рівнянь (19), при розв'язанні якої отримаємо наступне наближення аплікату сітки;
- 5) отримані аплікати вузлів порівнюються з аплікатами попереднього наближення і визначається відносна похибка обчислень за формулою:

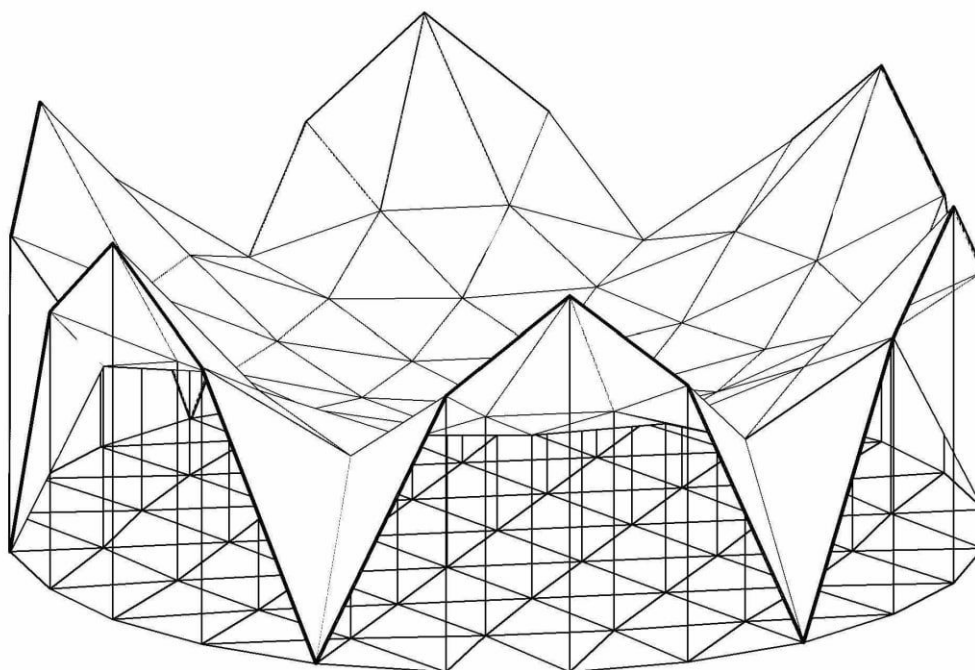
$$\delta = \frac{(z_{ij}^n - z_{ij}^{n-1})}{z_{ij}^n} 100\%, \tag{22}$$

де  $n$  – номер ітерації.

**Таблиця 3. Аплікати вузлів сітки за ітераціями**

|       |   | №<br>набли<br>ження |       |       |       |
|-------|---|---------------------|-------|-------|-------|
| $J=2$ | 1 |                     | 1,862 | 3,194 |       |
|       | 2 |                     | 1,883 |       |       |
|       | 3 |                     | 1,894 |       |       |
|       | 4 |                     | 1,868 |       |       |
|       | 5 |                     | 1,869 |       |       |
| $J=1$ | 1 |                     | 1,386 | 1,862 | 2,488 |
|       | 2 |                     | 1,392 | 1,883 | 2,514 |
|       | 3 |                     | 1,399 | 1,894 | 2,519 |
|       | 4 |                     | 1,388 | 1,868 | 2,519 |
|       | 5 |                     | 1,389 | 1,869 | 2,518 |
| $J=0$ | 1 | 1,076               | 1,173 | 1,433 | 1,543 |
|       | 2 |                     | 1,174 | 1,436 | 1,545 |
|       | 3 |                     | 1,177 | 1,447 | 1,555 |
|       | 4 |                     | 1,173 | 1,436 | 1,549 |
|       | 5 |                     | 1,174 | 1,438 | 1,555 |
|       |   | $i=2$               | $i=3$ | $i=4$ | $i=5$ |

Якщо похибка  $\delta$  не перевищує задану допустиму похибку, ітераційний процес зупиняється. Якщо  $\delta$  перевищує допустиму задану похибку, ітераційний процес повторюється, починаючи з пункту 2. В наведеному вище прикладі найбільша відносна похибка складає 0,6%, для чого знадобилося виконати чотири ітерації.



