

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

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

НАУКОВИЙ  
ЖУРНАЛ



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

**№36 2019**

*м. Луцьк  
Видавництво Луцького національного технічного університету*



**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Головний редактор:**

проф., д.т.н. Рудь В.Д. (м. Луцьк)

**Заступники головного редактора:**

доц., к.т.н. Мельник К.В. (м. Луцьк)

доц., к.т.н. Герасимчук О.О. (м. Луцьк)

**Відповідальний секретар:**

мол.наук.співробітник Свиридюк К.А. (м. Луцьк)

**Члени редакційної колегії:**

проф, PhD. Milosz Marek (Польща, м. Люблін)

проф, PhD. Alison McMillan (Великобританія)

проф, PhD. Дехтяр Ю.Д. (Литва, м. Рига)

проф., д.т.н. Мазур М.П. (м. Хмельницький)

проф., д.т.н. Мороз Б.І. (м. Дніпро)

проф., д.т.н. Степанов М.М. (м. Київ)

проф., д.т.н. Тарасенко В.П. (м. Київ)

проф., д.ф-м.н. Пастернак Я.М. (м. Луцьк)

проф., д.т.н. Андрущак І.Є. (м. Луцьк)

проф., д.т.н. Делявський М.В. (м. Луцьк)

проф., д.е.н. Рудь Н.Т. (м. Луцьк)

проф., д.т.н. Пальчевський Б.О. (м. Луцьк)

проф., д.т.н. Мельник А.О. (м. Львів)

доц., к.т.н. Драган О.В. (м. Брест, Білорусія)

доц., к.т.н. Лотиш В.В. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Гуменюк Л.О. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Пех П.А. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Самчук Л.М. (м.Луцьк)

доц., к.пед.н. Потапюк Л.М. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Решетило О.М. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Повстяной О.Ю. (м. Луцьк)

**Адреса редколегії:**

Луцький національний технічний університет,  
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

вул. Львівська 75, ауд.141

м.Луцьк, 43018

тел. (0332) 74-61-15

E-mail: cit@lntu.edu.ua,

сайт журналу: [ki.lutsk-ntu.com.ua](http://ki.lutsk-ntu.com.ua)

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

**№36 2019р.**

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

**Рекомендовано до друку Вченою радою**  
**Луцького національного технічного університету**  
**(протокол №03 засідання від 29.10.2019)**

Журнал рішенням МОН України  
**наказом №515 від 16.05.2016р,**  
включено в перелік наукових фахових видань.  
Журнал має російський індекс наукового цитування

**(РИНЦ)**

Індексується в міжнародних базах даних:

**Universal Impact Factor,**  
**Open Academic Journals Index.**

**ISSN 2524-0560 (Online)**

**ISSN 2524-0552 (Print)**

## ЗМІСТ

### АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ

Andrushchak I.Ye., Koshelyuk V.A., Sivakovska O.M., Poteychuk M.I., Martsenyuk V.P. Features of information technology distribution of radio waves by frequency bands. [ Андрущак І.Є., Кошелюк В.А., Сіваковська О.М., Потейчук М.І., Марценюк В.П. Особливості інформаційної технології поширення радіохвиль за діапазонами частот. ]	6
Булавка С.С. Додатково корпусне охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря.	11
Єрошенко О. С. Степаніщева В. С. Єременко О. С. Визначення трендів на ринку праці. Аналіз та структурування отриманої інформації.	16
Zaiats V.M., Majewski J., Marciniak T., Zaiats M.M. The combination numerical method of effective processing high frequency signals. [Заяць В.М., Маєвський Я., Марціняк Т., Заяць М.М. Комбіновані числові методи ефективного опрацювання високочастотних сигналів.]	21
Каганюк О.К., Поліщук Т.О., Міскевич О.І. Аналіз способів контролю розділу кордону «порода – вугілля» для створення систем автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами.	29
Корінчук Н.Ю., Корінчук В.В. Формування дослідницьких та пізнавальних вмінь студентів через використання комп'ютерних засобів на заняттях математики.	35
Корп'як Н.П. Навчальні проекти на уроках фізики із використанням мультимедійних презентацій.	41
Лишук В.В., Селепина Й.Р., Євсюк М.М, Денисюк А.О., Трофимчук Д.М. Математична модель електричної довгої лінії з розподіленими параметрами в системах зв'язку.	47
Пех П. А., Гайдучик С. І., Чимрук Н. О. Дослідження процесу функціонування автоматизованих ліній методом імітаційного моделювання.	53
Повстяной О. Ю., Михайлов А. О., Рудь В. Д., Михайлов О. В. Моделювання ущільнення порошкового фільтруючого елемента складної форми при радіально-ізостатичному пресуванні.	58
Самойленко Е.С., Проніна О.І. Моделювання нечіткого виведення для перевірки якості програмного продукту.	63
Сверстюк А.С., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б., Майхрук З.В., Гайда В.Я. Кіберфізичні системи для визначення рівня глюкози.	69
Слабик О. М., Матіко Ф. Д., Лесовой Л. В. Алгоритм визначення кількості теплової енергії для систем із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв.	77
Ткаченко О. М., Козятник В. В. Веб-орієнтований геопросторовий сервіс розкладу руху регіонального громадського транспорту.	82
Ханін О.Г., Лотиш В.В., Гуменюк П.О., Гуменюк Л.О. Удосконалений метод $\chi^2$ -кластеризації та його застосування до аналізу аварійності на автомобільному транспорті.	88

### ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Акимов В. С. Алгоритми багаторівневого навчання для вирішення задачі класифікації захворювань шкіри.	97
Здолбіцька Н.В., Здолбіцький А.П., Семенко О.О. Системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів.	103
Мельник В.М., Мельник К.В., Шульга Б.В. Ідентифікація емоцій людини за допомогою нейронної мережі на основі Keras та TensorFlow.	109
Мельник В.М., Нагорнюк А.І., Бортник К.Я. Дослідження швидкодії виконання запиту в СУБД MySQL та MariaDB засобами Python та PHP.	123
Поляченко А. І. Згорткова нейронна мережа для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в системі розпізнавання.	128
Савенко О. С., Нічепорук А. О., Паюк В. П. Оцінка ефективності та достовірності розподілених систем виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мереж.	134
Сироткіна О.І., Алексєєв М.О., Мещеряков Л.І., Мороз Б.І. Методи роботи з «великими даними» на основі застосування теорії « <i>m</i> -арних кортежів».	140
Яременко В. С., Будьонний Д. Ю. Підхід до використання фільтра блума для багатокласової класифікації текстових даних в режимі реального часу.	153

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-1

УДК 004.05(075.8)

Андрущак І.Є., Кошелюк В.А., Сіваковська О.М., Потейчук М.І.<sup>1)</sup>, Марценюк В.П.<sup>2)</sup>

Луцький національний технічний університет<sup>1)</sup>

Університет Бельсько-Бяли, Польща<sup>2)</sup>

## FEATURES OF INFORMATION TECHNOLOGY DISTRIBUTION OF RADIO WAVES BY FREQUENCY BANDS.

**Андрущак І.Є., Кошелюк В.А., Сіваковська О.М., Потейчук М.І., Марценюк В.П. Особливості інформаційної технології поширення радіохвиль за діапазонами частот.** В статті приведено обґрунтування поширення радіохвиль. Викладено основи їх поширення в неоднорідній атмосфері. Наведено принципи послаблення напруженості поля та класифікація основних моделей радіотрас, як відкритих, так і в разі наявності перешкод різного типу, в тому числі таких, які екранують поле. Приділяється увага сучасним моделям послаблення радіохвиль в умовах щільної забудови у мегаполісах, а також всередині будівель і приміщень.

**Ключові слова:** радіохвилі, локації, кросування, радіотраса.

**Андрущак И.Е., Кошелюк В.А., Сиваковская Е.Н., Потейчук М.И., Марценюк В.П. Особенности информационной технологии распространения радиоволн за диапазонами частот.** В статье приведены обоснования распространения радиоволн. Изложены основы их распространение в неоднородной атмосфере. Приведены принципы ослабление напряженности поля и классификация основных моделей радиотрас, как открытых, так и в случае наличия препятствий различного типа, в том числе таких, которые экранируют поле. Уделяется внимание современным моделям ослабления радиоволн в условиях плотной застройки в мегаполисах, а также внутри зданий и помещений.

**Ключевые слова:** радиоволны, локации, кроссировки, радиотраса.

**Andrushchak I.Ye., Koshelyuk V.A., Sivakovska O.M., Poteychuk M.I., Martsenyuk V.P. Features of information technology distribution of radio waves by frequency bands.** The article justifies the propagation of radio waves. The basics of their distribution in an inhomogeneous atmosphere are outlined. The principles of field strength reduction and classification of the main radio path models, both open and in the case of interference of various types, including those that screen the field, are presented. Attention is paid to modern models of attenuation of radio waves in the conditions of dense construction in metropolitan areas, as well as indoors and buildings.

**Keywords:** radio waves, locations, cross-country, radio.

**Formulation of the problem.** The radio communication system is intended to transmit information over a distance by means of radio signals.

Information expressed in a specific form is a message to be transmitted over a distance. For the purpose of providing information, any language characterized by a set of signs and rules for their use is used. A set of characters containing some information is a message. The message can be continuous (analog) and discrete. To transmit information in the radio system, the message must be converted into a primary electrical signal. For example, sound pressure when transmitting voice messages will turn into a microphone into a voltage. The conversion of discrete primary electrical signals into combinations of elementary signals is called encoding. The primary electrical signal is, as a rule, low frequency and cannot be efficiently emitted in a radio propagation medium. Therefore, it must be converted to a high frequency signal called a radio signal. The conversion of the primary electrical signal into a radio signal is accomplished by changing one or more parameters of the carrier radio frequency. The process of changing one or more parameters of the carrier frequency according to changes in the parameters of the transmitted primary electrical signal (message) is called modulation. If modulation is performed by discrete signals, it is usually called manipulation. Thus, when transmitting messages on the transmitting side, a set of operations is performed: primary conversion, coding, modulation, amplification, and radiation. On the receiving side, reverse operations are performed: receiving radio waves, amplifying and filtering high-frequency oscillations, demodulating, decoding and converting a signal into a message. The source and the recipient of the message, the technical devices that provide the transmission of messages (signals), as well as the broadcasting environment make up the radio system.

A characteristic feature of the radio communication system is the distortion of signals due to interference. As a result, the recipient receives a message that is generally different from the sent message and is only an estimate [1].

**Analysis of research.** A quantitative measure of the quality of a radio communication system, as a complex system, is the criterion of efficiency.

The efficiency of the radio communication system is estimated by the degree of its technical perfection taking into account economic indicators. A complex system is described by a set of indicators (partial performance criteria). In practice, comparisons of systems are performed by one of the most

important criteria, while others are constrained. The main of the partial criteria of efficiency (requirements) for radio communication systems are reliability, efficiency, noise immunity and reliability of communication.

Communication authenticity characterizes the ability of the communication system to reproduce the transmitted messages at the receiving points with a given accuracy. The criteria for assessing communication reliability are determined by the type of messages transmitted. The reliability of the transmission of voice messages is quantitatively evaluated by the rate of articulation (legibility), which is expressed as a percentage of correctly received elements of speech (phrases, words, sounds) of the total number of messages. The accuracy of digital message transmission can be judged by the probability of correctly receiving (or, conversely, the probability of error) of the code combinations of the source code. The promptness (timeliness) of communication determines the ability of the communication system to ensure the reception and delivery of messages or negotiation within the timeframe specified by management needs. Communication promptness can be estimated by the likelihood that the message will be fully delivered to the addressee within a specified time. Communication interference is the ability of the communication system to perform the tasks of transmitting messages in the conditions of influence of all kinds of obstacles. Criteria for the reliability of message transmission are often used to quantify noise immunity.

Under the reliability of communication means the property of the communication system to perform the tasks of transmitting messages, keeping for a specified period of time the values of the main characteristics (for example, the reliability of transmission) within the specified limits. The simplest estimates of hardware reliability are the probability of failure over the discussed time interval, the average time to failure [2].

**Presentation of the main material and the justification of the results.** According to the above classification, radio communication systems are interconnected systems operating in the wavelength range from decimeter to decimeter. Radio-relay, tropospheric, space-based systems, as well as command aviation radio, operate in this range. A feature of the band is that its waves have a slight diffraction around the Earth and the fundamental inhomogeneities of the Earth's surface and atmosphere. Therefore, the transmission of radio signals in this range is only possible within the line of sight.

The propagation of decimeter, centimeter, millimeter waves is significantly influenced by the lower atmosphere. Rain, clouds, and fog absorb and scatter radio waves shorter than 10 cm. Centimeter and shorter waves are absorbed by air molecules and vapors of water at certain discrete frequencies. The general dependence of the conditions of propagation of electromagnetic waves on the wavelength in terrestrial conditions is characterized by the fact that the waves of 10 cm to 5 m are the least absorbed. To increase the line of sight, artificial Earth satellites are widely used.

Direct visibility radio systems provide close communication (within line of sight) of aircraft with ground control stations, communication between airplanes in the air, and communication between ground stations. They usually operate in meter and decimeter wavelengths. Thus, to provide communication over a given range, it is necessary to select the height of the receiving and transmitting antennas in a certain way, as well as to calculate the transmitter power and other system parameters so as to provide a given signal-to-noise ratio at the input of the receiver. If the aircraft is in communication with the ground station, then the maximum range is determined by the flight height of the aircraft and the lifting height of the ground antenna. In the case of communication between airplanes in the air,  $h_1$  and  $h_2$  are the altitudes of the participating aircraft.

The terrestrial radio range for antenna systems used in practice does not exceed 40 ... 50 km. To increase the range, especially terrestrial communication, radio stations are usually placed on heights, artificial hills. The power of aircraft transmitters is selected provided the communication range is up to 500 ... 600 km. Remote and military aviation aircraft, in addition to short-range radios, establish long-range radios that provide radio communication over the full range of the aircraft.

In aeronautical communication systems, direct line-of-sight uses, as a rule, antennas raised above the Earth. In terrestrial radios, antennas are placed on masts at a height of ten meters or more in order to achieve the required communication distance, and the antennas of airborne ultra short wave radios are in principle a group of raised antennas. Practically, the antenna lift height is several times the working wavelength. In this case, the intensity of the electric field at the location of the receiving antenna can be found by the method of geometric optics as a result of the interference of the direct beam and the beam reflected from the earth's surface. It should be noted that the following features of the line-of-sight radio systems, due mainly to the use of the meter and decimeter ranges of radio waves. They provide high communication stability, since the nature of the propagation of radio waves is slightly dependent on the time of day and year, meteorological

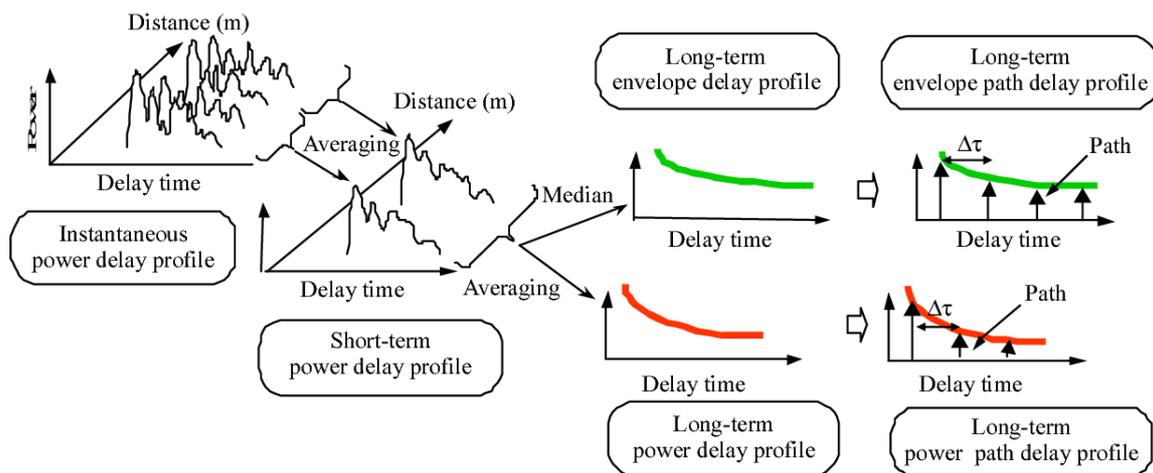
conditions, especially when operating at frequencies not higher than 3 GHz. The absorption in the atmosphere, as practice shows, is relatively small. Substantial uptake and molecular uptake are observed only in centimeter and shorter wavelengths. The main types of radio interference in the meter and decimeter ranges are space noises and internal noise of the equipment, as well as interference created by other radio stations. The relatively weak propensity for interference is also explained by the fact that only such interference is affected by such a system, the sources of which are within the direct line of sight of the receiving device of the system. For the same reason, there are also certain difficulties in creating deliberate obstacles to such systems. The noise immunity can also be improved by the fact that the systems considered may use directional antennas, especially in terrestrial communication systems. In line-of-sight communication systems, the multiplicative obstacle is weakly detected, since the communication is mainly a direct beam, although when communicating between planes, this type of interference affects the quality of the communication, since in addition to the direct beam, the effect on the receiver is reflected. signal from the earth's surface.

An important feature of these communication systems is that they provide reliable transmission of information at high speeds (up to several thousand bps), which is very important for high-speed digital communication. It is also possible to use broadband signals in these systems, multichannel methods of transmitting information, as well as rearranging the transceiver equipment over a wide frequency range.

The relatively small size and mass of ultra-short wave equipment, the ability to use antennas with small aerodynamic drag and small size have made these systems widely used for airborne communication. Airborne radio equipment of any aircraft and helicopter typically includes a meter or decimeter radio station that provides close communication between the aircraft and the ground and between aircraft. The main drawback of direct line radio systems is the limited range. Therefore, on long lines there is a need to relay signals. A classic example of a relay communication system is the relay communication system used in aviation to arrange terrestrial radio communication on decimeter or shorter waves.

Signal relaying is also widely used in aerial radio networks to increase communication distance beyond line of sight, to ensure low-flying aircraft communicate with each other and with ground control points. In this case, the relay is usually installed on board the aircraft flying in the area. The relay apparatus provides reception, conversion, amplification and subsequent transmission of radio signals at simplex and duplex two-way radio communication between the radio terminal end points. The control of the repeater's on-board equipment is made remotely from ground points or by the operator on board the aircraft.

The phenomenon of circumnavigation occurs due to the fact that short waves, when they have a weak absorption, can one or more times bend the globe, repeatedly reflecting from the ionosphere and the earth's surface. The radio moon is interfering with communication lines for more than 10,000 km. (Pic. 1).



Pic 1. Features of radio waves propagation

Currently widely used to organize long-range communication on meter and shorter waves, the work of which is based on the effect of long-range propagation of radio waves due to tropospheric and ionospheric scattering or reflection from ionized traces of meteors.

Thus, for continuous communication, you must change the operating wavelengths in flight according to a previously scheduled schedule.

In addition, when providing uninterrupted radio communications on short waves, account should be taken of such interfering phenomena as signal fading, circumnavigation, and the presence of dead zones.

The fading of the signals, as already noted, is explained by the interference (overlay) of two or many spatial waves coming to the point of reception from one transmitter, but in different ways, because they are reflected from different regions of layer F. When the waves are added in phase, there is a gain signal, against phase - damping. For anti-fading, simultaneous reception of several spaced antennas, transmission and reception of signals simultaneously on two or more operating waves, waves of different polarization.

A characteristic feature of short-wave systems is that they are largely exposed to the harmful effect of a multiplicative interference that occurs in the course of propagation of radio waves in the ionosphere and manifests itself in the form of fluctuations in the amplitude and phase of the received signal. Fast and slow fading are observed.

Rapid fading occurs mainly due to the interference of many rays coming into the receiving point, the phase of which due to the variability of the ionized layers continuously and randomly changes. The amplitude of the signal thus varies by tens and even hundreds of times. The fading period ranges from ten fractions of seconds to a few seconds.

Slow fading of a signal with a period of several minutes or more is associated with a change in the absorption of radio waves in the propagation medium, a change in the heterogeneity of the ionosphere, as well as due to the interference of ordinary and unusual components of the signal. Slow changes in signal levels can exceed the corresponding fluctuations in fast fading. Hourly, daily, seasonal periods of changes in the signal level often depend on changes in the illumination of the ionosphere and absorption in the propagation medium.

With fast fading at the receiving point, the received signal can be represented as the sum of the regular signal component and the multiple scattered components with random amplitudes and phases.

The presence in the communication channels of fading, which is called the multiplicative obstacle, significantly reduces the likelihood of transmitting information in connection with such circumstances [3-4].

An effective means of enhancing the immunity of short-wave channels with fading is diversity reception. The principle of diversity receiving is that the transmitted message on the receiving side is played not by one, but by two or more signals carrying the same information. These signals may be signals from different transmitters operating at different frequencies, or signals from a single transmitter received at different antennas, spaced in space or in polarization. It is possible to spread reception by time or by the angle of incoming rays. It is necessary to select a degree of diversity at which the fading of the diversity signals will be almost mutually independent, and therefore the probability of their simultaneous attenuation will be much less likely to attenuate a single signal. The principle of implementation of the auto selection is as follows. The comparison device produces an estimate of the oscillation received on each branch and a comparison of the received estimates. As a result, a control signal is generated that connects the branch with the largest signal to the main receiving channel. In spatial spacing, the branch selection device may switch, for example, the outputs of the spaced antennas (if a common receiver is used) or the outputs of the receivers (if each branch uses its own receiver). Obviously, the noise immunity of the reception depends on the method of signal processing in the main receiving channel [5].

To ensure autonomous operation, the control system must include such terminal devices as a microphone, telephone, telegraph key. When using a radio station in a communication node, it is possible to connect to the radio the terminal devices located in the hardware nodes, as well as the radio control system, which allows to organize an individual remote control line. Pulse signal transmitters, as a rule, must operate in the frequency range, allow for rapid tuning from one wave to another, provide the required power of the vibrations emitted and high frequency stability.

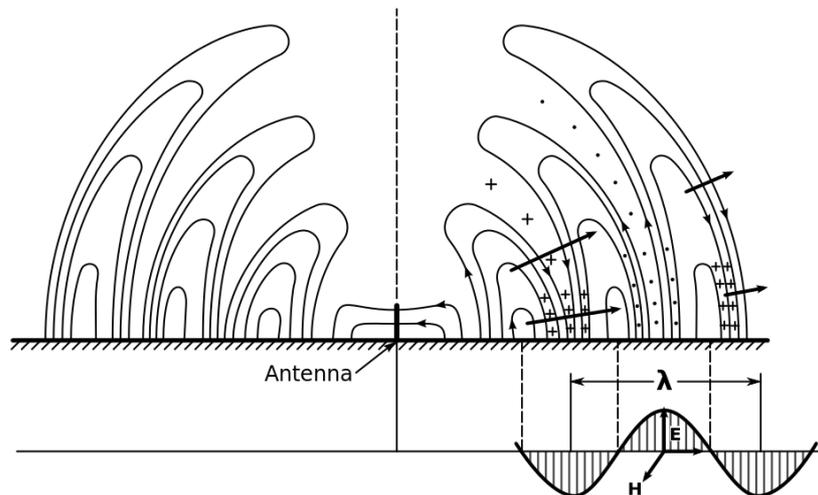
The power of the transmitter and the method of controlling its oscillations are determined in the process of sketchy design of the relay line, based on the requirements for noise immunity on the line and the allowable magnitude of attenuation overlapping the station (Pic 2).

Pulse signal receivers play a major role in providing high noise immunity. They determine the level of the minimum signal at which communication is possible on the relay line, largely the amount of noise voltage at the outputs of the communication channels.