**Рис. 2. Врівноважена поверхня архітектурного покриття**

За результатами четвертої ітерації з табл. 3 на рис. 2 побудовано дискретну врівноважену поверхню.

#### **Висновки.**

Рівномірний розподіл власної ваги покриття між внутрішніми вузлами правильної у плані сітки дає незначну похибку лише для пологих покриттів, оскільки площі клітин на поверхні не значно відрізняються від площ клітин у плані. Із збільшенням вступності поверхні покриття різниця між зазначеними площами збільшується, що веде до збільшення похибки розрахунків.

Наведені алгоритми врахування власної ваги елементів покриття дають більш точний результат обчислень, але не враховують похибку дискретизації, яку можна зменшити лише при зменшенні кроку дискретизації.

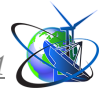
#### **Література:**

1. Словник іншомовних слів / за ред. О. С. Мельничука. — К. : Головна редакція Української Радянської Енциклопедії АН УРСР, 1974.

2. Ботвіновська С.І. Теоретичні основи формоутворення в дискретному моделюванні об'єктів архітектури та дизайну /С.І. Ботвіновська/ Автореферат ... доктора технічних наук 05.01.01 К.: КНУБА, 2018. - 43 с.

3. Ковалев С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций / С.Н. Ковалев // Дисс. ... докт. техн. наук: 05.01.01. - М.: МАИ, 1986. – 320 С.

4. Shoup T.E. A Practical Guide To Computer Methods For Engineers/ Prentice-Hall, inc., Englewood Cliffs, N.J., 1979. – 235 p.



**Abstract.** *In this study, the formation of a discrete model of a momentless tectonic covering of constant thickness with a constant section of supporting arches on a triangulation grid is considered. The external load on the nodes of the discrete model of the moment-free covering consists of the self-weight of the surface elements and elements in the supporting arches. The specific weight of the coating within one cell depends on the area of the cell, the thickness of the coating and the volume weight of the material. The own weight of an element of a supporting arch within one cell depends on the length of this element and its cross-sectional area, as well as on the volumetric weight of the material. Then the load on the grid nodes will not be the same, since the cell areas and the lengths of the edges along the supporting arches will be different. Therefore, the calculations of the coordinates of grid nodes in previous studies are approximate, since the external load on the nodes was not related to the specified parameters.*

*In this study, an example of grid formation under the action of vertical forces corresponding to the surface in the plan is considered. The vertical forces in the following approximations are chosen proportional to the areas of the corresponding grid cells and the lengths of its edges.*

**Key words:** *discrete mesh, momentless covering, supporting arches, tectonics, external load, own weight, triangulation mesh*

Статья отправлена: 20.04.24 г.





## CONTENTS

### Mechanical engineering and machinery

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-027> 3

RESEARCH OF ROBOTIC DEVICE MOVEMENTS BY USING  
THE COPPELIASIM PLATFORM

ERFORSCHUNG VON BEWEGUNGSMITTELN DER ROBOTERGERÄTE  
DURCH VERWENDUNG DER COPPELIASIM-PLATTFORM

*Mykhailov E.P., Matveiko O.V., Borisov V.S., Sokolova A.S.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-067> 11

SUBSTANTIATION OF DESIGN PARAMETERS OF VIBRATORY  
MIXERS FOR FLOUR COMPONENTS

*Fedoriv V.M., Stechyshyn M. S.*

*Martynyuk A.V., Kurskoi V.S., Pereima A.R.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-086> 20

ENSURING THE RELIABILITY OF AXIAL-PISTON UNITS OF  
HYDRAULIC TRANSMISSIONS IN THE PROCESS OF THEIR  
REPAIR BY CONSTRUCTIVE MEASURES