The main feature of pulse signal receivers is their construction, which ensures the minimum probability of erroneous pulse reception and in some cases accurate reproduction of their shape.

The interference voltage acting on the receivers leads to the parasitic modulation of the pulse signals coming to their inputs and to the erroneous reception of these signals, ie to the registration of pulses at times when there is no signal at the input (the occurrence of an error pulse), and to the registration pauses when

there is a pulse at the input of the receiver (suppression of signal impulses). As a rule, both of these phenomena are always observed in any pulse receiver. However, at low interference (or high level of useful signals), the probability of mistakenly receiving impulses is small and the main effect of interference is manifested in the distortion of the signal, whereas at high levels of interference (or small value of useful signals) the interfering action of such received impulses is so large, caused by distortion of the pulse shape may not be taken into account. From this it follows that the main task of the receiver is to provide a low probability of mistakenly receiving pulse signals. The probability of erroneous reception of impulse signals depends on the type of signal manipulation and the method of receiving it [6].



Pic 2. Frequency modulation of radio waves

The cause of interference is linear distortions, such as frequency and phase distortions in the high frequency and video parts of the above devices. These distortions are manifested in the change in the shape and duration of the amplifying impulses. For example, limitation or blockage of the frequency response of the upper frequencies leads to an increase in the time of decay and increase of the pulses;

If there is any residual voltage from the previous signal pulses by the moment of the next pulse, this will change the shape and shift the signal that surrounds the pulses. As a result, parasitic pulse modulation in amplitude, phase and duration is detected [7].

Quantization noises are due to errors in the approximation of the analog signal during its quantization by level and sampling over time. Their size depends on the quantization step, the number of levels, the method of breaking the level scale, the statistics of the input signal. In this case, the incoming messages are quantized both in time and in amplitude. Therefore, the signal transmitted on the line represents impulses of the same shape, which follow at strictly defined points of the time axis.

However, in the case of delta modulation, the discrete values of the message function are not encoded and are not transmitted at all to the communication channel. The signal on the line characterizes only the changes that occur with the message function - its increase or decrease. These changes are transmitted by impulses of the same shape and duration.

Noises in the communication channel affect the transmission of information if the noise voltage suppresses the pulses of the signal or the noise generates incorrect pulses at the clock points of the time axis. Noises in the channel of the pulse are distorted when the pulse shape is distorted, since all pulses have the same parameters and can be completely restored in amplitude, shape and duration when correctly found.

The signal-to-noise ratio at the output of the channel depends on the modulation parameters, but is determined mainly by the probability of erroneous pulse reception.

As noted above, one of the basic conditions for the proper operation of the timing lines is the correct pulse distribution of the received group sequence on the corresponding channel node. The line in which such compliance is ensured is called synchronous, and the set of synchronizing devices (and measures) is called the synchronization system.

In practice, in-line synchronization means that each receiver node only opens for the duration of its channel section of time and closes during the entire other time interval [8-9].

These tasks are solved with the help of special devices called, respectively, clocking devices and channel search devices. This distribution is relatively relative, as there is often interaction between these

devices. Slow phase output refers to the offset of the switching pulses relative to the received pulses with a frequency that is a few percent Hz and even less. These displacements are related either to temperature changes in the apparatus or to slow fading of group propagation times at line intervals (especially tropospheric ones). Slow phase shifts can lead to such temporal divergence of switching pulses with pulses that are accepted that the pulses of the previous or next channels may occur, and the failure of their own pulses may also occur.

Such parasitic modulation occurs due to the interference of the receiver and signals transmitted over the line channels. Parasitic modulation manifests itself in the form of interference on the communication channel. These interferences are called synchronization interferences. The accuracy requirements with slow and fast phase shifts depend on the type of modulation and coding accepted in the line, the number of channels and their interference protection, and more.

Under such a rule of operation is understood that the synchronization system is able to solve two main problems. The first of these is to create in the receiver by controlling the voltages (impulses) issued by the system distributor. The second task is to accurately match the switching pulses of a given channel node with the pulse arrival time of this channel in a group signal, ie, the task is to search for a synchronous state (search for synchronism) and hold it after finding [10].

### **Conclusion and prospects for further research**

Thus, the issues of improving the efficiency of radio communication systems (aviation, including) can be solved by using both special types of signals and different methods of their processing. Broad possibilities for improving the efficiency of radio communications are opened by the use of digital signals, which processing by means of specialized computers or devices based on programmable microprocessors, allows to create onboard and terrestrial complexes that automatically adapt to the changing conditions of the information space and types of signals used.

Channel synchronization, that is, the distribution of pulses in a group sequence by its channel nodes, is possible if the signal of one of the channels has its characteristic that distinguishes it from the other channels. In synchronous systems, it is quite common for such distinction features to be assigned to only one channel, which is called a marker or synchronization channel. Other channels are determined by the marker count. The hallmarks of the distinction may be: additional modulation of the clock pulses by a sine wave signal; other duration of clock pulses; form of clock pulses. Among the clock signals may be pulse groups that use special codes. The choice of a feature depends on the structure of the group signal, the requirements for the speed of response of the system to the output from the synchronism, the conditions of matching the receiver with the form of the clock signal and the like. The selection criterion is, as a rule, a low likelihood of such a feature being formed in signals from other channels or in a group signal during modulation and interference.

The synchronization system is built to respond to the presence or absence of difference markers. The absence in the control device (channel search system) of a signal with known features is transformed in the synchronization system to search for this signal. The search ends when the clock is found.

### **References**

1. Aviation radio communication devices. V.I. Tikhonov. - M.: VIA, 2006. - 442s.
2. Velichkin A.I., Azarov O.S., Sayutin O.V. Air Force Communication and Communication System. A.I. Velichkin. - M.: VIA, 1985. - 324s.
3. Varakin L.E. Communication systems with noise-like signals. - M.: Radio and communication, 2005. - 384s.
4. Telecommunication. Introduction to the specialty. Textbook for high schools. / V.G. Durnev. - M.: Radio and communication, 1988. - 240s.
5. Pavlova G.G. Satellite communication and broadcasting systems [Textbook. manual] [Text] / G.G. Pavlova // DVPI them. VV Kuibyshev: - Vladivostok, 2009. - 175 p.
6. Ponomarev, L.I. Modeling of mobile communication systems [Text] / L.I. Ponomarev, T.L. Mankevich, // The successes of modern radio electronics, - 1999. - No 8. - P.45-58.
7. Petrov B.M. Electrodynamics and Propagation of Radio Waves [Text] / B.M. Petrov - Moscow: Hot Line-Telecom, 2011.
8. Quasioptic methods in modeling problems of propagation of radio waves along the Earth's surface [Text] / Sukhorukov, A.P., Dudov, R.A., Korolev, A.F. etc. ; [under ed. Turchaninova A.V.] // Nonlinear world. - 2005. - No.1-2. - Vol. 3 - P.107-115.
9. Radiocommunication systems: Textbook for universities / N.I. Kalashnikov, E.I. Krupitsky, I.L. Dorodnov, V.I. Nosov, N.I. Kalashnikov. - M.: Radio and communication, 2008. - 352s.
10. Feinberg, E.L. Propagation of radio waves along the earth's surface [Text] / E.L. Feinberg - Moscow: USSR Academy of Sciences, 1999. - 546с.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-2

УДК 621.444.5

Булавка С.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Машинобудівний навчально-науковий інститут.

## ДОДАТКОВО КОРПУСНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ БЕЗМАСЛЯНОГО ПОВІТРЯНОГО КОМПРЕСОРА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

**Булавка С.С. Додатково корпусне охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря.** В даній роботі автором розглянуто декілька прикладів різноманітних систем охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря. Розглянуто дослідження в даній статті додаткове корпусне охолодження безмасляного повітряного компресора доохолоджувач з високою продуктивності гофрованого типу і охолоджуючий вентилятор великої пропускної здатності дозволяють спіральному компресору виробляти повітря з оптимальними характеристиками. Проаналізовано основні елементи безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря та його застосування. Результатами даної роботи є застосування додаткового корпусного охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря.

**Ключові слова:** компресор, безмасляний, охолодження, додаткове, зменшення температури.

**Булавка С.С. Дополнительное корпусное охлаждение безмасляного воздушного компрессора для уменьшения температуры воздуха.** Аннотация. В данной работе автором рассмотрены несколько примеров различных систем охлаждения безмасляного воздушного компрессора для уменьшения температуры воздуха. Рассмотрены исследования в данной статье дополнительное корпусное охлаждение безмасляного воздушного компрессора доохолоджувач с высокой производительности гофрированного типа и охлаждающий вентилятор большой пропускной способности позволяют спиральному компрессору производить воздуха с оптимальными характеристиками. Проанализированы основные элементы безмасляного воздушного компрессора для уменьшения температуры воздуха и его применения. Результатами данной работы является применение дополнительного корпусного охлаждения безмасляного воздушного компрессора для уменьшения температуры воздуха.

**Ключевые слова:** компрессор, безмасляный, охлаждения, дополнительное, уменьшение температуры.

**Bulavka S. S. Additional cooling of an oil-free air compressor housing to reduce air temperature** In this paper, the author discussed some examples of different cooling systems and oil-free air compressor to reduce the temperature. Considered study in this article the additional Cooling oil-free air compressor dooholodzhuвач high performance corrugated type cooling fan and throughput allow air to produce scroll compressors with optimum performance. The basic elements of oil-free air compressor to reduce the temperature and its application. The results of this work is the application of the additional Cooling oil-free air compressor to reduce the temperature.

**Keywords:** compressor, oil-free cooling, additional, reducing the temperature.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У компресорі з повітряним охолодженням для запобігання перегріву необхідно, щоб потік повітря, створюваний вентилятором, обдував його корпус. Потік повітря повинен нагнітатися безпосередньо на компресор. Повітря, що проходить через машинне відділення, не охолоджує компресор в достатній мірі.

Компресор з водяним охолодженням має водяну сорочку або мідний змійовик. Вода повинна циркулювати через систему охолодження, коли компресор працює.

Актуальною залишається проблема створення додаткового корпусного охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря, що забезпечує надійну, безвідмовну роботу з мінімальними економічними та енергетичними затратами і це є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Розглянемо в даній статті декілька прикладів різноманітних систем охолодження компресорів [1-3].

«OF Kompressoren» німецька марка, що спеціалізується на розробці і виробництві безмасляних компресорів об'ємного принципу дії (спіральні і гвинтові). Дані компресори призначені для використання в харчовій промисловості, наприклад, на пивоварнях безмасляний стиснене повітря використовується для передавлювання рідини з однієї ємності в іншу.

Застосовувані технічні рішення спрямовані на унеможливлення потрапляння вуглеводневих домішок в стиснене повітря. У гвинтових компресорах використовується впорскування води в камеру стиснення, в гвинтовому блоці повністю відсутні масло-залежні елементи. При цьому, для підтримки якості використовуваної води, встановлюється система очищення і контролю наявності домішок.

У спіральних компресорах застосовуються блоки стиснення, принцип роботи яких не допускає наявність масла в процесі стиснення повітря. Корпус компресори оснащується спеціальним звукоізолюючим матеріалом, який значно знижує рівень шуму. Багаторічний досвід виробництва і реалізовані проекти, дозволяють вирішувати різні завдання пов'язані з отриманням і очищенням безмасляного стисненого повітря.

**Постановка завдання.** Основною метою та завданням дослідження є додаткового корпусного охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря. Дослідження в даній статті відноситься до обладнання насосних та компресорних агрегатів.

Завдання дослідження вирішується таким чином, що конструкція безмасляних компресорів являє собою зразок найкращого поєднання передової технології теплообмінників з конструкцією компресорів. Вона поєднує в собі малі втрати тиску і високоефективне охолодження. Стисле повітря проходить через мідні трубки з вбудованими ребрами. Труби охолоджуються зовні водою. Це гарантує ефективний теплообмін між повітрям і водою. Велика площа теплообміну спеціально розрахована, щоб забезпечити відмінне охолодження повітря при незначному підвищенні температури охолоджувальної води.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Система охолодження компресорів сприяє зменшенню роботи, що витрачається на стиснення повітря, знижує температуру всмоктуваного повітря, веде до підвищення продуктивності компресорів. Крім того, на клапанах і поршневих кільцях не утворюється нагар, оскільки при низькій температурі сповільнюються процеси окислення і розкладання масла. Система охолодження забезпечує умови для нормальної змащення циліндрів і безпечної роботи компресорів, так як температура повітря, що стискається підтримується значно нижча за температуру займання масла. [4]

Система додаткового корпусного охолодження компресора служить для відводу тепла від деталей і вузлів, що нагріваються при роботі, для охолодження повітря і охолодження газу, що стискається в ступенях компресора.

Безмасляний повітряний компресор представляє собою агрегат промислового призначення, що нагнітає повітря за допомогою гвинтової пари. Даний тип обладнання широко застосовують в промисловості при необхідності безперервно постачати стиснене повітря пневматичним системам. Гвинтове компресорне обладнання є економічним і сучасним обладнанням, яке характеризується помірним споживанням електричної енергії, простотою обслуговування і управління, а також довговічністю.

Безмасляний повітряний компресор – це агрегат оснащується повітряною, рідинної, або масляною системою охолодження. В результаті проходження процедури охолодження, повітря може містити масляні краплі, тверді частинки, а також водяні пари, що сприяє зносу обладнання. Тому, на виробництвах, де необхідно підтримувати високі стандарти чистоти стисненого повітря, використовуються повітряні і рідинні системи охолодження. Існують також моделі компресорів, оснащених ресивером і осушувачем, які поряд з очищенням від домішок повітря, забезпечують його рівномірну подачу і економію електроенергії. Такі моделі є хорошим рішенням для компактних виробництв.

Гвинтові компресорні установки активуються за допомогою електродвигуна. Переміщення певного обсягу охолоджуючого речовини (холодоагенту) у формі газу, дозволяє точно відслідковувати процес охолодження в компресорі. Золотник, яким оснащений компресор, забезпечує зниження рівня припливу газу і потужності.

Гвинтовий компресор здатний працювати в режимі холостого ходу, що дозволяє знизити споживання електроенергії в п'ять разів, а також максимально скоротити знос деталей через відсутність зайвих включень електричного двигуна [3-4].

Даний вид компресора, на відміну від поршневих компресорних установок, не викидає зайве повітря. Крім того, гвинтовий компресор виробляє стиснене повітря помірної температури, так як на кінці стиснення температура низька.

За технічними характеристиками безмасляні повітряні компресори порівнянні з поршневими агрегатами промислового класу і актуальні для підприємств, на яких необхідно підтримувати безперервний процес виробництва.

Основний принцип роботи безмасляних гвинтових компресорів такий же як у масляних компресорів, тільки в цьому випадку тут не використовується масло, тільки повітря! Т.к тут не

впорскується масло під час стиснення, стиснення проводиться зазвичай в два етапи. Тому що якщо ми будемо стискати повітря в одну стадію наприклад з 1 до 7бар, він стане дуже гарячим.

Ступінь 1 стискає повітря до декількох бар (наприклад 2,5бар). Повітря тут дуже гарячий, тому він подається спочатку через проміжний охолоджувач перш ніж вступити в другий щабель. Ступінь 2 стискає повітря далі з 2,5бар до необхідної величини, наприклад до 7 бар. Зазвичай 2 ступені вбудовані на 1 редукторі з 1м ел. двигуном який приводить їх в рух одночасно.

Якщо вам потрібен 100% безмасляне повітря і у великій кількості, безмасляний гвинтовий компресор то що вам потрібно. Звичайно ж, тут мова і про велику ціну, але якщо Вам дійсно потрібен 100% безмасляний повітря, то у Вас немає вибору. Переваги: 100% повітря без масла.

Недоліки:

- Дорожчий, ніж масляний тип.
- Обслуговування / ремонт складніший процес і дорожчий, ніж у масляного типу компресора.

- Більш гучний, ніж масляний тип.

Безмасляні компресори мають багато областей застосування. Це харчова, хімічна промисловість, фармацевтика, радіоелектроніка та виробництво напівпровідників. Гвинтові безмасляні компресори можна поділити на безмасляні компресори з уприскуванням води в камеру стиснення, гвинтові компресори сухого стиснення.

Безмасляні повітряні компресори ідеально підходять для споживачів стисненого повітря в таких чутливих до якості повітря галузях, як фармацевтика, харчова та напівпровідниковий виробництво, де потрібно абсолютно безмасляне стиснене повітря. У гвинтовому безмасляні компресори ZS 37+ попадання масла в контур стиснення неможливо, що означає отримання спочатку безмасляного стисненого повітря. Завдяки безмасляному повітрю потрібно менш дороге наступне очищення повітря. Крім того, так як компресори даної серії проектувалися для безпечного і надійного стиснення великих обсягів безмасляного повітря, вони енергетично ефективні як при повному навантаженні, так і в переривчастому режимі [5, 6, 76 9-11].

Використання двоступеневого компресорного блоку гарантує дуже низьку питому витрату енергії. Доступні версії компресорів з прямим або кліноременим приводом, а також опціонально з частотним перетворювачем. Вали укомплектовані спеціальними кільцями ущільнювачів з двоступінчастим охолодженням. Ця система гарантує найбільшу експлуатаційну надійність. На високоточні ротори нанесено довговічну захисне покриття, що запобігає корозії.

Гвинтова компресорна щабель з достатнім запасом міцності роликів підшипників має високу якість і міцність, забезпечує найбільш тривалі терміни служби навіть в найжорсткіших умовах експлуатації. Спеціальні підшипники усувають необхідність додаткової компенсації осьових навантажень.

Розглянемо Компресор Atlas Copco ZS 37+, який наведено на рис. 1 [8].



Рис. 1. Компресор Atlas Copco ZS 37+

Багато галузей промисловості використовують компресори в виробничому процесі і тому зможуть отримати користь з енергозберігаючих властивостей гвинтових компресорів. В основному

це можуть бути муніципальні і промислові станції водоочистки, де на компресори доводиться 70% сумарних витрат електрики. Мільйони бактерій розмножуються на органічних відходах, перетворюючи їх в діоксид вуглецю, азот і воду. Оскільки для життєдіяльності бактерій необхідний кисень, значні кількості повітря продуваються через аеротанки.

Незалежна організація TÜV провела порівняння характеристик нового безмасляного повітряного компресора ZS з характеристиками трилопатевого компресора згідно з міжнародним стандартом ISO 1217, ред. 4. Результати показали, що ZS на 23,8% ефективніше, ніж трилопатевий компресор при тиску 0,5 бар (хат.) / 7 фунт. / Кв. дюйм (ман.), і на 39,7% при тиску 0,9 бар (хат.) / 13 фунт. / кв. дюйм (ман.). Висока ефективність ZS обумовлена головним чином технічно досконалою гвинтовий технологією.

Іншими особливостями, що гарантують високу ефективність і надійність, є інтегрований редуктор, система мастила і інноваційна конструкція, яка об'єднує всі окремі компоненти в готове до роботи обладнання [6, 8].

Atlas Copco є світовим лідером в області виробництва компресорів, будівельного і гірничошахтного устаткування, промислового інструменту і складальних систем. Група пропонує інноваційні продукти і послуги, що забезпечують зростання продуктивності замовників. Група Atlas Copco, заснована в 1873 році, має представництва в більш ніж 170 країнах світу. Штаб-квартира компанії знаходиться в Стокгольмі, Швеція, і має представництва в більш ніж 170 країнах. У 2009 році в Atlas Copco налічувалося 30 000 співробітників, дохід компанії склав 64 млрд. Шв. крон (6 млрд. євро).

Департамент безмасляних компресорів займається розробкою, виробництвом і збутом безмасляних повітряних компресорів для всіх галузей промисловості по всьому світу, де якість повітря має життєво важливе значення, а також маслonaповнених компресорів для «менш вимогливих» галузей промисловості. Основна увага приділяється створенню систем оптимізації повітря, післяпродажного обслуговування і розробці технічних рішень з контролю якості повітря з метою підвищення продуктивності наших замовників. Штаб-квартира підрозділу і головний виробничий центр розташовані в м Антверпен, Бельгія [8].

Безмасляні гвинтові сходи ZS 37+ працюють з набагато більшою швидкістю, ніж маслосалезні ступені і тому висока температура повітря, що виникає в ході компресії, розсіюється по-іншому.

Спеціальна компресорна щабель ZS 37+ та концепція додаткового охолодження є центральним елементом конструкції. Обидва компоненти були розроблені для забезпечення граничної безпеки і максимальної ефективності - ідеально підходять для областей застосування з високими вимогами.

**Висновки і перспективи подальших розвідок.** Таким чином, Безмасляний повітряний компресор представляє собою агрегат промислового призначення, що нагнітає повітря за допомогою гвинтової пари.

Система додаткового корпусного охолодження компресора може бути декількох типів: повітряне, водяне. При розробці компресора з додатковим водяним охолодженням застосовуються технології спрямовані на повне виключення можливості попадання охолоджуючої рідини в внутрішній контур. При цьому за рахунок використання сухої градирні, вимоги до вентиляції приміщення знижуються, так як охолодження вимагає тільки електромотора, і частотного перетворювача.

Технології, застосовані в даному обладнанні, знизили витрати на технічне обслуговування. Основне технічне обслуговування такої системи додаткового корпусного охолодження зводиться до заміни всмоктуючого фільтру і обслуговування системи власної водопідготовки.

Результатами дослідження є додаткового корпусного охолодження безмасляного повітряного компресора для зменшення температури повітря.

Безмасляні повітряні компресори ідеально підходять для споживачів стисненого повітря в таких чутливих до якості повітря галузях, як фармацевтика, харчова та напівпровідниковий виробництво, де потрібно абсолютно безмасляне стиснене повітря.