*Melyantsov P. T.*

### Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-085> 29

SOME WAYS OF MEASURING TEMPERATURE AND MODERN  
SENSORS

*Gorbachuk M.T., Khlebnikova V.O.*

### Telecommunication

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-043> 36

SOLVING THE PROBLEM OF CHANNEL VOLUME'S DISTRIBUTION  
IN 3-TIER NETWORK TAKING INTO ACCOUNT FUZZY  
CONSTRAINTS ON CONSUMPTION VOLUMES

*Gavrylenko V.V., Ivohina K.E., Makhno M.F.*

### Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-092> 43

USE OF LIGHT CONCENTRATORS IN SEMICONDUCTOR SOLAR PANELS  
WITH A DIRECT SUN TRACKING SYSTEM

*Melentiev O. B., Melentiev Ya. O.*

**Animal products. Cereals and grain. Milling industry**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-003> 50

EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF SUNFLOWER PRESSED OIL

*Fialkovska L.V., Kryzhak L.N.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-004> 56

RECEIVING OF FLAKES OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE  
FROM GRAIN NAKED-GRAIN OATS

*Bazhay-Zhezherun S.A., Bereza-Kindzerska L.V.  
Togachynska O.V.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-016> 61

INNOVATIVE CULINARY TECHNOLOGY FOR VEGETARIAN DIET

*Semko T.V., Pahomska O.V.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-042> 66

PHYSICS OF CAPILLARITY AND COFFEE BREWING PROCESS

*Zamkova S., Sosnovska A., Koval A.  
Stetsyura D., Matvieieva T.V.*

**Textile industries**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-059> 74

PROSPECTS FOR USING HYDROGEN AS A RENEWABLE  
ENERGY SOURCE

*Volovyk D.M., Koshlai A.I.  
Yerokhina K.V., Matvieieva T.V.*

**Industrial engineering. Management engineering**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-017> 83

APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR  
FORECASTING THE OCCURRENCE OF FLOODING

*Kravets O.Ya.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-020> 90

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR THE OPTIMIZATION  
OF WELL DRILLING TIME BASED ON THE DYNAMIC  
PROGRAMMING METHOD

*Shavranskyi M.V., Karpinets B.I.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-040> 96

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMANITY: RELATIONSHIPS,  
PROBLEMS, FUTURE

*Romanchuk L. A., Mormul M. F.  
Shchytyov O. M., Shchytyov D. M.*



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-041> 110

TECHNOLOGIES OF 2D ANIMATION

*Ananchenko O., Bridnia A., Kozlenko O.  
Levchyk A., Matvieieva T.V.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-060> 118

PETER HIGGS AND HIS BOSON – THE PARTICLE OF GOD

*Bridnia A., Matvieieva T.V.*

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-074> 124

USE OF FUNCTIONAL TEMPLATES IN THE CREATION AND DEVELOPMENT OF OPEN ONLINE DISTANCE EDUCATION PLATFORMS

*Talalaiev V.O., Denisyuk A.V., Kyrylenko A.O.*

**Mechanical drawing. Engineering graphics**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit32-00-080> 135

DISCRETE MODELING OF TECTONIC COATINGS OF ARCHITECTURAL BUILDINGS IN THE APPEARANCE OF A TRIANGULATION GRID

*Mostovenko O., Kovalov S., Mostovenko O.*



*International periodic scientific journal*

# MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und  
innovative Technologien

Indexed in  
INDEXCOPERNICUS  
high impact factor (ICV: 84.86)

*Issue №32  
Part 1  
April 2024*

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: April 30, 2024

Sergeieva&Co  
Lußstr. 13  
76227 Karlsruhe  
e-mail: [editor@modern techno.de](mailto:editor@modern techno.de)  
site: [www.modern techno.de](http://www.modern techno.de)

Articles published in the author's edition