#### Список бібліографічних посилань

1. Система - охлаждение - компрессор – [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.ngpedia.ru/id426273p1.html>
2. Безмасляные компрессоры of kompressoren – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mppnik.ru/publ/1542-bezmaslyanye-kompressory-obemnogo-principa-deystviya-of-kompressoren.html>

3. Винтовые компрессоры безмасляные BOGE – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.immertechnik.ru/downloads/so.pdf>
  4. Федоров О.Г. Компрессорні станції та компрессорні установки. Навчальний посібник. Посібник для студентів, що навчаються за спеціальностями 7.090508 та 7.090.522 напрямку Енергомашинобудування. Одеська національна академія харчових технологій. 2013
  5. Винтовые компрессоры и компрессорные установки. – [Электронный ресурс] . Режим доступа: [http://www.intech-gmbh.ru/screw\\_compr.php](http://www.intech-gmbh.ru/screw_compr.php)
  6. Atlas Copco Безмасляные воздушные компрессоры. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/1109179.pdf>
  7. Козорез А.И. Компрессорні станції та компрессорні установки.- ОДАХ. 2007. 71.
  8. Atlas Copco представляет энергосберегающие винтовые воздуходувки. [Электронный ресурс] . Режим доступа: <http://profitoolinfo.ru/ru/news/3483/>
  9. Тиранов С.В. Системы снабжения предприятий сжатым воздухом: Учеб. пособие. Нижнекамск: НХТИ, 2010.
  10. Трубаев П.А., Беседин П.В., Гришко Б.М. Проектирование систем воздухообеспечения промышленных предприятий: Учеб. пособие. Белгород: БелГТАСМ, 2001. 122 с.
  11. Рахмилевич З.З. Компрессорные установки.-М.:Химия, 1989. 272с.
- 
1. System - cooling - compressor - [Electronic resource] .- Access mode: <http://www.ngpedia.ru/id426273p1.html>
  2. Oil-free compressors of kompressoren - [Electronic resource]. Access mode: <http://mppnik.ru/publ/1542-bezmaslyanye-kompressory-obemnogo-principa-deystviya-of-kompressoren.html>
  3. Oil-free screw compressors BOGE - [Electronic resource]. Access mode: <http://www.immertechnik.ru/downloads/so.pdf>
  4. Fedorov OG Compressor stations and compressor installations. Tutorial. Guide for students studying in the specialties 7.090508 and 7.090.522 in the field of power engineering. Odessa National Academy of Food Technologies. 2013
  5. Screw compressors and compressor units. - [Electronic resource] . Access mode: [http://www.intech-gmbh.ru/screw\\_compr.php](http://www.intech-gmbh.ru/screw_compr.php)
  6. Atlas Copco Oil-free air compressors. - [Electronic resource]. Access mode: <http://promkatal.rf/PublicDocuments/1109179.pdf>
  7. Kozorez AI Compressor stations and compressor installations. - ОДАХ. 2007. 71.
  8. Atlas Copco introduces energy-saving screw blowers. [Electronic resource] . Access mode: <http://profitoolinfo.ru/en/news/3483/>
  9. SV Tiranov Systems of supply of the enterprises with compressed air: Textbook. allowance. Nizhnekamsk: NKTI, 2010.
  10. PA Trubaev, PV Besedin, BM Grishko. Designing of systems of air supply of the industrial enterprises: Textbook. allowance. Belgorod: BelGTASM, 2001. 122 p.
  11. Rakhmylevich Z.Z. Compressor installations. - М .: Chemistry, 1989. 272s.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-3

УДК 004.91:331.5

Єрошенко О. С., Степаніщева В. С., Єременко О. С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРЕНДІВ НА РИНКУ ПРАЦІ. АНАЛІЗ ТА СТРУКТУРУВАННЯ ОТРИМАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Єрошенко О. С. Степаніщева В. С. Єременко О. С. Визначення трендів на ринку праці. Аналіз та структурування отриманої інформації.** У даній роботі розглянуто способи визначення трендів на ринку праці. Проведено огляд провідних веб-сервісів з надання інформації про вимоги роботодавців до майбутніх працівників. Представлено алгоритми парсингу HTML коду сайтів вакансій. Запропоновані методи пост-обробки та аналізу результатів парсингу. Наведені моделі зберігання результатів парсингу та критерії подальшого використання результатів в системі дистанційного навчання. Для парсингу та аналізу використовувались можливості мови Python.

**Ключові слова:** парсинг веб-сайтів, API, інтелектуальний аналіз текстових даних, класифікація ключових слів в текстах.

**Єрошенко А. С., Степаніщева В. С., Єременко Е. С. Определение трендов на рынке труда. Анализ и структурирование полученной информации**

В данной работе рассмотрены способы определения трендов на рынке труда. Проведен обзор ведущих веб-сервисов по предоставлению информации о требованиях работодателей к будущим работникам. Представлены алгоритмы парсинга HTML кода сайтов вакансий. Предложенные методы пост-обработки и анализа результатов парсинга. Приведенные модели хранения результатов парсинга и критерии дальнейшего использования результатов в системе дистанционного обучения. Для парсинга и анализа использовались возможности языка Python.

**Ключевые слова:** парсинг сайтов, API, интеллектуальный анализ текстовых данных, классификация ключевых слов в текстах

**Yeroshenko O., Stepanishcheva V. Yeremenko O. Determining trends in the labour market. analysis and structuring of obtained information.** This research paper discusses ways to identify trends in the labour market. An overview of the leading web services to provide information on employers' requirements for future employees has been conducted. The algorithms for parsing HTML code for job sites are presented. Methods of post-processing and analysis of parsing results are offered. Models of storage of parsing results and criteria of further use of results in the distance learning system are presented. Python opportunities were used for parsing and analysis.

**Keywords:** website parsing, API, textual data mining, keyword classification in texts.

**Постановка проблеми.** Зараз, коли цифрові технології зазнають дуже швидкого та глобального розвитку, дуже важливо йти в ногу з часом. Це стосується не тільки розваг та буденних послуг, а й такої галузі як дистанційне навчання.

Чи потрібні сьогодні технікуми, університети, очні курси підвищення кваліфікації? В частині випадків ці заклади просто необхідні. Але ж є галузі, викладання яких дещо відстає від розвитку технологій. Адже інформаційні технології розвиваються настільки швидко, що не кожен викладач встигає ознайомитись зі всіма новинками, опанувати їх та викладати студентам. Наприклад, розглянемо викладання веб-дизайну. В рамках дисципліни треба розглянути багато технологій: дизайн (загальна теорія, користування графічними редакторами тощо), розмітка та стилізування (HTML, CSS та різноманітні препроцесори, на кшталт Jade) та фреймворки для різних мов програмування.

У дистанційному навчанні все набагато простіше, адже там на кожен технологію є багато спеціалістів, для яких простіше робити курс з однієї технології.

Отже, в дистанційному навчанні є сенс та користь. Але з'являється нова проблема. Яким чином людина може визначити, що вивчати?

Відповідь треба шукати серед тих варіантів, які популярні на ринку. Якщо людина не знає, що вивчати, треба звернути увагу на те, що актуально і затребувано серед роботодавців сьогодні і зараз.

Саме темі визначення трендів на ринку праці присвячене дане дослідження.

**Мета статті.** Головним питанням є визначення вимог серед роботодавців для працевлаштування за різними напрямками. Яким чином можна дізнатись навички, якими треба володіти? У цій справі також варто відійти від особистого спілкування з людьми: опитування представників ІТ компаній та експертів в певних предметних областях є неефективними. Але як тоді отримати відомості про потреби ринку без відкритих баз даних та однозначних переліків знань?

Коли постає питання про сервіс, в якому можна знайти вимоги до людей, які шукають роботу, відповідь виникає сама по собі: сайти з вакансіями.

На меті стоїть отримання відомостей про навички, які необхідні для опанування професії. Також їх треба проградіювати за важливістю.

Отже, система складатиметься з парсера, який збиратиме інформацію про вакансії, та з аналізаторів, які будуть підраховувати усі необхідні для роботи критерії: приналежність слова до галузі, категорії та зв'язок між ключовими словами.

**Парсер.** Для початку необхідно зібрати описи вакансій. Щоб результат був максимально об'єктивним і таким, що відображає реальні потреби ринку, варто збирати інформацію з кількох сайтів: Head Hunter, Rabota.ua.

Такий перелік сайтів обумовлений тим, що Head Hunter - це дуже відомий міжнародний сайт для пошуку роботи, а Rabota.ua надзвичайно поширений сервіс в Україні.

Отже, розглянемо процес отримання даних з усіх перерахованих джерел.

**Head Hunter.** Парсинг інформації з даного сервісу є найлегшим, адже сайт надає безкоштовний API, отримати доступ до якого дуже легко: подача та розгляд заявки зайняли не більше тижня.

В рамках роботи нас цікавить лише один запит: <https://api.hh.ru/vacancies>. Для спрощення роботи доступні різні параметри фільтрації: пошуковий запит, область пошуку, досвід роботи, тип зайнятості, графік роботи, регіон, спеціалізація, індустрія компанії, розмір заробітної плати, тощо.

Під час парсингу вакансій нас цікавитимуть лише наступні аргументи:

- text — пошуковий запит. Наприклад: веб-дизайнер.
- experience — досвід. За допомогою цього поля є можливість обирати різні вакансії для користувачів з різним рівнем знань: початківців, досвідчених, професіоналів. Доступні наступні градації: немає досвіду, від 1 до 3 років, від 3 до 6 років, більше 6 років
- area — регіон. Таким чином, ми можемо визначати потреби на ринку в різних країнах або містах.
- specialization — код спеціалізації. Доступно дуже багато спеціалізацій для пошуку: адміністрування баз даних, тестування, програмування тощо.

Пропонується використовувати постійні та змінні комбінації параметрів.

Постійні: пошуковий запит, кількість вакансій на сторінці, номер сторінки та регіон, значення якого залежатиме від вказаного регіону користувачем в профілі системи.

Змінні ж залежатимуть від потреб пошуку. Загальними критеріями потреби внесення додаткових фільтрацій є:

- Потреба уточнення. Якщо запит користувача: «дизайнер» в сфері ІТ, то є сенс уточнити спеціалізацію та індустрію, в якій працює компанія.
- Недостатність результатів. Наприклад, людина з рівнем досвіду N хоче перейти на рівень N + 1 (з без досвіду - на 1-3 роки досвіду або з 1-3 роки на 3-5 років досвіду). Задаючи необхідну градацію за досвідом, система може отримати мало даних за запитом. В такій ситуації доцільно прибрати даний параметр, щоб отримати більше результатів.
- Потреба в локалізації. Обернений випадок до попереднього. Іноді система містить достатньо даних для того, щоб звузити пошук до певного рівня досвіду, регіону (наприклад, перейти з масштабів країни до міста або району).

В результаті роботи будь-якого успішного запиту ми отримаємо відповідь у вигляді об'єкта json, який має наступну структуру:

```
{
  "items": [
    Об'єкти вакансій
  ],
  "found": Кількість вакансій за запитом,
  "pages": Кількість сторінок,
  "per_page": Кількість вакансій на сторінці,
  "page": Номер поточної сторінки,
  "clusters": Кластери,
  "arguments": Додаткові аргументи,
```

```
"alternate_url": Альтернативний запит для пошуку  
}
```

Об'єкт кожної вакансії має наступну структуру (наведені лише найважливіші аргументи, адже кожна вакансія містить дані, які в даній роботі не несуть інформаційної цінності):

```
{  
  "id": ID вакансії,  
  "name": Назва вакансії,  
  "area": регіон,  
  "salary": рівень заробітної плати,  
  "type": Тип: "відкрита"/"закрита",  
  "employer": Інформація про компанію,  
  "url": URL до повноцінної сторінки вакансії,  
  "relations": Певні зв'язки,  
  "snippet": {  
    "requirement": Вимоги,  
    "responsibility": Основні задачі  
  },  
  "contacts": Контакти,  
  "specializations": [  
    {  
      "profarea_id": ID галузі,  
      "profarea_name": назва галузі,  
      "id": ID спеціалізації,  
      "name": спеціалізація  
    },  
    ...  
  ],  
}
```

З усіх наданих даних найбільше нас цікавить поле "snippet", в якому є властивість "requirement" - це і є опис вакансії, який буде використовуватись для аналізу.

Також, варто зберегти значення "specializations", адже це поле містить назву галузі, до якої відноситься дана вакансія.

**Rabota.ua.** Парсинг даного сервісу вже трохи ускладнюється, адже в нього немає API у відкритому доступі, тож доведеться отримувати інформацію більш складним способом.

Парсинг буде проводитись в декілька етапів:

1. Формування пошукового URL запити
2. Визначення кількості сторінок з результатами пошуку
3. Діставання посилань на вакансії з кожної сторінки
4. Парсинг кожної вакансії

Формування пошукового запити відбувається за наступною схемою: до базового URL "https://rabota.ua/zapros/" потрібно додати те, що необхідно знайти. Тобто якщо потрібні вакансії за позицією веб-дизайнера, потрібно додати назву професії до базового пошукового запити, замінивши всі неbukвенні символи на "-". У результаті отримаємо наступний запит: "https://rabota.ua/zapros/веб-дизайнер".

Визначити кількість сторінок з результатами пошуку можна двома способами.

Необхідно отримати HTML код першої сторінки, знайти в ньому блок, в якому зберігаються посилання на всі інші сторінки, та просто забрати текст з останнього посилання (Рис. 1).



Рисунок 1 - Спосіб визначення кількості сторінок

В другому способі потрібно отримати не першу сторінку результатів пошуку, а другу. Зробити це можна додавши до пошукового запиту "pg2". Після цього ми з коду сторінки і витягаємо елемент TITLE, в якому міститься номер другої сторінки та номер останньої сторінки: <title>Стор 2 з 13: Робота веб-дизайнер у Україні, пошук вакансій веб-дизайнер у Україні | Robota.ua</title> (Рис. 2).

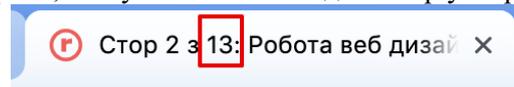


Рисунок 2 - Title сторінки з номером останньої сторінки результатів пошуку

Після того, як ми дізнались кількість сторінок видачі, ми можемо переходити до збирання посилань на вакансії. На кожній сторінці результатів пошуку забираємо посилання зі списку елементів з класом ga\_listing.

Кінцевий етап: опис вакансій. Збираючи HTML код сторінки кожної вакансії, виділяємо блок з класом d\_des, який і містить необхідну нам інформацію.

**Аналіз описів вакансій.** Процес аналізу розпочнемо з виділення ключових слів. Алгоритм роботи доволі простий: спочатку необхідно прибрати все зайве, що залишилось після парсингу, як от HTML теги <p>, <b>, <highlighttext> та знаки пунктуації [3].

На даному етапі розробки, система розрахована тільки на пошук вакансій в ІТ сфері, тож доцільним є рішення прибрати усі не латинські слова, адже більшість технологій та навичок мають англійські назви. Хоча, багато вакансій вже описуються англійською, звичайні слова не дуже впливатимуть на результати, бо в подальшому вони будуть видалятися з використанням відповідних алгоритмів.

Фінальним етапом парсингу буде визначення того, скільки разів зустрічається кожне слово.

**Критерії.** З метою якісного збереження результатів та використання їх у подальшому аналізі введемо три початкових критерії [2]:

1. частота повторювання у вакансії. Позначимо цей критерій V;
2. частота повторювання у загальній пошуковій видачі. Позначимо цей критерій S;
3. зв'язок ключового слова з іншими словами у вакансії. Позначимо цей критерій K.

Це пропонується зробити, по-перше, для того, щоб не було ситуацій, коли певна навичка в одній вакансії зустрічається стільки ж разів, скільки якась інша зустрічається в усіх результатах. По-друге, ця операція виступатиме в ролі нормування і вагування: отримані значення будуть вагами приналежності до галузі, категорії та зв'язку одне з одним [1].

Частота повторювання у вакансії визначатиметься наступною формулою (1):

$$V_{\text{keyword}} = n_{\text{keyword}} / N_i \quad (1),$$

де  $n_{\text{keyword}}$  - це кількість повторювань ключового слова keyword в описі вакансії,  $N_i$  - загальна кількість ключових слів у вакансії.

Таким чином, сума ваг усіх ключових слів дорівнюватиме одиниці.

Обрахувавши суму усіх значень повторювань для кожного слова та поділивши на кількість вакансій (виходячи з того, що сума частот повторювання усіх ключових слів в межах однієї вакансії дорівнює одиниці, стає очевидним той факт, що сума частот повторювання усіх ключових слів дорівнює кількості вакансій помножених на одиницю), отримаємо частоту повторення ключового слова в результатах даного пошукового запиту (2) [4].

$$S_{\text{keyword}} = N_{\text{keyword}} / N_{\text{vacancies}} \quad (2)$$

Зв'язок ключового слова з іншими словами у вакансії обраховуватиметься як (формула 3):

$$K_{ij} = V_{\text{keyword } i} / V_{\text{keyword } j} \quad (3),$$

де  $V_{\text{keyword } i}$  - це частота повторювання у вакансії слова i, а  $V_{\text{keyword } j}$  - це частота повторювання слова j.

Метою обрахування цієї величини є не знаходження схожості. Ми намагаємось виразити величину, яка могла б характеризувати грубу і приблизну вірогідність  $K_{ij}$  того, що якщо у вакансії є слово keyword 1, то i keyword 2 може тут бути.

В результаті, ми отримаємо ваги зв'язаності для ключових слів в межах окремих вакансій для даної галузі, яка визначається пошуковим запитом та значенням категорії з описів вакансій, що надає можливість мати найбільш точні дані для подальшого використання [6, 5].

Описані критерії в прикладному вигляді - у вигляді сутностей бази знань - представлені нижче.

На Рис. 3 ми бачимо зв'язок між галуззю, яку ми отримуємо з опису вакансії, та ключовими словами, які були знайдені в даній вакансії. Вагою зв'язку є критерій  $V_{\text{keyword}}$ .

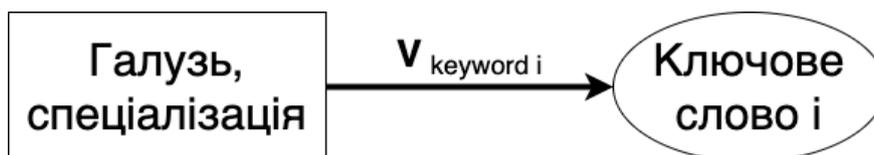


Рисунок 3 - Зв'язок галузі (спеціалізації) з ключовим словом і.

На Рис. 4 продемонстрований аналогічний зв'язок між пошуковим запитом та ключовими словами, які були отримані в результаті аналізу пошукової видачі. Вагою зв'язку є  $S_{keyword}$ .

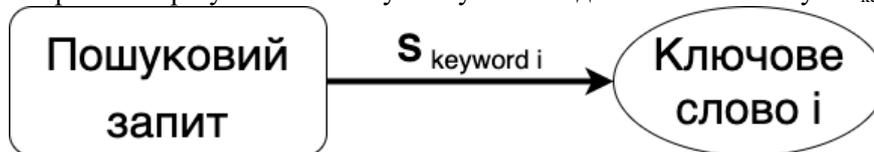


Рисунок 4 - Зв'язок тексту з пошукового запиту з ключовим словом і.

Останнім відношенням є зв'язок між ключовими словами, який характеризується вагою зі значенням  $K_{ij}$  (Рис. 5).

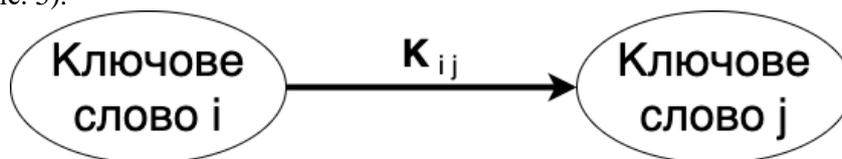


Рисунок 5 - Зв'язок ключових слів і та j.

**Висновок.** Як результат були створені парсери двох сайтів з вакансіями та аналізатори описів цих вакансій. За допомогою аналізаторів дані з вказаних сервісів структуруються та зв'язуються між собою. Утворюються зв'язки з критеріальними вагами між такими сутностями, як: ключове слово - галузь, ключове слово - запит/категорія та ключове слово - ключове слово. Ваги, що пов'язують сутності, обраховуються за максимально оптимальними виразами, що не ускладнюють структуру, але в той же час достатньо якісно описують моделі.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальшому планується розширити функціонал, додавши парсинг нових сервісів, а саме: другого за популярністю сайта з вакансіями Work.ua та найпопулярнішого сайту в ІТ сфері України dou.ua. Аналізатори будуть покращені (як і структура моделей бази знань) з метою охоплення нового функціоналу. Наробки будуть використовуватись в таких сервісах, як: автоматизація створення профілю користувача, підготовка даних для тестування знань та створення інформаційно-пошукової системи в рамках системи дистанційного навчання.

## References

1. Modelling and Detecting Changes in User Satisfaction. Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'14) / J. Kiseleva, E. Crestan, R. Brigo, R. Dittel. – New York: ACM, 2014.
2. Multimedia Content Recommendation Engine with Automatic Inference of User Preferences. Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing / A. M. Ferman, P. Van Beek, J. H. Errico, M. I. Sezan – 2003.
3. An adaptive user profile for filtering news based on a user interest hierarchy [Електронний ресурс] / S. Singh, M. Shepherd, J. Duffy, C. Watters // ASIS&T Digital Library. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1002/meet.1450430154>.
4. Salton G. Automatic Information Organization and Retrieval / Gerard Salton. – New York: McGraw-Hill, 1968.
5. Ahn J. Personalized Search: Reconsidering the Value of Open User Models, Proceedings of the 20th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '15) / J. Ahn, P. Brusilovsky, S. Han. – New York: ACM, 2015.
6. Kim H. R. Learning Implicit User Interest Hierarchy for Context in Personalization IUI'03 / H. R. Kim, P. K. Chan. – Miami, 2003.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-4

UDC 004.93.1; 681.142

<sup>1,2</sup>Заяць В.М., д.т.н., професор; <sup>1</sup>Маєвський Яцек, phd, доцент; <sup>1</sup>Марціняк Томаш, phd, доцент; <sup>3</sup>Заяць Марія Михайлівна, ст викладач.

<sup>1</sup>Університет Технологічно-Природничий (УТР), м. Бидгощ, Польща.

<sup>2</sup>Національний університету водного господарства та природокористування.

<sup>3</sup>НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

## THE COMBINATION NUMERICAL METHOD OF EFFECTIVE PROCESSING HIGH FREQUENCY SIGNALS

**Zaiats V.M., Majewski J., Marciniak T., Zaiats M.M. The combination numerical method of effective processing high frequency signals.** An iterative approach to the construction of second-order numerical methods based on the Liniger-Willaby method with minimal error of discretization is proposed. The essence of the approach is to identify corrections to the Euler's explicit and implicit method at a time when their contributions to the amendment are equivalent. Improved time and accuracy in the process of determining the characteristics of quartz oscillators of the 9th order and high-speed auto-generators 18 of the order with very long transients.

**Keywords:** numerical methods; discretization; quartz generators; self-oscillation systems; discrete formula; error of discretization.

**Заяць В.М., Маєвський Я., Марціняк Т., Заяць М.М. Комбіновані числові методи ефективного опрацювання високочастотних сигналів.** Запропоновано ітераційний підхід до побудови чисельних методів другого порядку, заснованих на методі Лінігера-Уїллабі, які мають мінімальну помилку дискретизації. Суть підходу у визначенні поправок до явного та неявного методу Ейлера в той момент, коли їх внески в цю поправку рівнозначні. Підтверджено поліпшення точності розрахунку та мінімізації часу у процесі визначення характеристик кварцових генераторів 9 порядку та високо добротних автогенераторів схем 18 порядку з дуже довгими перехідними процесами.

**Ключові слова:** числові методи; дискретизація; кварцові генератори; автоколиванні система; дискретна формула; помилка дискретизації.

**Заяць В.М., Маєвський Я., Марціняк Т., Заяць М.М. Комбинированные численные методы эффективной обработки высокочастотных сигналов.** Предложен итерационный подход к построению численных методов второго порядка, основанных на методе Линигера-Уиллаби, которые имеют минимальную ошибку дискретизации. Суть подхода в определении поправок к явному и неявному методу Эйлера в тот момент, когда их взносы в эту поправку равнозначны. Подтверждено улучшение точности расчёта и минимизации времени расчёта в процессе определения характеристик кварцевых генераторов 9 порядке и высокочастотного автогенератора 18 порядка с очень длинными переходными процессами.

**Ключевые слова:** численные методы; дискретизации; кварцевые генераторы; автоколебательные системы; дискретная формула; ошибка дискретизации.

**I. Introduction.** In work a new numerical method is offered for forming of the discrete equations during conducting of analysis of systems oscillation both autonomous, and with external forces. A discrete method is built such, that for obtain the next discrete point of state variables on integral curves, that answers the continuous model of process oscillation, need enough limited size of integration step at condition that a previous discrete point is found exactly.

Expedience of application of the developed method is shown to the analysis of quartz generators with high-Q quality [1, 2] and for generators with the long transitional processes [4-8, 13], that work in the regime of discrete time and for objects with difficult dynamic nature of such, as systems of recognition of computers users, that based on the probabilistic approach [14].

**II. APPROACH TO CREATING OF METHOD.** Among a plenty of implicit numerical methods, which found wide application at the analysis of the hard systems (implicit methods Eйлера, Runge-Coutta, many-stepping methods Adamsa-Moultona, Gira, formulas of differentiation backwards, that based on application of Legendra polynomials [3, 9-14]) there are methods with the variable step of calculations, that enable to realize by main advantage of implicit numerical methods in comparative with explicit numerical methods – changing of step in wide scopes at finding of point of phase space in areas with a different rate of movement. Methods higher than the second order of complication, practically, are not used. This is due with growth of calculable complication of algorithms, and from the second side that the methods of the second order allow to study dynamics of the system of any nature and difficulty of conduct.

The analysis of literary sources confirms, in considerable part of the applied researches of dynamics of the hard systems is used the method of trapezoids, discrete formula of which has a kind:

$$x[n+1] = x[n] + \frac{h}{2} \cdot (f[x[n], t_n] + f[x[n+1], t_{n+1}]) \quad (1)$$

where  $x[n]$ ,  $x[n+1]$  – value of state variables in the  $n$  and  $n+1$ - points of discretization;  $f[x[n], t_n]$ ,  $f[x[n+1], t_{n+1}]$  – value of right parts of the differential equation of the explore system, which written in normalized form Kashi.

A formula (1) is averaging amendments for implicit and explicit of methods Euler for calculate the next point of discretization, that determined in the moment of time on half size step integration. She coincides with the method of Adamsa-Bashforta first order which near to the implicit method Heyna, in which the exact meaning of derivative at the end of interval of calculations is transferable on the close value of derivative, calculated in the middle of step of integration.

With the purpose of increase of exactness of method of trapezoids expediently to modify him thus, to provide the exact hit in the  $n+1$  point of discrete during conducting of integration on condition that the values of state variables in a  $n$  point are calculated exactly. This it is possible to attain, if in (1) the step of integration is variable, and derivative (right parts of the differential equation) calculated in such moment on interval of  $h$ , that amendments of implicit method Eylera (second element of right part of formula (1)) and explicit method Eylera (third element of right part of formula (1)) are equal. Thus, we build a discrete method in a kind

$$x[n+1] = x[n] + h \cdot (\mu \cdot f[x[n], t_n] + (1-\mu) \cdot f[x[n+1], t_{n+1}]), \quad (2)$$

where  $0 < \mu < 1$ .

On the basis of equation of two tangents, conducted on one curve in different moments of time, we can to define the value of parameter  $\mu$  in that moment when amendments to implicit and explicit methods Eylera in a formula (2) are equivalent. Thus, from condition

$$\mu \cdot f[x[n], t_n] = (1-\mu) \cdot f[x[n+1], t_{n+1}]$$

we get that

$$\mu = \frac{f[x[n+1], t_{n+1}]}{(f[x[n+1], t_{n+1}] + f[x[n], t_n])}.$$

Consequently, we get a numerical discrete formula for construction of discrete models of the systems with different areas of slow and rapid of motions:

$$x[n+1] = x[n] + h \cdot \frac{2 \cdot f[x[n+1], t_{n+1}] \cdot f[x[n], t_n]}{(f[x[n+1], t_{n+1}] + f[x[n], t_n])}. \quad (3)$$

The results of computer design confirm a right to existence of such method what gives adequate recreation of descriptions of the set mode of oscillatory circuits without the losses, of generators with high quality, quartz generators with protracted transitional processes.

The negative in the resulted method, is comparatively with the method of trapezoid, in growth of algorithmic and computational complexity (almost in two times). Advantage in that at the comparable accuracy with the method of trapezoids on one step of integration, the developed method substantially extends the region of convergence of calculable procedures. In result at the calculation of generator with the protracted transitional processes, which are described by the differential equation of high orders, is necessity of application of methods of acceleration of search of the steady modes [4-7]. For providing of convergence of process of deductions, at the use of the discrete method (3), is possible to do without such procedure. Application of method (3) provides winning in time of calculation in 3 – 10 times in comparatively with the method of trapezoid and depends from dimension of equations that describe model generator and it's of quality.

As for the construction of the formula (3) the contribution of each of the Euler method does not exceed half the distance between  $x_n$  and  $x_{n+1}$ , thus the method (3) provides guaranteed limits on the error of discretization at each step and ensures its with positive sign.

Further, to facilitate entry new discrete formulas of the function at discrete point  $x(t_n)$  will record as  $f_n$ .

**III. Iteration Approach to Minimization Error of Discretization.** The analysis of error calculation on the example of the conservative model of second order (on example oscillation circuit without losses) confirmed that the error of calculation method (3) is proportional to  $h^2/24$ , as in the method of trapezoids, but has the opposite sign and twice more the absolute value. After used for the first half step of formula (3), and then formula (1), obtain discrete formula:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{(f_n + f_{n+1})} + \frac{h}{4}(f_n + f_{n+1}) \quad (4)$$

named as a difference combination of the first kind (C1K). The error of calculation when using (4) to the conservative system second order was two times lower compared with the method of trapezoids and opposite in sign. Now, after averaging (1) and (4) we obtain difference combination of the second kind (C2K):

$$x_{n+1} = x_n + \frac{h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{2 \cdot (f_n + f_{n+1})} + \frac{3 \cdot h}{8}(f_n + f_{n+1}) \cdot \quad (5)$$

As shown the results of the analysis error calculation method (5) on the model without loss, then it was 4 times less than the error of the method of trapezoids and two times less than the error of method (4). This error in the C2K coincides with the sign error in the method of trapezoids and opposite with the sign to the error C1K. Thus, we can expect further decrease of the error calculation of methods (5) and (6), which leads to a difference combination of third kind C3K):

$$x_{n+1} = x_n + \frac{3 \cdot h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{4 \cdot (f_n + f_{n+1})} + \frac{5 \cdot h}{16}(f_n + f_{n+1}) \cdot \quad (6)$$

Note that consider a combination of (6) to (4) inappropriate (although she has a right to exist), because (5) has in 4 times smaller of error calculation, compared to (4). In addition the signs of errors in (4) and (6) coincide. The proposed combination of difference schemes constructed so, that in combinations of odd genus (C1K, C3K) is more significant contribution to the second member in the derived formulas, compared with the third, but in even combinations of type (C2K) these deposits are almost equivalents. This construction provides a change of sign of error in obtaining the new combination. Thus, we can construct a method of any higher order, which will provide up to the members of the second order smallness arbitrarily small error. After arithmetic averaging (5) and (6) we arrive at the difference scheme fourth generation (C4K):

$$x_{n+1} = x_n + \frac{5 \cdot h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{8 \cdot (f_n + f_{n+1})} + \frac{11 \cdot h}{32}(f_n + f_{n+1}) \cdot \quad (7)$$

Analyzing formula (4) - (7), for  $k$ -th step at using on half-step steam combination and half-step odd, we obtain the difference scheme for the combination of  $k$ -th family (CKK):

$$x_{n+1} = x_n + \frac{a_k \cdot h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{(f_n + f_{n+1})} + a_{k+1} \cdot h \cdot (f_n + f_{n+1}), \quad (8)$$

where

$$a_k = \frac{2^k - (-1)^k}{3 \cdot 2^{k-1}}; \quad a_{k+1} = \frac{2^{k+1} + (-1)^k}{3 \cdot 2^{k+1}}.$$

Obviously, with increasing  $k$  the coefficients  $a_k$  and  $a_{k+1}$  in decrease, leading to a decrease of error calculation.

Thus, the error of calculation any  $k$ -th combinations can be estimated by the formula:

$$\delta = \frac{(-1)^k}{2^{k+1}}, \quad (9)$$

that confirming the analysis of conservative second-order systems, systems of high order and with high quality factor.

In order to minimize errors in (8) we will make the passage to the limit, directing  $k$  to infinity. Thus, we get the difference scheme (10). In her with accuracy to members of the second-order of smallness the errors are absent:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{2 \cdot h \cdot f_n \cdot f_{n+1}}{3 \cdot (f_n + f_{n+1})} + \frac{1}{3} \cdot h \cdot (f_n + f_{n+1}). \quad (10)$$

The conclusion that there is no error of difference scheme (10) that is the modification of method trapezoid (MMT) follows from formula (9), if in its parameter  $k$  goes to infinity.

The obtained results of error evaluation for difference schemes (5 - (8) and (10) confirmed at the modeling steady-state regimes of the generator Van der Pol [1, 4, 7]. In that model is introduced cubic nonlinearity to delay the transition process. The above analytical error of calculations (9) fully confirmed our results of computer simulation for different values of the parameters of the generator Van der Pol.

The analysis high quality generator that described by a system of differential equations of order 18 at the choice 200 points in every steep, when we used method trapezoids (1) or method (10), that provide normal mode search steady state. At that the use of (1) requires twice more time consuming than (10). With increasing step twice, trapezoid method does not provide the convergence process of deduction, while MMT provides a deduction of the exact value of state variables and frequency fluctuations. A good correspondence between auto vibration system and its discrete model is stored and at the choice of 45 points using the difference scheme MMT.

**IV. Results Numerical Experiments.** The results obtained by evaluating error for the obtained difference schemes (4) - (8) and (10) confirmed in modeling steady state and transient process in the generator Van der Pol [7], where was done modification and we introduced cubic nonlinear for the delay the transition process.

How to confirm the results of computer experiments errors in determining state variables missing, and error calculation of the oscillation period fully consistent with the analytical expression (9) for different values of  $k$ .

For convincing proof of the legality of the results were analyzed high-Q generator circuits [7] with long transients.

As a first example considered quartz generator circuit is shown in Fig. 1. For the calculation used for transistors model of Ebersa - Mola. The calculation was performed at the selecting of parameters the scheme such:

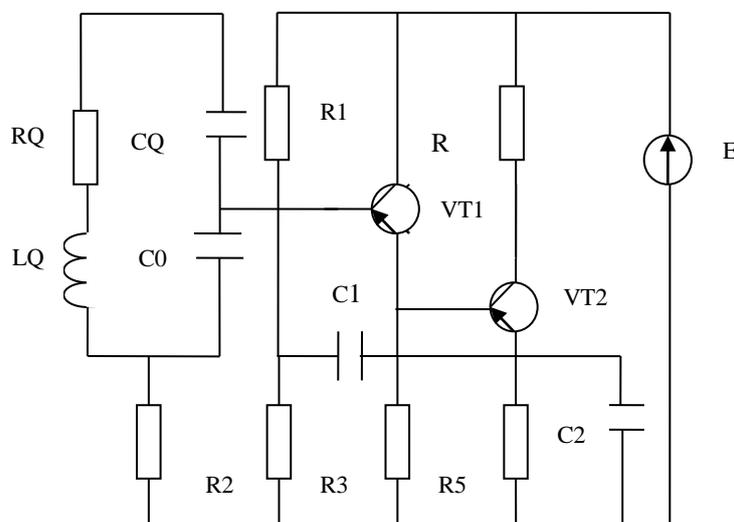


Fig. 1. Circuit of quartz generator

$$\begin{aligned}
 &RX = 10 \text{ мОм}; RQ = 20 \text{ Ом}; R1 = 68 \text{ кОм}; R2 = 20 \text{ Ом}; R3 = 10 \text{ кОм}; \\
 &R4 = 47 \text{ Ом}; R5 = 1.2 \text{ кОм}; CQ = 0,0010132118; C0 = 3 \text{ нФ}; C1 = 470 \text{ нФ}; \\
 &C2 = 470 \text{ нФ}; L = 1.0322536 \text{ Гн}; E = 8 \text{ В}.
 \end{aligned}$$

For zero approximation state variables we used the calculation regimes DC:

$$\begin{aligned}
 &X_1 = 1700; X_2 = 0.00168; X_3 = 4.56; X_4 = 0.324; X_5 = 3.67; \\
 &X_6 = 0.394; X_7 = 3.36; X_8 = 0.0025; X_9 = 4.25.
 \end{aligned}$$

For this scheme, the vector of state variables presented in the form of

$$X(9) = \{UCQ, JLQ, UC0, UC1, UCK2, UCE1, UCK2, UCE2, UC2\}.$$

The circuit quality factor is  $1.5 \times 10^6$ . The transition process is so protracted, that the required application acceleration algorithms [5-8, 13-14] to determine the steady state mode, because after the calculation of the first three periods is required by more than 20 iterations of Newton on every step of integration, resulting in significant time costs for the calculation. At the use of algorithms acceleration to determine steady state need the 13 extrapolations. This required 3-4 iterations of Newton in order to achieve steady state mode with accuracy 10<sup>-10</sup>. The analysis of transient process shows that the gains in calculation time are more than two orders of magnitude compared with the calculation without acceleration. The step calculating answered 209 points on the each period of calculation. By steady state regime received the following values of period and amplitude:

$$\begin{aligned}
 &T = 2.0807823 \cdot 10^{-7}; \\
 &X_1 = 2 \cdot 10^{-9}; X_2 = -0.00266651262; X_3 = 1.7499755432; \\
 &X_4 = 1.1051242378; X_5 = 6.8712539891; X_6 = 0.5982940334; \\
 &X_7 = 6.2893474619; X_8 = 0.4881468158; X_9 = 0.6422128153.
 \end{aligned}$$

For estimation error in determining the characteristics of established regime the step decreased twice and again performed numerical experiment. As follows from the results, the error in determining the oscillation period can be estimated by the formula:

$$\delta T = 3,3 \cdot \frac{h^2}{T^2}.$$

when using trapezoidal rule, which fully meets the previously given result and consistent with (9) with application of different combinations of order k for discretization.

Note that the results of calculation models crystal oscillator to within  $10^{-12}$  coincide with the results given in [8]. In this paper Extrapolation algorithm based on the implementation of procedures to automatically select the integration step, provided the convergence to steady mode is need 4 of extrapolation. But the advantage of the proposed procedure acceleration [6, 7] the lack of need for setting the oscillation period and a decrease on one order dimension matrix switching states, which significantly expands the scope of convergence.

As a second example of high-frequency generator, we considered model that described by system of differential equations 18 orders. The equivalent circuit of the model shown in figure 2.

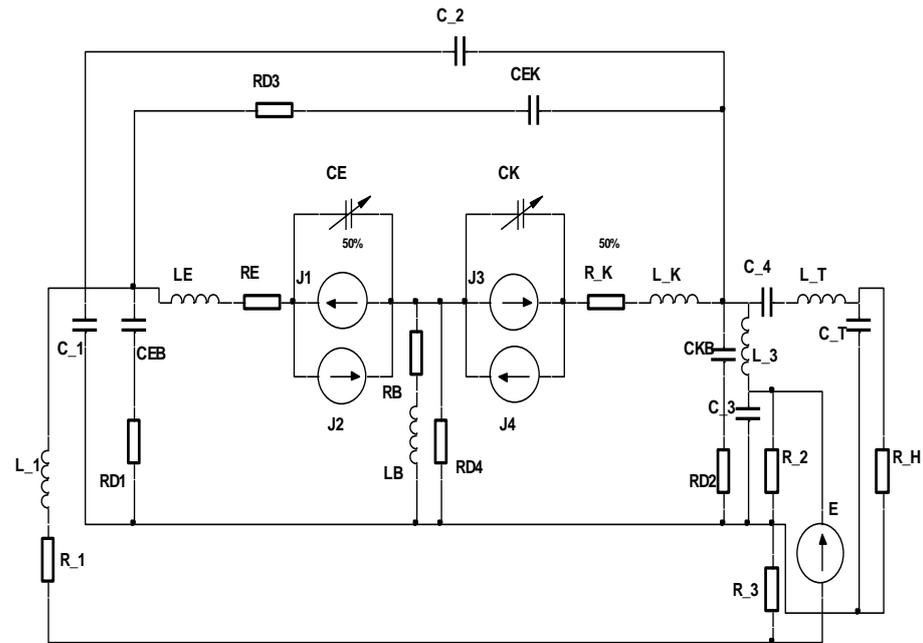


Fig. 2. Scheme of high-frequency generator

The calculation was performed under such scheme parameters:

$$R_1 = 5.5 \text{ Ом}; RD1 = 10^{-3} \text{ Ом}; RD2 = 10^{-3} \text{ Ом}; RD3 = 10^{-3} \text{ Ом}; RD4 = 10^{-3} \text{ Ом}; R_E = 0.15 \text{ Ом}; R_B = 0.47 \text{ Ом}; R_K = 0.16 \text{ Ом}; R_2 = 3 \text{ КОм}; R_3 = 170 \text{ Ом}; R_H = 50 \text{ Ом}; E = 28 \text{ В}; C_1 = 2.8 \text{ Пф}; c_2 = 13.5 \text{ Пф}; C_{EB} = 268 \text{ нФ}; C_{EK} = 0.15 \text{ нФ}; C_{BK} = 0.15 \text{ нФ}; C_3 = 150 \text{ Пф}; C_4 = 150 \text{ нФ}; C_T = 2.4 \text{ нФ}; L_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ нГн}; L_3 = 1.1 \text{ нГн}; L_T = 3.3 \text{ нГн}; L_E = 0.65 \text{ нГн}; L_B = 0.12 \text{ нГн}; L_K = 1 \text{ нГн}.$$

Formed a vector of state variables of voltages on the capacities and the currents in the inductor and controlled power supplies of transistor

$$X(18) = \{U_{C0}, U_{C1}, U_{CT}, U_{CE}, U_{CK}, U_{CEB}, U_{CBK}, U_{CEK}, i_{L3}, i_{LT}, i_{LE}, i_{LB}, i_{LK}, J_1, J_2, J_3, J_4, i_{L1}\}$$

come to a system of differential equations 18 order for describe the work the generator. Nonlinear capacity emitter and collector of transistor approximated by the expressions:

$$CE = COE[BE + (1 - X_6 / \varphi_{KE})^2]^{-JE/2};$$

$$CK = COK[BK + (1 - X_7 / \varphi_{KK})]^{-JK/2},$$

where

$$COE = 41.3 \text{ нФ}; COK = 41.6 \text{ нФ}; BE = 2.5 \cdot 10^{-4}; BK = 11 \cdot 10^{-4}; \varphi_{KE} = 0.9 \text{ В}; \varphi_{KK} = 0.88 \text{ В}; JE = 0.33; JK = 0.5.$$

The currents of current sources of transistor determined from the equations:

$$J1 = A11 \cdot (1 + pT11) \cdot [\exp(X_6 / (ME \cdot UT)) - 1];$$

$$J2 = a_0 \cdot MK \cdot A11 \cdot [\exp(X_7 / (MK \cdot UT)) - 1] / (1 + pT21);$$

$$J3 = A22 \cdot (1 + pT22) \cdot [\exp(X_7 / (MK \cdot UT)) - 1];$$

$$J4 = a_i \cdot ME \cdot A22 \cdot [\exp(X_6 / (ME \cdot UT)) - 1] / (1 + pT12),$$

Where

$$A11 = 6.3 \cdot 10^{-16} \text{ A}; A22 = 11.5 \cdot 10^{-14} \text{ A}; a_0 = 0.99; a_i = 0.67; T11 = T21 = T12 = 36 \cdot 10^{12} \text{ c}; T22 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ c}; ME = 0.99; MK = 1.1; UT = 0.24 \text{ B};$$

$p$  – operator differentiation.

For confident selection of points, that meet by maximum value of variable  $X_6$ , what is determined by the voltage of emitter of transistor, performed numerical integration of the system within 255 periods. Only then applied proposed methods acceleration. The resulting such values period and amplitude variables of state corresponding to the established regime:

$$T = 0.91305196 \cdot 10^{-11};$$

$$X(18) = \{-11.973693; 1.831977; 28.178422; 26.634062; -8.525022; 0.976644; -1.976436; 1.831977; 3.805761; -11.973693; 1.391815; -0.581793; 1.467136; 1.181913; 0.352000; 22278 \cdot 10^{-15}; 1.287833; 0.364208\}$$

At the analysis oscillating system of high-Q described by a system of differential equations 18 order and at sample 200 points on period oscillation as the trapezoidal formula (1) and method (10) we find steady state regime. The use of (1) requires in twice-long time costs, than costs (10). With increasing the step by half, trapezoid method does not ensure convergence process, while MMT provides accurate deduction system state variables and frequency fluctuations. Correspondence between the oscillating system and its discrete model have place and in choosing 47 points on the period at the using MMT.

At the analysis oscillating system of high-Q described by a system of differential equations 18 order and at sample 200 points on period oscillation as the trapezoidal formula (1) and method (10) we find steady state regime. The use of (1) requires in twice-long time costs, than costs (10). With increasing the step by half, trapezoid method does not ensure convergence process, while MMT provides accurate deduction system state variables and frequency fluctuations. Correspondence between the oscillating system and its discrete model have place and in choosing 47 points on the period at the using MMT.

**V. Conclusions.** The paper proposes a class of second-order combination methods based on the alternate use of the trapezoid method (1) and the difference formula (3) obtained in (13).

Each subsequent combination is obtained by using the previous two. The discretization error such class of numerical methods is estimated. In the analysis of conservative systems in which no energy loss, the calculation of wireless devices with high quality factor, analysis of systems with long transient finding periodic modes in systems with complex dynamics advisable to use the discrete formula (10), which in the second order of smallness provides no error in determining both the amplitude and period of oscillations.

Using the difference scheme (10) in the construction of discrete models in applications of computer analysis of electronic systems will increase their effectiveness and will ensure the reliability of their work.

The direction of further research is will related to the study of conditions of convergence and stability of the developed class of numerical methods.

## References

1. V.M. Zaiats, Constraction and analises of model descrete oscillation systems, Cybernetics and Systems Analysis, vol. 2, Kiev, NAS of Ukraine, 2000, pp. 161-165.
2. V.M. Zaiats, The Models Descrete Oscillation Systems, Computer Tegnology of Print, Lviv,UAP, 2011, pp.37-39.
3. J. Vlach and K. Singhall, Computer Methods for Circuit Analysis and Design”, New York, VNRC, 1980, 560 p.

4. V.M. Zaiats, Amplitude and frequency errors of autooscillation of Linigur-Whillaby numerical integration formula, Theoretical Electrical Engineering ,vol. 37, Lviv, LNU by Franko, 1984, pp. 83-88.
5. L.A. Synitsky and U.M. Shumkow, Analysis periodical ragimesin nonlinear cirquits by numerical methods, Theoretical Electrical Engineering vol. 9, 1970, pp. 110-115.
6. T. Aprille and T. Trick. A computer algorithm to determine the steady-state response of nonlinear oscillators, IEEE Trans. on Circuit Theory, 1972, V. CT-19,N 4, pp. 354-360.
7. V.M. Zaiats, Fast search of established modes of high-frequency oscillators with long transients, Proceedings Universities. Radioelektronika, Kiev, vol. 3, 1993, pp. 26-32.
8. L.A. Synitsky and O. Yo. Felyshtyn Accelerated Search of Periodical Regimes in Autonomous Systems, Theoretical Electrical Engineering,vol. 39, Lviv, LNU by I. Franko,1985, pp. 93-103
9. L. Feldman, A. Petrenko and O. Dmitrieva, Numerical Methods in informatic, Kiev, BHV, 2006, 480 p.
10. G. Holl and J.M. Watt, Modern Numerical Methods for Ordinary Differential Equations,. Clarendon press, Oxford, 1979, 312 p.
11. D. Forsait, H.Malkom, K. Moular, Computer Methods of Mathematics Calculations, Moscow, Peace,1980, 282.p.
12. X. Shtetter, Analises Descretization for Original Differencial Equations, Moskow, Peace,1978, 462 p.
13. V.M. Zaiats, Lviv, Discrete Models of Oscillatory Systems for the Analysis of their Dynamics, UAP, 2011, 284 p.
14. V.M. Zaiats, Methods, Algorithms and Software for Simulation and Analysis of the Dynamics of Complex Objects and Systems Based on Discrete Models, Lviv, New World, 2009, 400 p.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-6

УДК 622.232.8

Каганюк О.К., Міскевич О.І., Поліщук Т.О.

Луцький національний технічний університет.

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ КОНТРОЛЮ РОЗДІЛУ КОРДОНУ «ПОРОДА – ВУГІЛЛЯ» ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВУГІЛЬНО ВИДОБУВНИМ КОМБАЙНОМ.

**Каганюк О.К., Поліщук Т.О., Міскевич О.І.** Аналіз способів контролю розділу кордону «порода – вугілля» для створення систем автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами. В даній статті проводиться аналіз способів контролю поділу кордону «порода – вугілля», які можуть бути використані для будови оптимальних систем автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами.

**Ключові слова:** вугільно видобувний комбайн, система автоматичного управління, датчики контролю розділу кордону «порода – вугілля».

**Каганюк А.К., Полищук Т.О., Мискевич О.И.** Анализ способов контроля границы раздела «порода – уголь» для создания оптимальных систем автоматического управления угледобывающими комбайнами. В данной статье проводится анализ способов контроля границы раздела «порода – уголь», которые могут быть использованы для построения оптимальных систем автоматического управления угледобывающими комбайнами.

**Ключевые слова:** угледобывающий комбайн, система автоматического управления, датчики контроля границы раздела «порода – уголь».

**Kaganyuk A.K., Polishchuk T.O., Miskevych O.** Analysis of methods for controlling the “rock - coal” interface to create optimal automatic control systems for coal mining combines. This article analyzes methods for controlling the “rock-coal” interface that can be used to build optimal automatic control systems for coal miners

**Key words:** coal mining combine, automatic control system, sensors for monitoring the “rock - coal” interface.

Одним із основних шляхів підвищення продуктивності праці і інтенсивності виробництва вважається автоматизація технологічних процесів, впровадження промислових роботів та маніпуляторів, що є найбільш **актуальною проблемою** в вугільній промисловості, коли не вистачає вугілля для підтримки працездатності теплових електростанцій, та забезпечення населення.

Сучасні вимоги до систем автоматичного управління забійним обладнанням припускають рішення **проблеми** інтенсивного і високопродуктивного видобутку вугілля без постійної присутності людини у забої.

Однією із важливих підсистем управління є автоматичне управління вугільно видобувним комбайном у профілі пласта. До цього часу ця задача не є вирішеною, що ставить неможливим виведення машиніста із лави. Необхідність постійного нагляду за процесом різання і положенням ріжучих органів (РО) по висоті захвату, передбачає постійне перебування машиніста комбайна в зоні підвищеної небезпеки.

Автоматизація виїмкових машин в очисних вибіях вугільних шахт вимагає створення методів і засобів безперервного спостереження за рельєфом пласта, що забезпечують виїмку пласта на повну потужність з мінімальними підриванням порід, що вміщують. Джерелом оперативної інформації про товщину вугільної пачки являється засіб контролю границі «порода-вугілля», які використовуються в системах автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами в профілі пласта (САУ ПП) [2,3,6], В якості такого способу застосовуються різного типу датчики «порода-вугілля». Пристрої, які призначені для контролю кордону порода - вугілля, називаються датчиками порода - вугілля (ДПВ), які розміщуються на ріжучих органах (РО) виїмкових машин або безпосередньо на його ріжучому інструменті.(8, 13)

Розрізняють контроль відкритої і прихованої кордону порода –вугілля.( 1,5,7,8,10,11) У першому випадку контроль забезпечує отримання інформації про рельєф пласта шляхом вимірювання фізичних властивостей оголюючи вміщуючи породи і вугілля в забої і встановлення їх відмінностей. Такий контроль дозволяє забезпечувати заданий режим управління роботи ріжучих органів виїмкового обладнання та визначати потужність вугільного пласта, який розробляється в даний час. При контролі прихованого кордону рельєфу вугільного пласта, встановлюється шляхом вимірювання товщини залишеної в ґрунті або покрівлі очисної виробки вугільної пачки.

В ДПУ використовуються різні властивості і ефекти взаємодії виконавчого органу машини з гірською породою. Відомі принципи побудови датчиків, засновані на відмінності в електричних, діелектричних, щільності, оптичних і акустичних властивостях, хімічному складі, природної радіоактивності вугілля і порід, що вміщують, у взаємодії виконавчого органу з породою і вугіллям (1,7,8,10,11).

Особливості взаємодії ріжучого органу з породою і вугіллям покладені в основу побудови електромеханічних і механоакустичних датчиків.

Електромеханічні датчики (10) припускають вимір зусилля різання, яке можна вважати пропорційним контактної міцності вугілля або породи. Воно реєструється чутливим елементом датчика, встановленим на спеціальному вимірювальному різці. За значенням отриманого сигналу можна судити про стан вимірювального різця щодо кордону порода - вугілля. У ряді випадків інформацією про становище цієї межі служить результуючий сигнал, що порівнює осьову і тангенціальну складові, який впливає на вимірювальний різець зусилля різання.

У механоакустичних датчиках використовується ефект коливального відгуку на механічне взаємодія різця з вугіллям або породою. При цьому вимірюються високочастотна складова зусилля різання і декремент загасання пружних коливань вимірювального різця, який розглядається як пружна коливальна система з зосередженими параметрами. Якщо припустити, що реальний процес різання (особливо при малій товщині стружки) апроксимується імпульсним процесом, що представляє собою випадкову послідовність трикутних імпульсів, то зіставлення спектральних щільностей сигналів в певному діапазоні частот цього процесу при різному співвідношенні середніх тривалостей імпульсів, що відповідають різанню вугілля і породи, дозволяє визначити положення кордону порода - вугілля щодо вимірювального різця.

При вимірі декремента загасання пружних коливань різця виділяються в основному низькі частоти (до 1 кГц), а реєстрація і зіставлення амплітудних спектрів процесу різання вугілля і породи здійснюються в області частот 1-100 кГц. У першому випадку в якості чутливого елемента використовують дротяні датчики опору(10), а в другому - п'єзо перетворювачі, що встановлюються на вимірювальному різці. Для зниження впливу перешкод на результати вимірювань робочий діапазон частот приймають рівним 20-40 кГц.

В ДПВ, заснованих на різниці щільності і хімічного складу вугілля і порід, що вміщують, використовуються джерела іонізуючого випромінювання. Такі датчики називаються радіоізотопними (1,4,5,8).

У радіоізотопних ДПВ переважно застосовується гамма-гамма-випромінювання. Вихідний сигнал зазначених датчиків представляється у вигляді частоти проходження електричних імпульсів або швидкості рахунку, пропорційної числу гамма-квантів, які реєструються. Частинки, що випускаються джерелом  $\gamma$ -квантів, потрапляють на тришаровий (вугільний штиб - вугілля - порода) або двошаровий (вугілля - порода) розсіювач, а потім реєструються детектором, який перетворює щільність потоку розсіяного випромінювання в імпульси (1). У загальному випадку реєструється щільність потоку залежить від деяких постійних і змінних параметрів, а також повітряного зазору. До постійних параметрів належать база вимірювань, енергія первинного випромінювання, активність джерела, активна щільність детектора, показник ефективності реєстрації, до змінних - ефективні атомні номери, щільність і товщина шарів вугільного штибу, вугілля і породи (рис 1).

Залежно від, енергії  $E_\gamma$  первинного гамма-випромінювання змінюється фізичний ознака розпізнавання об'єкта.

Дана обставина використовується для підвищення чутливості і глибини вимірювання. Так, при застосуванні джерела з енергією  $9,6 \cdot 10^{-15}$  Дж ( $^{241}\text{Am}$ ) вугілля та порода будуть відрізнятися в першу чергу з масового коефіцієнту ослаблення  $\mu$  гамма-випромінювання. При енергії же  $E_\gamma \geq 2,4 \cdot 10^{-14}$  Дж (наприклад, для  $^{75}\text{Se} = E_\gamma = 3,52 \cdot 10^{-14}$  Дж) відмінність в масовому коефіцієнті ослаблення зникає і чутливість до хімічним складом зберігається при багаторазовому розсіянні випромінювання.

З енергією первинного гамма-випромінювання пов'язана також глибинність вимірювання  $h_{0,9}$ . Під нею розуміється товщина вугільної пачки, через яку на детектор приходиться 90% розсіяних гамма-квантів.

Глибинність вимірювання при реєстрації одноразово розсіяних гамма-квантів може наближено перебувати за формулою

$$h_{0,9} = 2,3 [\rho (\mu + \mu')] ]$$

де  $\rho$  - щільність середовища;  $\mu$ ,  $\mu'$  - масовий коефіцієнт ослаблення відповідно первинного і розсіяного на  $180^\circ$  випромінювання гамма-квантів.

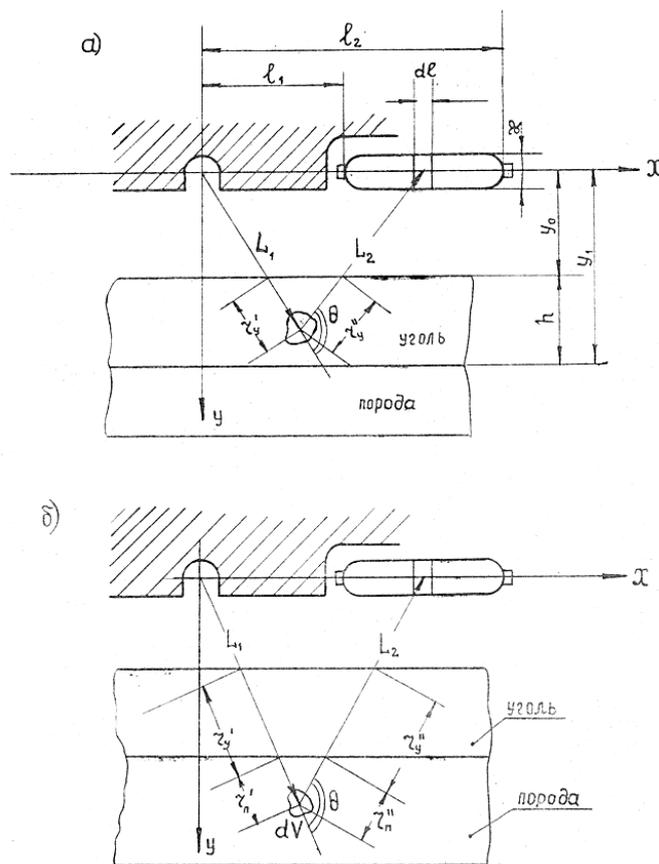


Рисунок 1 – Вивід загальних закономірностей розсіювання  $\gamma$ -випромінювання в двошаровому середовищі: а) вугілля, б) порода.

Так, при низькоенергетичному випромінюванні джерелом  $^{241}\text{Am}$  глибинність досліджуваної вугільної пачки становить близько 50 мм; при збільшенні енергії-випромінювання в 10 разів глибинність підвищиться до 180 мм.

Чутливість ДПВ  $S_h$  з джерелом випромінювання високих енергій в залежності від товщини вугільної пачки наближено можна визначити за формулою

$$S_h = 0,9S_p \Delta\rho / h_{0,9}$$

де  $S_p$  - чутливість ДПУ до густини;  $\Delta\rho$  - різниця середніх щільності породи і вугілля.

При використанні джерела випромінювання низьких енергій слід враховувати суму чутливості до щільності, зольності, вмісту заліза.

При виборі конструктивних параметрів радіоізотопних ДПВ виходять з реальних умов експлуатації:

- типу забійного обладнання;
- прийнятої технології очисної виїмки і гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта.

Так, необхідна глибинність вимірювань залежить від того, виймається чи пласт на повну потужність або залишається запобіжна вугільна пачка. Відповідно до цього змінюється необхідна енергія джерела випромінювання, а отже, і габарити датчиків, як видно із рис. 1. Якщо радіоізотопний ДПВ передбачається розмістити у виконавчому органі виїмкових машин, то такий засіб розміщення, потребує необхідний захист джерела випромінювання від механічних пошкоджень або безконтактний спосіб вимірювання.

Важливим фактором є правильний вибір бази ДПВ. Її збільшення сприяє зростанню вкладу в регіструємую інтенсивність випромінювання гамма-квантів низьких енергій і підвищенню тим самим глибини і диференціює здатності вимірювань. Однак підвищення глибини обмежена тим, що детектор в цьому випадку реєструє в основному випромінювання, яке розсіяне в при поверхневому шарі.

Розробка безконтактних радіоізотопних ДПВ ведеться за двома напрямками. Перше з них передбачає створення малогабаритних ДПВ (2) з джерелами гамма - випромінювання низьких енергій,

які дозволяють вести ефективний контроль по відмінності хімічного складу і щільності вугілля і породи.

Друге - розробку ДПУ з джерелами випромінювання високих енергій, що забезпечують розпізнавання вугілля і породи за їх щільності.

Схема управління шнеками комбайна за допомогою радіоізотопного ДПВ приведена на рис. 2. Апаратура включає два однакових цифрових регулятора з загальними блоками управління, комутації та живленням. Кожен регулятор призначений для управління становищем одного шнека щодо ґрунту або покрівлі пласта і складається з встановлених на шнеку ДПВ 1 з джерелом випромінювання 2 і блоком детекторів 3, шнекового блоку 4 з автономним джерелом живлення 5 і передавальною котушкою індуктивності 6, розміщених на корпусі комбайна прийомних блоків 8 і 10 з котушками індуктивності 7 і 9, блоку управління 11, блоку комутації 12 і блоку живлення (на малюнку не показаний). Радіоізотопний ДПВ розташований на шнеку між кулаками-резцедержателя таким чином, що його робоча поверхня втоплена щодо поверхні кулаків не менше ніж на 10 мм. Це забезпечує роботу ДПВ без безпосереднього контакту з контрольованим масивом.

Пучок гамма-випромінювання від джерела по радіусу шнека направляється у бік масиву. Відбита від масиву частина випромінювання сприймається блоком детекторів, який перетворює її в електричні імпульси, що надходять до шнекового блоку. В останньому імпульси посилюються і за допомогою котушки індуктивності 6 передаються в одні з прийомних блоків 8 або 10, розташованих діаметрально протилежно один одному і призначених для прийому інформації з ґрунту або покрівлі пласта. Наводяться в котушках індуктивності 7 або 9 імпульси надходять в блок управління (при проходженні повз них шнекового блоку). Апаратура конструктивна розміщена таким чином, що в блок управління імпульси передаються тільки під час проходження ДПВ в зоні контакту порода - вугілля у ґрунту або покрівлі пласта.

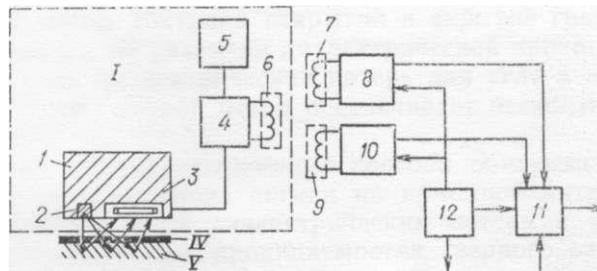


Рисунок 2. Схема управління шнеками комбайна за допомогою ДПВ:  
 1 – шнек, 2 - від регулятора шнека, 3 - до регулятора шнека, IV- вугілля, V – порода.

При радіохвильових і ультразвукових (акустичних) датчиках, які передбачають визначення загасання хвиль, є можливість управляти величиною сигналу, що характеризує різні породи, за рахунок зміни частоти коливань і бази вимірювань. Ці датчики встановлюються поблизу виконавчого органу виймкових машин.

В ультразвуковому ДПВ (рис. 3) контроль кордону порода- вугілля ведеться за допомогою випромінювання і реєстрації поверхневої пружної хвилі. Стабільний акустичний контакт ультразвукових перетворювачів забезпечується притисканням пристрою контролю та поглинання радіосигналу. Співвідношення сигналів по двом різним породам при ідентичних умовах випромінювання і прийому виражається залежністю

$$K = \exp \{ - [(\delta' / C'_R) - (\delta'' / C''_R)] f \cdot r \},$$

де  $\delta'$  і  $\delta''$  - декременти загасання пружних хвиль у вугіллі і породі;  $[C'_R]_R$  і  $[C''_R]_R$  - швидкості поширення пружних хвиль Релея відповідно в вугіллі і породі;  $f$  - частота коливань;  $r$  - база вимірювань.

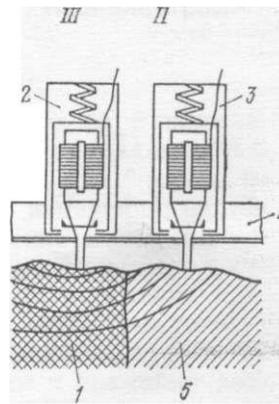


Рисунок 3. Схема ультразвукового ДПУ:

1 – вугілля, 2 - магнітострикційний випромінювач коливань, 3-магнітострикційний приймач коливань, 4 - кріпильна рама, 5 – порода.

Для створення значної амплітуди в поверхневої хвилі Релея необхідно створити точковий контакт випромінювача з масивом.

Радіохвильовий метод контролю відкритої і прихованої кордонів порода – вугілля заснований на відмінності діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат для вугілля і порід, що вміщують. Радіохвильовий метод забезпечує безконтактний контроль.

При застосуванні інтерфеційного способу виявлення прихованого кордону порода – вугілля сигнал на приймальній антені визначається тангенсом кута діелектричних втрат у вугіллі і різницею в діелектричну проникність твердого включення  $\epsilon_{\tau}$  ті вугілля  $\epsilon_{\gamma}$ , що виражається через затухання електромагнітної хвилі і коефіцієнт її відображення:

$$B = (\sqrt{\epsilon_{\tau}} - \sqrt{\epsilon_{\gamma}}) / (\sqrt{\epsilon_{\tau}} + \sqrt{\epsilon_{\gamma}})$$

Коефіцієнт відображення для вугільного пласта з включенням, що характеризується діелектричною проникністю  $\epsilon_{\tau} = 6 \div 10$ , становить приблизно 0,1-0,2.

При заданих максимальній глибини вимірювань, раціональному енергетичному потенціалі (відношення потужності випромінювання до потужності на вході приймача), коефіцієнтах відображення і загасання хвилі ефективність виявлення кордону порода - вугілля залежить від правильного вибору частотного діапазону електромагнітного випромінювання. Збільшення робочої частоти зменшує масу і габарити антени і підвищує роздільну здатність, але збільшує загасання і погіршує перешкодозахищеність через вплив шорсткостей стінки забою. У зв'язку з цим рекомендується частотний діапазон - сотні мегагерц. Потужність пласта обмежує використання в лаві антен великих розмірів, що негативно позначається на коефіцієнти посилення антен (коефіцієнти спрямованої дії).

Значний вплив на енергетичні та частотні параметри апаратури надає вологість вугілля. При підвищенні її більш як на 6-7%, необхідно збільшувати потужність випромінювання при збереженні вибраних частот або переходити на більш низькі частоти, що пов'язане зі зниженням роздільної здатності і надійності визначення кордону порода - вугілля.

Індукційний метод контролю кордону порода - вугілля полягає в тому, що генераторна рамка створює змінне магнітне поле, яке індуктує в шарі вугілля вихрові струми. Ці струми наводять в вимірювальної рамці е.р.с, відповідну товщині вугільної пачки. Зазначений метод контролю може бути реалізований при електропровідності вугілля, не менше ніж в 50 разів більшою електропровідності порід, що вміщують, т. т. Такий засіб контролю може бути раціональним тільки при розробці антрацитових пластів.

Контроль кордону порода - вугілля по природною радіоактивності заснований на відмінності природної радіоактивності породи – вугілля, зумовленої наявністю радіоактивних ізотопів різних легких і важких елементів.

Найбільшою природною радіоактивністю володіють гліноскладові породи - аргіліти, глинисті, вуглисто – глинисті і піщано – глинисті сланці, найменшою – вапняки і кварцовий піщаник, причому рівні радіоактивності, як правило, мало змінюються по падінню і простяганню. Рівень природної радіоактивності вугілля різних марок приблизно в 2-3 рази нижче, ніж, наприклад, глинистих сланців, аргілітів, пісковика і піщанистого сланцю. Реєстрація природного випромінювання ведеться в області малих (до  $1,6 \cdot 10^{-14}$ ) енергій гамма – квантів.

Перспективність кожного з існуючих методів контролю кордону порода - вугілля визначається перш за все постійністю в різних гірничо-геологічних умовах тої відмінної ознаки, на якому базується застосування методу, а також діапазоном вимірювання самого засобу контролю.

**ВИСНОВКИ:** В даній статті проведений стислий аналіз найбільш перспективних методів контролю поділу кордону «порода –вугілля».

1. Висвітлені недоліки і переваги різних методів контролю поділу кордону «порода – вугілля»
2. На основі проведеного аналізу контролю кордону «порода – вугілля» перевага дається радіоізотопному методу контролю, якій підтверджується проведеними експериментами не повному обсязі, але обґрунтовано і будуть висвітлені в наступних матеріалах.

1. Каганюк О.К. Методи контролю границі «порода – вугілля» Монографія, Луцьк, Луцький НТУ 2017р., 76с.
  2. Каганюк О.К. Аналіз систем автоматичного керування вугільно – добувними комбайнами в складних гірничо – геологічних умовах // Науковий журнал Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво (RINS, Copernicus). Луцьк 2017 №26, с188 – 193.
  3. Каганюк О.К., Поліщук М.М., Самарчук В.Ф. Гринюк С.В. Конструктивні особливості вугільно видобувними машин та комплексів і їх класифікація як об'єктів автоматичного управління в площині вугільного пласта. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» (RINS, Copernicus). – Луцьк 2018 №32, с53- 64.
  4. Kahanyuk O.K., Polishchuk M.M., Bortnyk K.Y., Kostiuchko S.M. Analysis o reasoning of the basic parameters of control of coal mining combines in the seam profile. Proceedings of articles the international scientific conference Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 13 April 2018.
  5. O. Kaganiuk, V. Melnyk, M. Polishchuk, S. Hryniuk, K. Bortnyk. Обґрунтування методів контролю кордону порода-вугілля для вугільно видобувних комбайнів. Proceedings of the National Aviation University. – Kyiv. – 2018. – №4. – p.70–80 (Index Copernicus, DOI : 1018372/2306-1472.77.13500).
  6. Каганюк О.К., Поліщук Т.О. Вимоги щодо якості управління вугільно видобувним комбайном в різних гірничо – геологічних умовах. // Науковий журнал Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво (RINS, Copernicus). – Луцьк, 2019. Випуск №35 с 36 – 41.
  7. Датчик «порода – уголь», Ильюша А.В., Солнцев В.Б. М., 1981. – 5 с. – Рукопись представлена ИГД им. А.А. Скочинского. Деп. В ЦНИЭИуголь 28 дек. 1981г. ,№ 2242 уп – Д81.
  8. Регулятор с изотопным датчиком «порода – уголь» для управления очистными комбайнами по гипсометрии пласта. /Черняк З.А., Нунупаров Г.М., Омельченко Н.П. – Уголь, 1975, №12, с. 38 – 39.
  9. А.С. № 1270323 (СССР) Способ автоматического управления очистным комбайном по гипсометрии пласта и система для его осуществления Каганюк А.К., Евстафьев Д.И. и др. Приоритет изобретения 22.04.85г. № 3908263; Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 15.07 1986г.
  10. Ярыгин Б.Э. и др. Система автоматического управления исполнительными органами комбайна с электрогидравлическим датчиком «порода – уголь» типа «Рубин». – Шахтная автоматика. Киев: Техника, 1975г. – 47с.
  11. Плюснин М.И., Мараев И.Д. К обоснованию индукционного способа контроля движения угледобывающих машин по гипсометрии пласта (антрациты). Изв. ВУЗов СССР. Геология и разведка, 1980, №9, с. 119 – 124.
1. Kaganyuk OK Methods of control of the boundary "rock - coal" Monograph, Lutsk, Lutsk NTU 2017, 76p.
  2. Kaganyuk OK Analysis of Automatic Control Systems for Coal Mining Combines in Complex Mining - Geological Conditions // Scientific journal Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production (RINS, Copernicus). Lutsk 2017 №26, p188 - 193.
  3. Kaganyuk OK, Polishchuk MM, Samarchuk VF Grinyuk SV Design features of coal mining machines and complexes and their classification as objects of automatic control in the coal bed plane. // Scientific Journal "Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production" (RINS, Copernicus). - Lutsk 2018 №32, p53- 64.
  4. Kahanyuk O.K., Polishchuk M.M., Bortnyk K.Y., Kostiuchko S.M. Analysis on the reasoning of the basic parameters of coal mining combines control in the seam profile. Proceedings of the Articles of the International Scientific Conference Czech Republic, Karlovy Vary - Ukraine, Kyiv, 13 April 2018.
  5. O. Kaganiuk, V. Melnyk, M. Polishchuk, S. Hryniuk, K. Bortnyk. Substantiation of methods of control of the rock-coal border for coal-mining combines. National Aviation University Proceedings. - Kyiv. - 2018. - №4. - p.70-80 (Index Copernicus, DOI: 1018372 / 2306-1472.77.13500).
  6. Kaganyuk OK, Polishchuk TO Quality requirements for the management of a coal mining combine in various mining and geological conditions. // Scientific journal Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production (RINS, Copernicus). - Lutsk, 2019. Issue # 35 from 36 - 41.
  7. The rock-coal sensor, Ilyusha AV, Solntsev VB M., 1981. - 5 sec. - The manuscript was submitted to IGD by them. A.A. Skochinsky. Dep. In CNIЕugol 28 dec. 1981 , № 2242 unitary enterprise - D81.
  8. The regulator with the isotope sensor "rock - coal" for management of cleaning combines on a layer gypsometry. / Z. Chernyak, GM Nunuparov, NP Omelchenko. - Coal, 1975, No. 12, p. 38 - 39.
  9. AS No. 1270323 (USSR) Method of automatic control of a purifying combine on layer gypsometry and system for its implementation AK Kaganyuk, DI Evstaf'ev Priority of Invention 22.04.85g. № 3908263; Registered in the State Register of Inventions of the USSR 15.07 1986.
  10. Yarygin BE etc. The system of automatic control of the executive bodies of the combine with electro-hydraulic sensor "rock - coal" type "Rubin". - Mine automation. Kiev: Technology, 1975. - 47s.
  11. Plusnin MI, Maraev ID To justify the induction method of controlling the movement of coal-mining machines by gypsum formation (anthracites). Izv. Higher education institutions of the USSR. Geology and Exploration, 1980, №9, p. 119 - 124.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-7

УДК 510

<sup>1</sup>Корінчук Н.Ю., <sup>2</sup>Корінчук В.В.

<sup>1</sup>Луцький педагогічний коледж

<sup>2</sup>Луцьке вище професійне училище будівництва та архітектури

## ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКИХ ТА ПІЗНАВАЛЬНИХ УМІНЬ СТУДЕНТІВ ЧЕРЕЗ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ НА ЗАНЯТТЯХ МАТЕМАТИКИ

**Корінчук Н.Ю., Корінчук В.В. Формування дослідницьких та пізнавальних вмінь студентів через використання комп'ютерних засобів на заняттях математики.** У статті розглядаються основні аспекти вивчення математики із застосуванням комп'ютерних засобів навчання. Обґрунтовано роль, місце та значення персонального комп'ютера у формуванні дослідницьких та пізнавальних умінь студентів. Проведено експериментальне дослідження щодо використання студентами електронних дидактичних засобів для підготовки до занять з математики.

**Ключові слова:** комп'ютерні технології, комп'ютер, інтерактивна дошка, ефективність і надійність навчання, математична компетентність, інтернет, соціальні мережі.

**Коринчук Н.Ю., Коринчук В.В. Формирование исследовательских и познавательных умений студентов путем использования компьютерных средств на занятиях математики.** В статье рассматриваются основные аспекты изучения математики с применением компьютерных средств обучения. Обоснована роль, место и значение персонального компьютера в формировании исследовательских и познавательных умений студентов. Проведено экспериментальное исследование по использованию студентами электронных дидактических средств для подготовки к занятиям по математике.

**Ключевые слова:** компьютерные технологии, компьютер, интерактивная доска, эффективность и надежность обучения, математическая компетентность, интернет, социальные сети.

**Korinchuk N.U., Korinchuk V.V. Formation of research and cognitive skills of students through the use of computer facilities in mathematics classes.** The article deals with the main aspects of the study of mathematics with the use of computer teaching aids. The role, place and significance of the personal computer in formation of students' research and cognitive abilities are substantiated. An experimental study was conducted on the use of electronic teaching materials by students for preparation for classes in mathematics.

**Key words:** computer technologies, computer, interactive whiteboard, efficiency and reliability of training, mathematical competence, Internet, social networks.

**Постановка проблеми.** Робота на заняттях математики з наочними посібниками, презентаціями, виконаними на комп'ютері, викликає значне зацікавлення у студентів під час відтворення знань, активізує пізнавальну діяльність, сприяє повноцінному формуванню передбачених програмою дослідницьких умінь. Реалізуючи навчальний процес в різноманітних формах й різноманітними засобами, викладач підтримує інтерес до навчання протягом усього заняття. Такий підхід по суті забезпечує формування та розвиток дослідницьких та пізнавальних вмінь студентів через використання комп'ютерних засобів на заняттях математики. У зв'язку з цим проблема застосування комп'ютерних технологій на заняттях з математики є досить актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значення і важливість математичної освіти полягає у забезпеченні загального інтелектуального розвитку студентів, створенні умов для реалізації їх прав на повноцінну і неперервну освіту, так і в сприянні формуванню окремих професійних компетентностей випускників [2], [3], [5], [6]. Одним із провідних напрямів удосконалення національної освітньої системи признано компетентнісний підхід (О.Л. Овчарук, О.І. Пометун, С.А. Раков, О.В. Шавальова та ін.).

Реалізація компетентнісного підходу у математичній підготовці студентів тісно пов'язана з прикладною спрямованістю навчання математики. Однак, як показує досвід викладачів-практиків та аналіз наукових досліджень, посилення прикладної спрямованості навчання математики за рахунок систематичного використання задач професійного спрямування при вивченні програмного матеріалу потребує відповідного науково-обґрунтованого проектування і структурування змісту математичної підготовки. Необхідне, зокрема, посилення уваги до прикладної спрямованості навчання математики у відповідності з потребами засвоєння спеціальних предметів і набуття студентами практичних компетентностей із розв'язування окремих практично значущих професійних задач математичними методами [3], [8]. Вкрай необхідним є використання в освітньому процесі сучасних комп'ютерних технологій навчання математики з метою формування дослідницьких та пізнавальних вмінь та інтересів студентів через використання комп'ютерних засобів на заняттях математики, розвитку

їхньої інформаційної культури, інтенсифікації процесу навчання, активізації навчально-пізнавальної діяльності [1], [4], [7], [10].

**Метою статті** є визначення ролі, місця та значення персонального комп'ютера у формуванні дослідницьких та пізнавальних вмінь та інтересів студентів на заняттях математики у навчальному закладі вищої освіти I-II рівня акредитації та закладі професійно-технічної освіти.

**Виклад нового матеріалу.** Особливої уваги вимагає вдосконалення математичної підготовки студентів у світлі компетентнісного підходу до навчання:

- системне використання комп'ютерних технологій навчання математики, що має першорядне значення для набуття студентами математичних компетентностей, формування інформаційної культури студентів, інтенсифікації процесу вивчення програмового матеріалу;
- створення умов для формування і поповнення вмінь студентів використовувати математичні методи та сучасні комп'ютерні технології для використання у майбутній роботі.
- надання в процесі навчання математики пріоритетів використанню методів і технологій продуктивного особистісно орієнтованого навчання, що забезпечує розвиток знань, вмінь і навичок, необхідних майбутнім фахівцям в житті і професійній діяльності;
- посилення прикладної спрямованості навчання математики з метою забезпечення якісного опанування студентами майбутньої професії.

На основі використання комп'ютерних технологій у навчальному процесі можна інтенсифікувати процес навчання; підвищити навчально-пізнавальну активність та успішність навчання студентів на рівні вимог інформаційного суспільства; створити умови для інтелектуального розвитку студентів і розкриття їхнього творчого потенціалу; покращити професійну підготовку майбутніх фахівців та збільшити їх конкурентоспроможність на ринку інтелектуальної праці; підвищити рівень інформаційної культури та інформаційно-комп'ютерної підготовки студентів; сприяти формуванню у студентів ключових компетентностей (зокрема, компетентностей з ІКТ), а також галузевих і предметних компетентностей. Для цього треба розробити комп'ютерно-орієнтовані лекції, практичні та лабораторні роботи, завдання для самостійної навчальної та науково-дослідної роботи студентів.

Оновлення змісту математичної освіти на засадах впровадження компетентнісного підходу в умовах комп'ютеризації навчання за наявності відповідного методичного забезпечення суттєво підвищує якість математичної підготовки, розвиток свідомого, зацікавленого, мотивованого ставлення студентів до вивчення математики, уможливує реалізацію принципу неперервності освіти, сприяє формуванню професійних і особистісних якостей студентів, що відповідатимуть новим соціальним вимогам щодо підготовки фахівців. Ефективність запропонованої комп'ютерно-орієнтованої методичної системи навчання математики забезпечується педагогічно виваженим добром змісту, методів і засобів навчання, зокрема комп'ютерних програм, форм і методів їх використання та систематичністю роботи студентів із комп'ютером.

Ефективність запропонованої комп'ютерно-орієнтованої методичної системи навчання математики забезпечується педагогічно виваженим добром змісту, методів і засобів навчання, зокрема комп'ютерних програм, форм і методів їх використання та систематичністю роботи студентів із комп'ютером.

**Основні результати досліджень.** Використовуючи комп'ютерні дидактичні засоби, комп'ютерні дидактичні презентації можна створити належні умови для роботи самих студентів в комп'ютерному середовищі, що дасть змогу краще закріпити (чи повторити, залежно від ситуації) вже вивчений матеріал, узагальнити чи систематизувати його та дати змогу студенту використати його на практиці (розв'язуючи цікаві завдання або створювати презентації).

Робота на заняттях математики з наочними посібниками, виконаними на комп'ютері, викликає значне зацікавлення у студентів під час відтворення знань, активізує пізнавальну діяльність, сприяє повноцінному формуванню передбачених програмою дослідницьких умінь. Реалізуючи навчальний процес в різноманітних формах й різноманітними засобами, викладач підтримуватиме інтерес до навчання протягом усього заняття, розвиватиме такі важливі якості, як швидка реакція, кмітливість, увага.

**Аналіз результатів експериментального дослідження, щодо використання комп'ютерних технологій на заняттях математики.** Викладачі переконані повністю у доцільності використання комп'ютерних технологій на заняттях, зокрема і на заняттях математики. Саме використання комп'ютерних технологій у процесі навчання дозволяє внести кардинально нове у звичайні форми роботи викладача, сприяє цікавішому і повнішому, всебічному розкриттю,

зрозумілішому поданню навіть дуже складного матеріалу. Як сказав видатний педагог Я.А.Коменський у своїй праці «Велика дидактика»: «...Все, що тільки можна, давати для сприймання чуттям, а саме: видиме – для сприймання зором, чутне – слухом, запахи – нюхом, доступне дотикові – через дотик. Якщо будь-які предмети відразу можна сприйняти кількома чуттями, нехай вони відразу сприймаються кількома чуттями...» [4, с.18].

Крім того, застосування інноваційних технологій в процесі навчання студентів стимулює професійне зростання викладача, воно допомагає йому самовдосконалюватись, самореалізуватись в нових формах організації навчання, як майбутньому педагогу, інноваційні технології допомагають викладачу проявити себе як творчу особистість, урізноманітнити форми роботи студентів на заняттях математики.

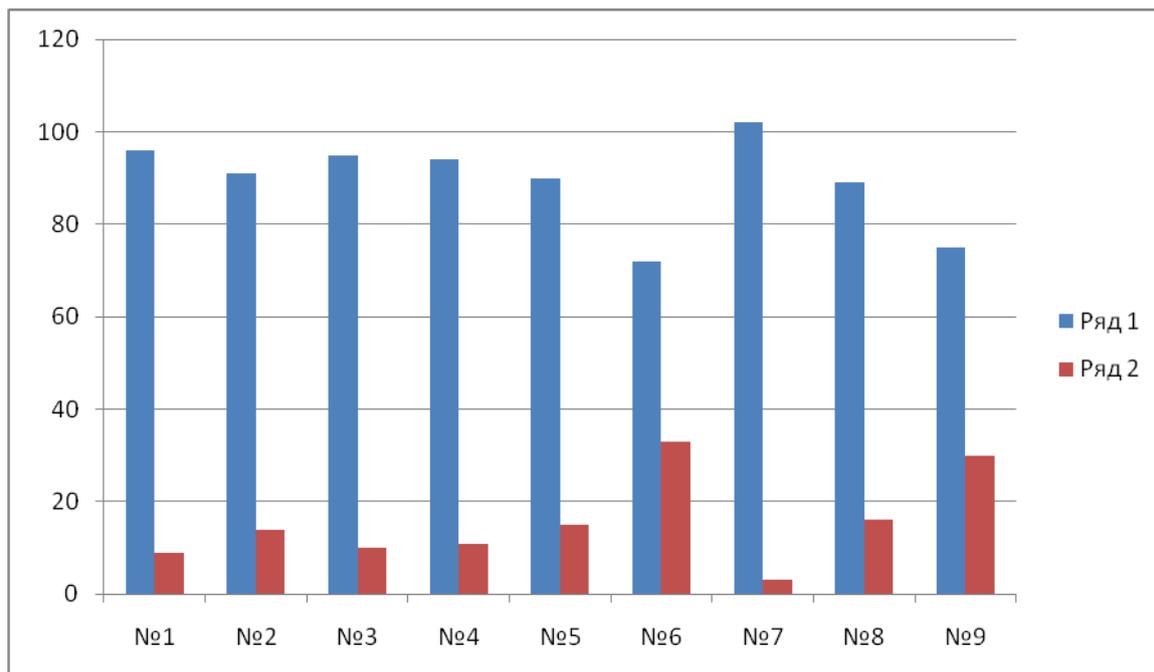
З метою пересвідчитись в ефективному використанні комп'ютера на заняттях математики та використанні самими студентами комп'ютера для підготовки до занять нами було проведено соціологічне дослідження серед студентів груп педагогічного коледжу та вищого професійного училища будівництва та архітектури. Зразок анкети додається.

Анкета для студентів щодо використання комп'ютера на заняттях математики.

1.	Чи є у вас комп'ютер чи ноутбук вдома?	Так	Ні
2.	Чи подобається вам займатись за комп'ютером?	Так	Ні
3.	Чи зручно вам користуватись презентацією зробленою на комп'ютері?	Так	Ні
4.	Чи подобаються вам заняття з використанням комп'ютера?	Так	Ні
5.	Чи зрозумілий вам матеріал, який викладається за допомогою комп'ютера чи телевізора на заняттях?	Так	Ні
6.	Чи краще ви запам'ятовуєте матеріал, якщо він викладений за допомогою комп'ютера чи телевізора?	Так	Ні
7.	Чи використовуєте інтернет для підготовки занять з математики?	Так	Ні
8.	Чи створюєте ви презентації на комп'ютері для занять з математики?	Так	Ні
9.	Ви більше часу проводите в соціальних мережах, а ніж для підготовки домашніх завдань з математики?	Так	Ні

Соціологічне дослідження проводилось серед студентів перших курсів чотирьох груп (по одній групі відділень «музичне та фізичне виховання» і дві групи 1-Г та 1-В відділення «початкове виховання») Луцького педагогічного коледжу та трьох груп (№11, №13, №14) Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури. Результати досліджень занесені до таблиці:

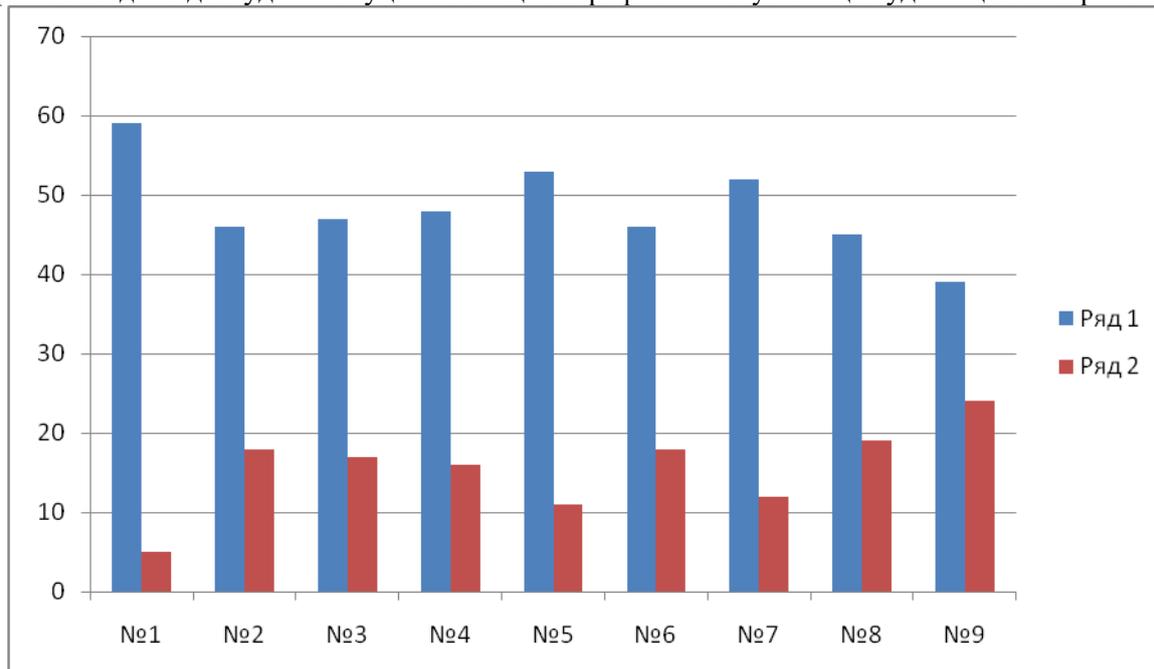
№ питання	Муз.вих		Фіз.вих		1-В		1-Г		№11		№13		№14	
	так	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так	Ні
1	23	3	22	3	24	1	27	2	20	3	22	2	17	0
2	19	7	24	1	23	2	25	4	16	7	18	6	12	5
3	23	3	23	2	22	3	27	2	18	5	17	7	12	5
4	24	2	24	1	21	4	25	4	17	6	18	6	13	4
5	21	5	24	1	21	4	24	5	16	7	24	0	13	4
6	16	10	19	6	16	9	21	8	14	9	20	4	12	5
7	24	2	24	1	25	0	29	0	16	7	20	4	15	2
8	22	4	19	6	21	4	27	2	14	9	18	6	13	4
9	20	6	21	4	21	1	13	16	15	8	14	10	10	7



Діаграма 1. Відповіді студентів Луцького педагогічного коледжу.

Результати досліджень показані на відповідних діаграмах (1,2), де ряд перший (1) відповідає відповіді – так, а другий (2) – відповіді –ні.

Діаграма 2. Відповіді студентів Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури.



Як бачимо з результатів соціологічного дослідження використання комп'ютера на заняттях математики має свої позитивні результати. Тобто, переважна більшість студентів вважають це одним з найкращих педагогічних засобів на занятті, який дозволяє краще засвоювати викладений матеріал і їм подобаються заняття з використання інформаційно-комп'ютерних технологій. Майже всі студенти мають доступ до інтернету та використовують його у підготовці домашніх завдань з математики. Однак, хотілося б відмітити, що більше половини студентів групи 1-Гв відділення «початкове навчання» Луцького педагогічного коледжу та майже половина учнів групи №13 зі спеціальності «електрозварник» Луцького вищого професійного училища будівництва та архітектури відводять більше часу соціальним мережам, а ніж підготовці домашніх завдань.

Отже, завдяки використанню комп'ютерних засобів навчання студенти отримують змогу користуватись більшою кількістю інформації, що задовольняє їх потреби, збільшує мотивацію та пізнавальні інтереси. За таких умов, викладач має змогу звільнити час та подати більше матеріалу, зробити належним чином диференційованість та індивідуалізацію в навчанні. Застосування мультимедійних засобів покращує роботу зі студентами в цілому за певних умов (правильна організація навчального процесу, використання сучасних засобів, методичної літератури тощо).

Інноваційні технології навчання, що відображають суть майбутньої професії, формують професійні якості спеціаліста, виступають своєрідним полігоном, на якому студенти та учні можуть відпрацювати практичні навички в умовах, наближених до реальних.

Наявність комп'ютера або ноутбука дозволяє викладачу істотно використовувати та змінювати методи управління під час навчання, підвищити мотивацію студентів до активної роботи. Крім того, студент сам може задавати комп'ютеру спосіб викладу навчального матеріалу.

У контексті зазначеного можна відмітити і про застосування у сучасній практиці викладача математики під час викладання ним нового матеріалу показу мультимедійних презентацій, що в свою чергу призводить до інтенсифікації засвоєння студентами та учнями навчального матеріалу і виводить навчання математики на якісно новий рівень.

Одним із сучасних засобів мультимедійних технологій у навчанні математики є інтерактивна дошка. Використання її на уроці дозволяє викладачу математики набагато ефективніше здійснювати демонстрацію візуального матеріалу, зокрема, побудови графіків та геометричних фігур, розв'язування параметричних рівнянь та інше.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Узагальнюючи представлені вище міркування потрібно зазначити, що при застосуванні комп'ютерних технологій та інших мультимедійних засобів відбувається активізація пізнавального інтересу студентів та учнів до вивчення математики і вищої математики та поліпшується якість навчання.

Використання комп'ютерів сколихнуло педагогічну думку. Вже те, що вони допомагають краще збагнути недоліки, висвітлюють слабкі ланки педагогічної системи, підказують шляхи їхньої ліквідації, робить комп'ютери могутніми засобами оновлення навчання у навчальному закладі. Та машини залишаються машинами, без участі викладачів вони не працюватимуть.

Саме вдосконаленню процесу навчання математики та формуванню дослідницьких та пізнавальних вмінь студентів через використання комп'ютерних засобів на заняттях математики у закладах вищої освіти I-II рівня акредитації та закладах професійно-технічної освіти автори намагались показати в даній статті, в якій проведено теоретичні міркування, обґрунтовано роль, місце, значення персонального комп'ютера у навчальному закладі, проведено експериментальне дослідження щодо використання студентами електронних дидактичних засобів.

Основні висновки:

- виділено основні аспекти вивчення математики із застосуванням комп'ютерних засобів навчання;  
- розглянуто переваги та недоліки застосування комп'ютерних засобів навчання, що дало змогу вдосконалити процес вивчення математики із використанням ПК та усунути негативні чинники;  
- робота на занятті математики з наочними посібниками, виконаними на комп'ютері, викликає значне зацікавлення у студентів під час відтворення знань, активізує пізнавальну діяльність, сприяє повноцінному формуванню передбачених програмою умінь. Реалізуючи навчальний процес в різноманітних формах й різноманітними засобами, викладач підтримуватиме інтерес до навчання протягом усього заняття, розвиватиме такі важливі якості, як швидка реакція, кмітливість, увага. Доцільність на заняттях з математики використовувати комп'ютерні технології разом із традиційними, що дозволяє урізноманітнити діяльність студентів та учнів, а саме:

- навчає здобувати знання самостійно;
- акумулює вміння користуватися здобутими знаннями для вирішення нових завдань;
- сприяє набуттю комунікативних навичок і умінь (тобто умінь працювати в різноманітних групах, виконуючи різні соціальні завдання і ролі);
- навчає користуватися дослідницькими методами: збирати інформацію, факти, уміти їх аналізувати з різних точок зору, висувати гіпотези, робити висновки;
- надає можливість висловлювати свої власні думки.

Проте варто пам'ятати, що хоча комп'ютерні технології вимагають високої активності викладача-студента або учня, враховують психологічні та особисті риси всіх студентів та учнів, вносять індивідуальні корективи у навчальний процес, сприяють прояву та зростанню самостійності

студентів та учнів, все ж таки вони не забезпечують усім їм однакового високого результату розвитку й навченості.

Отже використання комп'ютера на заняттях математики - це об'єктивний процес, новий етап в еволюції освіти, на якому будуть переглянуті підходи до супроводу і забезпечення процесу формування та розвитку активної пізнавальної діяльності студентів та учнів, що створює умови для сприйняття навчального матеріалу.

1. Жалдак М.І. Педагогічний потенціал комп'ютерно-орієнтованих систем навчання математики. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: Збірник наукових праць / Редколегія – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2003. Вип. 7. С. 3-16.
  2. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / Під загальною редакцією О.В. Овчарук. К.: К.І.С., 2004. 112 с.
  - 1.3. Кравченко Л.І. Персональний комп'ютер на уроці математики як засіб активації пізнавальної діяльності учнів. Математика в школах України. 2004. № 2. С.8-11
  3. Куделіна О.В. Математична освіта студентів у світлі впровадження компетентнісного підходу. Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнародний збірник наукових робіт. Вип. 29. Донецьк: ДонНУ, 2008. С. 13-17 .
  4. Морзе Н.В. Основи інформаційно-комунікаційних технологій. – К.: Видавнича група ВНУ, 2006. 352 с.
  5. Пометун О.І. Дискусія українських педагогів навколо питань запровадження компетентнісного підходу до вітчизняного змісту освіти / Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики - К.: К. І. С., 2004. 112 с.
  6. Раков С.А. Математична освіта: компетентнісний підхід з використанням ІКТ. Харків: Факт, 2005. 360 с.
  7. Рамський Ю.С. Формування інформаційної культури особи – пріоритетне завдання сучасної освітньої діяльності. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія №2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: Збірник наукових праць – К.: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2004. № 1 (8). С. 19-42.
  8. Слєпкань З.І. Наукові засади педагогічного процесу у вищій школі: Навчальний посібник. К.: Вища школа, 2005. 239 с.
  9. Триус Ю.В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання математичних дисциплін: Монографія. Черкаси: Брама-Україна, 2005. 400 с.
1. Zhaldak M.I. Pedagogical Potential of Computer-Aided Mathematics Learning Systems. Computer-Oriented Learning Systems: Collection of Scientific Papers / Editorial Board - K.: NPU. Dragomanov, 2003. Vip. 7. P. 3-16.
  2. Competent Approach in Contemporary Education: World Experience and Ukrainian Perspectives: Library for Educational Policy / Edited by O.V. Shepherd. K.: K.I.S., 2004. 112 p.
  1. 3. Kravchenko LI A personal computer in a math lesson as a means of activating students' cognitive activity. Mathematics in schools of Ukraine. 2004. № 2. P.8-11
  3. Kudelina OV Mathematical education of students in the light of implementation of the competence approach. Didactics of Mathematics: Problems and Research: International Collection of Scientific Papers. No. 29. Donetsk: DonNU, 2008. P. 13-17.
  4. Morse NV Fundamentals of information and communication technologies. - K.: BHV Publishing Group, 2006. 352 p.
  5. Pometun OI Discussion of Ukrainian educators on the issues of introducing a competent approach to the national content of education / Competent approach in modern education: world experience and Ukrainian perspectives: Library for Education Policy - K.: KI S., 2004. 112 p.
  6. Rakov SA Mathematics Education: A Competent Approach Using ICT. Kharkiv: Fact, 2005. 360 p.
  7. Ramsky YS Formation of information culture of a person is a priority task of modern educational activity. Scientific journal of MP Dragomanov NPU. Series # 2. Computer-Oriented Learning Systems: Collection of Scientific Papers - K.: MP Dragomanov NPU, 2004. № 1 (8). Pp. 19-42.
  8. Slepkan ZI Scientific principles of the pedagogical process in higher education: A textbook. K.: Higher School, 2005. 239 p.
  9. Trius YV Computer-aided methodological systems for teaching mathematical subjects: Monograph. Cherkasy: Brahma-Ukraine, 2005. 400 p.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-8

УДК 373.5:004

Корп'як Н.П.

Чернівецька спеціалізована школа І-ІІІ ступенів №22

## НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ НА УРОКАХ ФІЗИКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПРЕЗЕНТАЦІЙ

**Корп'як Н.П. Навчальні проекти на уроках фізики із використанням мультимедійних презентацій.** У статті описано використання методу проектів на уроках фізики. При проведенні навчальних проектів використано експериментальний метод дослідження. В статті наведено чотири авторських навчальних проекти з фізики для учнів 7 класу, описано застосування сучасних вебсервісів для створення мультимедійних презентацій для демонстрації результатів, отриманих учнями при виконанні навчальних проектів. Описано захід «Фізика вихідного дня».

**Ключові слова:** метод проектів, фізика в сучасній школі, мультимедійні презентації, навчальні екскурсії.

**Корп'як Н.П. Учебные проекты на уроках физики с использованием мультимедийных презентаций.** В статье описано использование метода проектов на уроках физики. В статье приведены четыре авторских учебных проекта по физике для учащихся 7 класса, описано применение современных вебсервисов для создания мультимедийных презентаций для демонстрации результатов, полученных учащимися при выполнении учебных проектов. Описано мероприятие «Физика выходного дня».

**Ключевые слова:** метод проектов, физика в современной школе, мультимедийные презентации, учебные экскурсии.

**Korpyak N.P. The Educational projects in physics classes with multimedia presentations usage.** The article describes the usage of the method of projects in the physics classes. The article presents four educational projects for physics for the 7th grade students developed by authors, and describes the use of modern web services for creating multimedia presentations to demonstrate the results obtained by students in the execution of educational projects. The event "Physics on the day off" is described.

**Keywords:** method of projects, physics in modern school, multimedia presentations, study tours.

**Постановка проблеми.** Необхідною умовою формування ключових компетентностей учнів під час вивчення фізики в школі є їх включення у різні види активної навчально-пізнавальної діяльності з метою здобуття нових знань.

Виконання навчальних проектів і є тим ефективним засобом, що сприяє успішному засвоєнню навчального матеріалу. Саме в процесі такої діяльності в учнів розвиваються пізнавальні навички, формуються вміння самостійно конструювати свої знання, орієнтуватися в інформаційному просторі, активно розвивати критичне мислення, розширювати сферу комунікації [1]. У проектній діяльності важливо створити ситуації для відчуття потреби у знаннях та продемонструвати здатність ефективного застосування цих знань. Проектна діяльність дозволяє учням здобувати знання у тісному зв'язку з реальною життєвою практикою, формує у них специфічні вміння розширювати свої пошукові зусилля, спрямовані на оптимальне вирішення поставленої проблеми. У роботі над проектами виявляється максимальна самостійність учнів у розвитку навичок дослідницької діяльності. Найпростіші дослідницькі проекти можна розпочинати виконувати з учнями вже з сьомого класу [2]. Такі проекти потребують добре обміркованої структури, продуманості методів збору експериментальних даних та їх опрацювання. Тому для їх виконання вчителю слід запропонувати учням план проведення навчального проекту, за яким можна виконати проект та спостерігати за перетворенням учнів, з таких, що знають мало на тих, що знають багато.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Порівняно з попередніми роками, зараз значно зросли вимоги до молодих людей, які закінчують школу. Сучасне суспільство зацікавлене не лише в тому, щоб випускники могли самостійно ухвалювати рішення і діяти, а і в тому, щоб вони могли самостійно набувати нові знання із використанням сучасних технологій та розуміти, де буде доречно їх застосувати, уміти генерувати нові ідеї, на високому рівні творчо обробляти інформацію та проводити різноманітні дослідження [3]. Такі вимоги спричиняють зміни різноманітних аспектів освіти. Проектна діяльність дозволяє формувати ключові компетентності учнів в середній школі, а сучасні інформаційні технології дозволяють робити це швидше і цікавіше для учнів. Інформаційні технології та технологія проектів доповнюють одна одну та дозволяють досягти бажаного результату сучасними методами.

Оскільки нова модель шкільної освіти передбачає орієнтацію на практичні навички та вміння застосувати отримані знання, важливим є використання сучасних комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у проектній діяльності. Змінюються також вимоги до вчителя, тепер він має вміти

проектувати ситуації, які б розвивали необхідні компетенції школярів, а також створювати умови для розвитку креативності учнів [4].

Метод проектів спрямований на створення позитивного настрою, на набуття знань на духовний розвиток учнів. При реалізації методу проектів змінюється роль вчителя і ставлення учнів до нього. Вчитель тепер не лише носій знань, а організатор пізнавальної діяльності. Він є незалежним консультантом, готовим розглянути колективну проблему, дати підказку чи вирішити труднощі, які виникли під час виконання проекту. Оскільки відбувається перехід від навчально-виховної до самостійної діяльності пошукового та творчого характеру, то покращується також психологічний клімат в класі [5]. Змінюється не лише роль вчителя, але і роль учнів. Вони вже не є пасивними слухачами матеріалу, а мають можливість формувати критичне та аналітичне мислення, уміння обробляти інформацію. Під час виконання навчальних проектів, запропонованих вчителем, активізується пізнавальна діяльність. Таким чином, зростає мотивація до навчання.

Оскільки основна ідея проекту пов'язана з реальним життям, зростає інтерес усіх учасників проекту до його виконання, а сучасні інформаційні технології стають не лише засобом пошуку і систематизації даних, а відкривають нові можливості для подання та презентування отриманих результатів. Принцип «навчання через дію» сприяє умінню добувати інформацію з різних джерел і використовувати інформаційні технології для її представлення [6]. Проектна технологія є потужним інструментом, що доповнює традиційні методи навчання.

Метод проектів має на меті розв'язати певну проблему, а це в свою чергу передбачає використання сукупності методів та засобів навчання та розвиває уміння інтеграції знань. В основі методу проектів є ідея спрямованості на результат та знання, які можна отримати під час вирішення практично значимої проблеми. Важливо навчити дітей самостійно мислити, уміти прогнозувати можливі наслідки своїх дій та встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, використовуючи знання з різноманітних галузей [7].

**Метою статті** є висвітлення планів проведення навчальних проектів з фізики для учнів сьомих класів, зміст яких пов'язаний з дослідницькими проблемами, що показують прикладний характер фізичної науки та поглиблюють знання з предмету.

**Виклад основного матеріалу.** При проведенні навчальних проектів використовується експериментальний метод навчання, що включає в себе:

- формулювання мети експерименту;
- підготовку до проведення експерименту;
- розробку методу дослідження та проведення самого експерименту;
- спостереження, вимірювання;
- систематизацію отриманих даних;
- аналіз і узагальнення результатів експерименту;
- застосування отриманих результатів до розв'язування практичних завдань.

Розроблено чотири навчальних проекти з фізики для учнів 7 класу, плани яких наведено нижче.

### НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ №1

**Тема.** *Вимірювання періоду обертання та обертової частоти ланцюгової каруселі.*

**Мета:** виміряти період обертання та обертову частоту кабінок каруселі під час їх рівномірного руху по колу.

**Вказівки до роботи**

**Підготовка до експерименту**

Дайте відповіді на запитання:

- 1) Який рух називається рівномірним рухом по колу?
- 2) Що таке період обертання? За якою формулою обчислюється період обертання рівномірного руху тіла по колу.
- 3) Що таке обертова частота? За якою формулою обчислюється обертова частота?

**Експеримент**

Перед виконанням експерименту ознайомтеся з правилами безпеки експлуатації каруселі та суворо їх дотримуйтеся (рис. 1).

- 1) Виміряйте час  $t$ , за який кабінка здійснює  $N$  оборотів.
- 2) Складіть та заповніть таблицю для визначення періоду обертання та обертової частоти кабінок каруселі.

**Опрацювання результатів експерименту**

- 1) Визначте період обертання.

- 2) Визначте обертову частоту.  
Розрахунок подайте у вигляді задачі.
- 3) Спробуйте пояснити, чому під час обертання кабінки відхиляються від вертикалі.

#### Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) який рух ви вивчали;
- 2) значення яких фізичних величин ви визначили;
- 3) які результати отримали;
- 4) які чинники вплинули на точність результатів.



Рис.1. Ланцюгова карусель

#### Додаткове завдання (Практикум з роз'язування задач)

Лінійна швидкість точок кола каруселі дорівнює  $3 \text{ м/с}$ , а точок, що розташовані на відстані  $2 \text{ м}$  ближче до центра –  $2 \text{ м/с}$ . Визначіть радіус каруселі, її кутову швидкість, обертову частоту, період обертання каруселі та кількість обертів, здійснених нею за  $2 \text{ хв}$ .

### НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ №2

Тема. Дослідження коливань гойдалки.

Мета: визначити амплітуду і період коливального руху гойдалки; переконатися, що період коливання гойдалки не залежить від амплітуди коливань та маси людини, що сидить на гойдалці.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

Дайте відповіді на запитання:

- 1) Що називають амплітудою коливань?
- 2) Що таке період коливань? За якою формулою обчислюється період коливань?
- 3) Що таке частота коливань? За якою формулою обчислюється частота коливань?
- 4) Чим відрізняються затухаючі і незатухаючі коливання?

Експеримент

Перед виконанням експерименту ознайомтеся з правилами безпеки експлуатації гойдалки та суворо їх дотримуйтеся (рис. 2).

- 1) Виміряйте час  $t$ , за який гойдалка здійснює  $N$  коливань.
- 2) Складіть та заповніть таблицю для визначення періоду коливань та частоти коливань гойдалки.



Рис.2. Гойдалка

Опрацювання результатів експерименту

- 1) Визначіть період коливань.
- 2) Визначіть частоту коливань.
- 3) Дослідіть, як залежить період коливань від амплітуди коливань гойдалки.
- 4) Дослідіть, як залежить період коливань від маси людини, що сидить на гойдалці.

Розрахунок подайте у вигляді задачі.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) які величини ви навчилися вимірювати;
- 2) які чинники вплинули на точність одержаних результатів;

чи залежить період коливання гойдалки від амплітуди коливань та маси людини, що сидить на гойдалці.

Додаткове завдання

Доповніть речення:

Дівчинка сидить на гойдалці. Опором руху можна знехтувати.

- 1) Під час руху дівчинки вгору збільшується ..... енергія і зменшується ..... енергія;
- 2) У верхній точці траєкторії дівчинка на гойдалці має максимальну ..... енергію;
- 3) Під час руху дівчинки вниз ..... енергія переходить у ..... енергію;
- 4) Під час руху у нижній точці траєкторії максимальною є ..... енергія.

### НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ №3

Тема. Зясування умови рівноваги гойдайки-важеля.

Мета: перевірити дослідним шляхом, яким є співвідношення сил і їхніх плечей, щоб гойдалка-важіль перебувала у рівновазі.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

Дайте відповіді на запитання:

- 1) Що називають важелем і де застосовують важелі?
- 2) Що називають плечем сили?
- 3) Якою є умова рівноваги важеля?

Експеримент

Перед виконанням експерименту ознайомтеся з правилами безпеки експлуатації гойдалки-важеля та суворо їх дотримуйтеся (рис. 3).

- 1) Виміряйте відстані від осі обертання гойдалки-важеля до лінії дії сил.
- 2) Пригадайте масу свого тіла.
- 3) Складіть та заповніть таблицю для визначення фізичних величин, отриманих в результаті досліду.

Опрацювання результатів експерименту

- 1) Перевірте правильність виконання умови рівноваги важеля згідно з формулою.
- 2) Визначте з якою силою необхідно відштовхуватись ногами від землі одному з учнів, щоб гойдалка-важіль перебувала в рівновазі у випадку однакових довжин плечей сил та різних значень мас учнів.

Розрахунок подайте у вигляді задачі.

Аналіз експерименту та його результатів

На підставі проведених дослідів порівняйте відношення сил, що діють на гойдалку-важіль, і відношення її плечей. Зробіть висновок, у якому:

- 1) сформулюйте умову рівноваги важеля;
- 2) проаналізуйте чинники, які вплинули на точність вимірювання.

Додаткове завдання (Практикум з розв'язування задач)

На кінцях гойдалки сидить хлопчик і дівчинка, масою **60 кг** і **30 кг**, довжина дошки **3 м**. Де буде точка опори, якщо гойдалка в рівновазі?

### НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ №4

Тема. Дослідження руху тіла по колу.

Мета: ознайомитися з характеристиками руху тіла по колу.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

Дайте відповіді на запитання:

- 1) Що називається траєкторією руху?
- 2) Як можна визначити пройдений шлях при русі тіла по колу?
- 3) Що називається переміщенням?
- 4) Чи залежить траєкторія руху тіла, шлях і переміщення від вибору системи відліку?

Експеримент

Перед виконанням експерименту ознайомтеся з правилами безпеки експлуатації колеса огляду та суворо їх дотримуйтеся (рис. 4).

- 1) Поспостерігайте як здійснюється рух частин колеса огляду.
- 2) Дайте відповідь на запитання: які елементи колеса огляду рухаються поступально, а які здійснюють обертальний рух?
- 3) Накресліть схематичний рисунок, що зображає рух кабінок колеса огляду.
- 4) На рисунку вкажіть, яким є переміщення тіла за  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  періоду обертання та за повний період обертання.

Опрацювання результатів експерименту

- 1) Визначте пройдений шлях тіла за  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$  періоду обертання та за повний період обертання, прийнявши, що радіус колеса огляду дорівнює **5 м**.

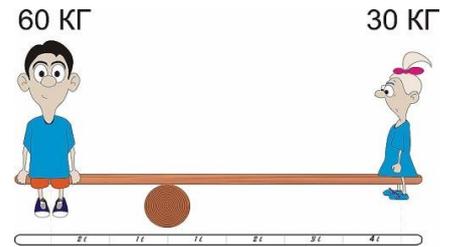


Рис.3. Гойдалка-важіль



Рис.4. Колесо огляду

Розрахунок подайте у вигляді задачі.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) який рух ви вивчали;
- 2) значення яких фізичних величин ви визначили;
- 3) які результати отримали.

Додаткове завдання (Практикум з розв'язування задач)

Уявіть, що ви вирішили протягом години кататися на колесі огляду. Яку відстань ви здолаєте за цей час, якщо діаметр колеса огляду дорівнює **50 м**, а один оберт здійснюється за **20 хв**.

У Чернівецькій спеціалізованій школі I-III ступенів №22 було проведено захід «Фізика вихідного дня». Семикласники виконали навчальні проекти, відвідавши парк «Жовтневий» (рис 5.).

Учні самостійно обрали напрямки проектної діяльності. Аргументовано і емоційно ознайомились з планом проведення навчальних проектів. Колективно обговорили можливі варіанти їх виконання, узгодили дії учасників груп. Юні експериментатори на собі відчули дію фізичних законів та ще раз довели, що урок фізики може бути не тільки пізнавальним, а й веселим та захоплюючим.

Розроблені навчальні проекти можуть бути використані на етапі узагальнення та систематизації знань, а також повторення з тем «Рівномірний рух тіла по колу», «Коливальний рух. Амплітуда, період і частота коливань», «Умова рівноваги важеля» у курсі «Фізика. 7 клас».

Виконавцям кожного навчального проекту пропонується оформити звіт у вигляді презентації, в одному із сучасних вебсервісів:

- <https://prezi.com/>
- <https://www.powtoon.com>
- <https://www.canva.com/>
- <https://haikudeck.com/>

Сам термін «презентація» означає представлення чогось нового. Мультимедійна презентація — це представлення інформації з використанням мультимедійних технологій: відео, аудіо, 3D моделей, рисунків, фотографій, тексту, анімації та навігації. Мультимедійна презентація може бути інтерактивною, тобто, користувач, що переглядає презентацію, може певним чином впливати на матеріал, що відображається в той чи інший момент.



Рис.5. Захід «Фізика вихідного дня»

Особливу увагу варто надати сервісу <https://prezi.com/>. Prezi.com – це хмарний сервіс для створення презентацій, виконаних в новому стилі zoom-технології (технології наближення) та віртуальних історій, який базується на гнучкому використанні презентаційного полотна та дозволяє фокусувати деталі презентації. Prezi-презентації створюються з допомогою інструменту редагування онлайн, що дозволяє імпортувати тексти, зображення, звуки, відео і т.д. Ці презентації зберігаються в мережі і можуть бути використані іншими користувачами в цілях мережевої взаємодії та обміну посиланнями. На відміну від звичних презентацій PowerPoint, у цьому середовищі можна створити цікаві нелінійні мультимедійні документи з нестандартними анімаційними переходами між слайдами. Важливою перевагою цього сервісу є можливість групової роботи над документом. Prezi.com – це угорський стартап, презентація в якому розміщується на одному великому віртуальному аркуші, а її демонстрація — це подорож по цьому аркушу з динамічним масштабуванням.

Велику роль в демонстрації презентації грає не лише показ слайдів, а і супровід звуком та анімацією. Використання презентацій на уроках фізики доводить, що пізнавальна мотивація учнів збільшується, полегшується оволодіння складним матеріалом. Презентація дозволяє наглядно впорядкувати матеріал та активізувати роботу класу. Працюючи над презентацією, кожен учень має можливість проявити свої креативні здібності в її оформленні та в представленні матеріалу.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Реалізація методу проектів є перспективною при вивченні фізики в школі. Робота над проектами викликає в учнів інтерес і є більш результативною, ніж традиційні уроки. Розроблені навчальні проекти можуть бути використані під час проведення нестандартних уроків фізики, для завдань літньої практики та навчальних екскурсій з

фізики. За наведеним зразком учні можуть створювати плани інших навчальних проєктів для вивчення фізичних принципів роботи атракціонів.

Проектна діяльність передбачає залучення учнів до творчого пошуку, стимулює і посилює позитивну мотивацію до навчання, дозволяє вчитися на власному досвіді та досвіді інших, приносить моральне задоволення. Сучасний вчитель повинен бути не просто фахівцем у викладанні навчального предмету, але й педагогом-професіоналом, здатним розробляти авторські навчальні проєкти, під час виконання яких учні з цікавістю здобували б нові знання.

1. Фізика: підруч. для 7 кл. загальноосв. навч. закл. за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. – Х.: Вид-во «Ранок», 2015. – 256 с.
  2. Шарко В.Д. Сучасний урок фізики: технологічний аспект. – К.: СПД Богданова А.М., 2005. – 220 с.
  3. Домбовська І. О. Актуальність використання проєктних технологій у географічній освіті. – Таврійський вісник освіти. – 2017. – № 1 (57). – С. 65–69.
  4. Тукало М. Д. Роль комп'ютерно орієнтованих засобів навчання в методі проєктів при вивченні хімії у профільній школі. – Інформаційні технології і засоби навчання. – 2010. – 12, № 4. – 18 с. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v12i4.86>.
  5. Бодько Л. Метод проєктів як засіб реалізації особистісно орієнтованого навчання. – Початкова школа. – 2013. – № 10. – С. 1–4.
  6. Щеглова А. О. Місце проєктного методу для формування і розвитку іншомовної комунікативної компетентності студентів в умовах змішаного навчання. – Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016. – 53, № 3. – С. 142–149. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v53i3.1381>.
  7. Слободяник О. В. Реалізація методу проєктів засобами соціальних мереж. – Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016. – 56, № 6. – С. 30–39. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v56i6.1540>.
1. Physics: textbook. for 7 cells. general education teach. closed in a row. V. G. Baryakhtar, S. O. Long. - X. : "Morning", 2015. - 256 p.
  2. Sharko VD Modern lesson in physics: technological aspect. - K. : SPD Bogdanova AM, 2005. - 220 p.
  3. Dombovskaia IO The relevance of the use of design technologies in geographic education. - The Taurian Herald of Education. - 2017. - No. 1 (57). - pp. 65-69.
  4. Tukalo MD The role of computer-aided learning in project-based learning in chemistry at a specialized school. - Information technology and training. - 2010. - 12, № 4. - 18 p. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v12i4.86>.
  5. Bodko L. Method of projects as a means of realization of personally oriented learning. - Elementary School. - 2013. - № 10. - P. 1–4.
  6. Shcheglova AA The place of the project method for formation and development of students' foreign language communicative competence in blended learning. - Information technology and training. - 2016. - 53, No. 3. - P. 142–149. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v53i3.1381>.
  7. Slobodian OV Implementation of the project method by means of social networks. - Information technology and training. - 2016. - 56, № 6. - P. 30–39. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v56i6.1540>.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-9

УДК 519.876.5; 621.31.33

В.В. Лишук, Й.Р. Селепина, М.М. Євсюк, А.О. Денисюк, Д.М. Трофимчук  
Луцький національний технічний університет

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДОВГОЇ ЛІНІЇ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

**В.В. Лишук, Й.Р. Селепина, М.М. Євсюк, А.О. Денисюк, Д.М. Трофимчук.** Математична модель електричної довгої лінії з розподіленими параметрами в системах зв'язку. У статті запропоновано математичну модель довгої лінії з розподіленими параметрами. Використано рівняння Максвелла, тобто рівняння електромагнітного поля з частинними похідними, що найповніше відтворюють картину фізичних процесів у елементах передачі енергії. Розв'язок диференціальних рівнянь з частинними похідними реалізується застосуванням числових методів з допомогою комп'ютерної техніки.

**Ключові слова:** математична модель, електрична довга лінія, алгебраїчні та диференціальні рівняння.

**В.В. Лышук, И.Р. Селепина, Н.Н. Евсюк, А.О. Денисюк, Д.М. Трофимчук.** Математическая модель электрической длинной линии с распределенными параметрами в системах связи. В статье предложена математическая модель электрической длинной линии с распределенными параметрами. Использовано уравнения Максвелла, то есть уравнения магнитного поля в частных производных, что наиболее точно воспроизводят картину физических процессов в элементах передачи энергии. Решение дифференциальных уравнений в частных производных реализуется использованием численных методов с помощью компьютерной техники.

**Ключевые слова:** математическая модель, электрическая длинная линия, алгебраические и дифференциальные уравнения.

**V.V. Lyshuk, Y.R. Selepyna, M.M. Yevsiuk, A.O. Denysiuk, D.M. Trofymchuk.** Mathematical model of an electric long line with distributed parameters in communication systems. The article proposes a mathematical model of an electric long line with distributed parameters. The Maxwell equation used, that is the electromagnetic field equation with partial derivatives, which most fully reproduces the picture of physical processes in the elements of energy transfer is involved. The solution of partial differential equations is realized using numerical methods using computer technology.

**Keywords:** mathematical model, electrical long line, algebraic and differential equations.

**Постановка проблеми.** Математичне моделювання складних технічних систем різного характеру на сьогоднішній день є важливою технічною задачею. З допомогою апарату математичного моделювання можна аналізувати динамічні процеси в різноманітних електротехнічних пристроях і системах, не використовуючи для цього дорогі експерименти.

У нашій праці побудуємо математичну модель довгої лінії телеграфного і телефонного зв'язку на основі законів електромагнітного поля та диференціальних рівнянь з частинними похідними [4]. На практиці представлення електротехнічних пристроїв та їх елементів у вигляді кіл з розподіленими параметрами не завжди можливе. Тому тут вдаються до апарату математичного моделювання. Розглядаючи електромагнітні процеси в електричних лініях за допомогою яких електрична енергія або сигнали передаються на відстані, необхідно мати на увазі, що магнітне і електричне поля змінюються як в часі, так і по всій довжині лінії [1, 2].

До електричних кіл з розподіленими параметрами відносяться лінії електропередачі (ЛЕП), лінії телеграфного і телефонного зв'язку, радіотрансляційні лінії, лінії телекерування і телевимірювання тощо. Довга лінія – один з елементів складних систем. Найчастіше вона зустрічається у вигляді кабелів тої чи іншої конструкції. Ми розглянемо лише двопровідну довгу лінію і покажемо основні особливості математичного моделювання у колах з розподіленими параметрами. Рівняння для напруг і струмів такої лінії загалом придатні і для інших типів ліній, зокрема трифазних [1, 4].

**Аналіз досліджень.** З області кіл з розподіленими параметрами найбільший інтерес представляють однорідні лінії, тобто лінії, що мають по всій своїй довжині однакові первинні параметри. Це активний опір, індуктивність, провідність і ємність, що виражаються рівномірно розподіленими уздовж лінії, а  $R_0$ ,  $L_0$ ,  $G_0$ ,  $C_0$  – значення цих параметрів на одиницю довжини лінії.

У всіх випадках при аналізі перехідних процесів в колах з розподіленими параметрами необхідно виходити із системи диференціальних рівнянь в частинних похідних, так званих телеграфних рівнянь при певних початкових і граничних умовах. Тут доречно відзначити, що такі кола з постійними розподіленими параметрами є ідеалізацією вихідних положень під час формування математичних моделей електромагнітних процесів [4].

© В.В. Лишук, Й.Р. Селепина, М.М. Євсюк, А.О. Денисюк, Д.М. Трофимчук.

На рис.1 наведена заступна схема довгої лінії. Слід відмітити, що модель враховуватиме ємнісні струми і струми втрат крізь ізоляцію. Ці струми пропорційні напрузі між проводами.

Крім того, при високих частотах в радіотехнічних пристроях ємнісні струми збільшуються з ростом частоти, тобто швидкості зміни напруги.

Однорідну довгу лінію можна розглядати як симетричний чотириполюсник, тобто як  $T$ -подібну заступну схему.

Якщо умовно виділити яку-небудь кінцеву ділянку цієї лінії, то струми на кінцях цієї ділянки будуть неоднаковими із-за наявності струмів зміщення.

Напруга між проводами також неоднакова уздовж лінії. Вона зменшується в напрямку від початку до кінця лінії, оскільки росте спад напруги, обумовлений активним та індуктивним опором проводів [3].

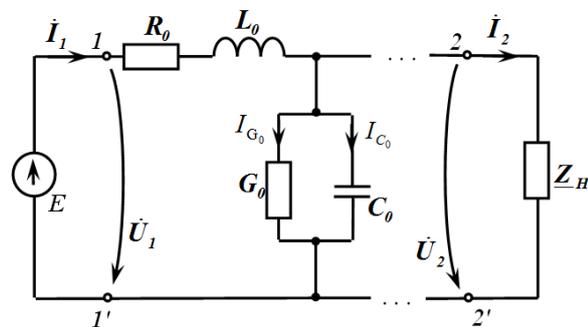


Рис.1. Заступна схема довгої лінії.

Як відомо електромагнітні процеси при високих частотах супроводжуються значним поверхневим ефектом. Однак його врахування у колах з розподіленими параметрами є досить складною задачею, розв'язання якої можливе лише із застосуванням методів теорії електромагнітного поля. Відомі спроби розв'язання її аналітично є надто приблизні й не відповідають суті кін з розподіленими параметрами.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.** Для побудови математичної моделі скористаємось першим і другим рівняннями Максвелла. Вважаючи діелектрик лінійним ізотропним середовищем, запишемо їх у вигляді [3, 4]

$$\nabla \times \vec{H} = \gamma_0 \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \gamma_0 \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}, \quad (2)$$

де  $\vec{H}, \vec{E}$  – відповідно вектори магнітного та електричного полів,  $\mu_0, \gamma_0, \varepsilon$  – відповідно магнітна проникність, електропровідність й діелектрична проникність діелектрика,  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} x_0 + \frac{\partial}{\partial \alpha} \alpha_0 + \frac{\partial}{\partial r} r_0$  – оператор набла [2].

У циліндричній системі вектори напруженостей електромагнітного поля  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  можна виразити через аксіальні і радіальні компоненти

$$\vec{E} = x_0 E_x + r_0 E_r; \quad \vec{H} = \alpha_0 H_\alpha + r_0 H_r, \quad (3)$$

де  $x_0, \alpha_0, r_0$  – орти.

З урахуванням (3) аксіальні та радіальні складові у рівняннях (1), (2) набувають вигляду

$$\frac{\partial H_\alpha}{\partial x} = \gamma_0 E_r + \varepsilon \frac{\partial E_r}{\partial t}. \quad (4)$$

$$\frac{\partial E_r}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial r} = -\mu_0 \frac{\partial H_\alpha}{\partial t}. \quad (5)$$

Напругу між проводами знайдемо, проінтегрувавши радіальну складову вектора напруженості електричного поля по відстані

$$u = \int_R^{D-R} E_r dr, \quad (6)$$

де  $R$  – радіус проводів;  $D$  – відстань між осями проводів.

Вважаючи, що геометричні й електричні осі проводів збігаються, значення напруженості  $E_r$  уздовж траєкторії, що збігається з найкоротшою відстанню між осями проводів, знаходимо згідно постулату Максвелла

$$E_r = \frac{\tau}{2\pi\epsilon r} + \frac{\tau}{2\pi\epsilon(D-r)}, \quad (7)$$

де  $\tau$  – лінійна густина заряду.

Значення аксіальної складової вектора напруженості магнітного поля  $H_\alpha$  уздовж цієї самої траєкторії визначаємо за законом повного струму [4]

$$H_\alpha = \frac{i}{2\pi r} + \frac{i}{2\pi(D-r)}. \quad (8)$$

Помножимо (5) на  $dr$  і проінтегруємо отриманий результат у межах від  $R$  до  $D - R$ . Переставивши місцями символи диференціювання й інтегрування, матимемо

$$-\frac{\partial}{\partial x} \int_R^{D-R} E_r dr = - \int_R^{D-R} \frac{\partial E_x}{\partial r} dr + \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \int_R^{D-R} H_\alpha dr. \quad (9)$$

Беручи до уваги (6) та підставляючи (7) у (8), після інтегрування отримуємо

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = 2E_x(R) + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \quad (10)$$

де

$$L_0 = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{D}{R}. \quad (11)$$

Величина  $L_0$  згідно з вибраними межами інтегрування – це зовнішня індуктивність лінії на одиницю довжини (погонна індуктивність). Щодо внутрішньої індуктивності й електричного опору пари проводів, то їхню дію відображає доданок  $2E_x(R)$  на поверхні проводу.

Перший доданок у правій частині (10) отриманий за умови, що значення аксіального компонента вектора напруженості електричного поля однакове на поверхні обох проводів. Однак ця умова не завжди виконується. Наприклад, у випадку коаксіального кабеля маємо

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = E_x(R_1) - E_x(R_2) + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \quad (12)$$

де  $R_1$  – зовнішній радіус внутрішньої жили;  $R_2$  – внутрішній радіус зовнішньої жили. З цієї точки зору вираз (12) узагальнює (10).

Рівняння (10), (12) складніші за відоме телеграфне рівняння довгої лінії. Його інтегрування пов'язано з обчисленням тангенціального компонента вектора  $E$  на поверхні проводу, що вимагає інтегрування рівнянь (4), (5) у тілі одного з проводів при використанні рівняння (10).

У разі розрахунку поля в тілі проводів другим доданком у правій частині (5) нехтуємо. Тоді

$$\frac{\partial H_\alpha}{\partial t} = \frac{v_0}{\gamma} \left( \frac{\partial^2 H_\alpha}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_\alpha}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial H_\alpha}{\partial r} - \frac{H_\alpha}{r^2} \right), \quad (13)$$

де  $\gamma$  – електропровідність матеріалу проводу,  $v_0 = 1/\mu_0$  – релактивність діелектрика.

Початкові умови рівняння (13) вважаємо відомими з розрахунку попереднього режиму. Крайові умови стосовно (12) знаходимо за законом повного струму

$$H_\alpha(0, x, t) = 0, H_\alpha(R_1, x, t) = i(x, t) / (2\pi R_1); \quad H_\alpha(R_2, x, t) = i(x, t) / (2\pi R_2); H_\alpha(R_3, x, t) = 0, \quad (14)$$

де  $R_3$  – зовнішній радіус зовнішньої жили,  $x$  – координата довжини.

Нехтуючи вихровими струмами у зосереджених елементах, що межують з лінією, маємо:

$$\left. \frac{\partial H_\alpha}{\partial x}(r, x, t) \right|_{x=0}^{x=l} = 0. \quad (15)$$

Значення  $E_x(R_1)$ ,  $E_x(R_2)$  знаходимо, якщо знехтувати другим доданком в рівнянні (1), тобто струмами зміщення і врахувавши (3)

$$E(R_i) = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{\partial H}{\partial r} + \frac{H}{r} \right) \Big|_{r=R_i}, \quad i = 1, 2. \quad (16)$$

Підставимо (7) у (6) та проінтегруємо отриманий результат

$$u = \frac{\tau}{\pi \varepsilon} \ln \frac{D}{R}. \quad (17)$$

Із (7), (17) одержуємо

$$E_r = \frac{u}{2r \cdot \ln \frac{D}{R}}. \quad (18)$$

Підставляючи (8), (18) у (5), одержуємо відоме телеграфне рівняння

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = g_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (19)$$

де  $g_0$ ,  $C_0$  – провідність витoku та ємність на одиницю довжини (погонні провідність і ємність)

$$g_0 = \frac{\pi \gamma_0}{\ln \frac{D}{R}}; \quad C_0 = \frac{\pi \varepsilon}{\ln \frac{D}{R}}. \quad (20)$$

Формули (17), (18) одержані за умови  $D \gg R$ .

У випадку коаксіального кабелю рівняння (6) набуває вигляду

$$u = \int_{R_1}^{R_2} E_r dr. \quad (21)$$

Тоді вирази (7), (8) спрощуються:

$$E_r = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon r}; \quad H_\alpha = \frac{i}{2\pi r}. \quad (22)$$

Рівняння (19) залишається без зміни, але  $g_0$ ,  $C_0$  мають інший вигляд ніж у (20):

$$g_0 = \frac{2\pi \gamma_0}{\ln \frac{R_2}{R_1}}; \quad C_0 = \frac{2\pi \varepsilon}{\ln \frac{R_2}{R_1}}. \quad (23)$$

Вирази (10), (13), (19) – диференціальні рівняння двопровідної лінії, що враховують поверхневий ефект у проводах. У практичних розрахунках рівняння (10), (19) інколи доцільно подати одним рівнянням. Диференціюючи перше з них за  $t$ , а друге за  $x$ , отримуємо

$$a_1 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + a_2 \frac{\partial i}{\partial t} = \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} - a_3 E_x(R_1) - a_4 \frac{\partial E_x}{\partial t}(R_1), \quad (24)$$

де  $a_1 = L_0 C_0$ ,  $a_2 = g_0 L_0$ ,  $a_3 = 2g_0$ ,  $a_4 = 2C_0$ .

Рівняння (24) описує просторово-часовий розподіл струму вздовж лінії. Щоб проінтегрувати його, необхідно знати початкові  $i(x, 0)$  і крайові умови. Початкові умови вважаємо відомими (нульовими), а крайові знаходимо виходячи з (19):

$$\left. \frac{\partial i}{\partial x} \right|_{x=0}^{x=l} = \left( g_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \right) \Big|_{x=0}^{x=l} \quad (25)$$

Електрична напруга на початку лінії відома. У кінці лінії її визначаємо з рівнянь споживача

$$u(l, t) = L \frac{\partial i_l}{\partial t} + R i_l + u_c; \quad i_l = C \frac{\partial u_c}{\partial t}, \quad (26)$$

де  $R, L, C$  – опір, індуктивність і ємність споживача;  $u_c$  – напруга конденсатора.

Розв'язування (24) на першому кроці інтегрування здійснюємо згідно з (10).

Вирази (10), (13), (16), (24) за крайових умов (14), (15), (25) утворюють повну систему диференціальних рівнянь довгої лінії. Інтегруємо їх сумісно з рівняннями споживача (26). Скінченно-різницеву апроксимацію цих рівнянь здійснюємо за явним принципом [2]. У першому випадку для забезпечення стійкості розв'язання необхідно дотримуватися умови Куранта [2, 4]

$$\Delta t < \min \left( \mu \gamma \frac{(\Delta r)^2}{2}, \sqrt{L_0 C_0} \Delta x \right), \quad (27)$$

де  $\Delta t, \Delta r, \Delta x$  – кроки інтегрування по часу  $t$ , радіусу  $r$  і довжині  $x$ .

На рис.2, 3 зображено переріз модельованого коаксіального кабелю і наведено результати розрахунку перехідного процесу в ньому, а саме розподіли напруги (1, 3) і струму (2, 4) вздовж лінії в момент часу  $t = 0,907 \cdot 10^{-3}$  с. у станах активного навантаження з опором  $R = 10$  Ом (1, 2) і короткого замикання (3, 4) при вмиканні кабелю на джерело напруги  $u = 100 \sin \omega t$ . Частота напруги  $f = 5$  МГц. Інтегрування рівнянь проведено за явним принципом у середовищі *FORTRAN FORCE 2.0*. Графічні залежності побудовано в редакторі *GRAPHER*.

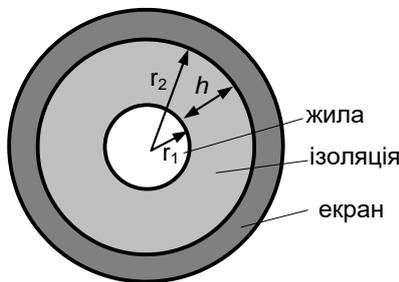


Рис.2. Переріз коаксіального кабелю.

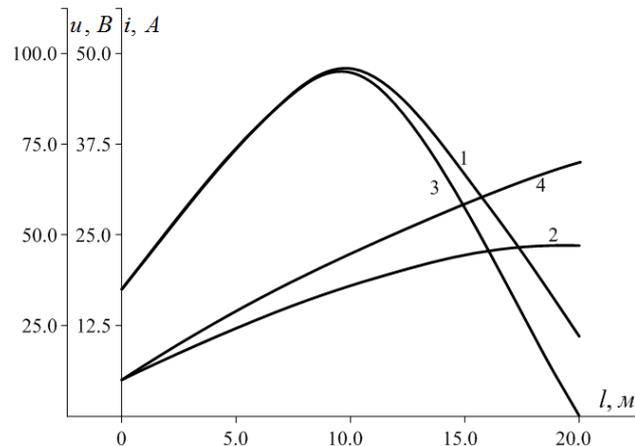


Рис.3. Розподіли напруги (1, 3) і струму (2, 4) в станах активного навантаження (1, 2) і короткого замикання (3, 4).

В області радіочастот, так як у нашому випадку, первинні параметри однорідної двопровідної лінії з мідними проводами для коаксіального кабелю можуть бути визначені на відміну від (20) за формулами

$$r_0 = 4,16 \sqrt{f} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) \cdot 10^{-8}, \text{ Ом/м}; \quad g_0 = \omega \cdot C_0 \cdot \text{tg} \delta \approx \pi f C_0 \cdot 10^{-4}, \text{ См/м};$$

$$C_0 \approx \frac{0,241 \epsilon}{\lg \frac{R_2}{R_1}} \cdot 10^{-10} \text{ Ф/м}; \quad L_0 \approx 0,46 \lg \frac{R_2}{R_1} \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}.$$

В обчисленнях були задіяні такі параметри лінії (кабелю):  $R_1 = 0,0007$  м,  $R_2 = 0,0018$  м;  $l = 20$  м;  $L_0 = 0,2 \cdot 10^{-6}$  Гн/м;  $r_0 = 0,2$  Ом/м;  $g_0 = 0,18 \cdot 10^{-6}$  См/м;  $C_0 = 100 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\gamma_{cu} = 58 \cdot 10^6$  См/м.

**Висновки.** Побудовано математичну модель довгої лінії, що дає змогу здійснювати аналіз електричних кіл з розподіленими параметрами і встановити в аналітичному вигляді залежності напруг та струмів від просторової та часової координат. Така модель дає змогу оцінити перехідні процеси в довгих лініях з різними видами навантажень.

#### **Список бібліографічних посилань**

1. Байдак Ю.В. Основи теорії кіл. Навч. посібник / Ю.В. Байдак. – К.: Вища шк.: Слово, 2009. – 271 с.
2. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, П. Коц. – К.: Академперіодика, 2002. – 480 с.
3. Иваницкий А.М. Телеграфные уравнения однородных линий при экспофункциональных сигналах / А.М. Иваницкий, М.В. Рожновский // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – №1. – С.56-63.
4. Чабан В.Й. Електромагнетне поле / В.Й. Чабан. – Львів: В-во Т. Сороки, 2006. – 394 с.

1. Baidak Yu.V. Fundamentals of Circle Theory. Educ. manual / Yu.V. Kayak. - K.: Higher School: Word, 2009. - 271 p.
2. K. Zelensky, Computer Methods in Applied Mathematics / K. Kh. Zelensky, V. M. Ignatenko, P. Kotz. - K.: Akadempriodika, 2002. - 480 p.
3. Ivanitsky AM Telegraphic equations of homogeneous lines at expofunctional signals / A.M. Ivanitz-ciy, M.V. Rozhnovsky // Scientific works of ONAZ them. OS Popova. - 2009. - №1. - P.56-63.
4. Chaban VY Electromagnetic field / V.Yu. Shepherd. - Lviv: In T. Soroki, 2006. - 394 p

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-13

УДК 004.415.3

Пех П.А., Гайдучик С.І., Чимрук Н.О.

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Пех П. А., Гайдучик С. І., Чимрук Н. О.** Дослідження процесу функціонування автоматизованих ліній методом імітаційного моделювання. В статті наведені результати дослідження процесу функціонування автоматизованої лінії зі стохастичним характером роботи методом імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** C++Builder проект, автоматизована лінія, розподіл Ерланга, імітаційна модель, кібернетичний експеримент

**Пех П. А., Гайдучик С. И., Чимрук Н. О.** Исследование процесса функционирования автоматизированных линий методом имитационного моделирования. В статье приведены результаты исследования процесса функционирования автоматизированной линии со стохастическим характером работ методом имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** C++Builder проект, входящий поток, распределение Эрланга, имитационная модель, кибернетический эксперимент

**Pekh Petro, Gaiduchyk Sergij, Chymruk Nazar.** Investigation of the process of automated lines functioning by the simulation method. The article presents the results of the investigation of the functioning process of automated line with stochastic work nature by the simulation modeling method.

**Keywords:** C++Builder project, automated line, Erlang distribution, simulation model, cybernetic experiment.

**Постановка задачі.** Розглянемо процес функціонування автоматизованої лінії зі стохастичним характером функціонування, яка складається із  $s$  послідовно з'єднаних верстатів, між якими встановлені буферні пристрої певної місткості (рис. 1), для якої нами розроблено імітаційний програмний комплекс [1]. Процеси надходження предметів праці (заготовок) та їх оброблення на верстатах автоматизованої лінії вважаються випадковими – а саме такими, що описуються розподілом Ерланга. Вважаються відомими (заданими) наступні параметри досліджуваної лінії:

кількість  $s$  верстатів, що входять до складу лінії;

номінальні продуктивності кожного верстату;

параметри стабільності робочих циклів (параметри Ерланга) кожного верстату;

місткості буферних пристроїв між верстатами.

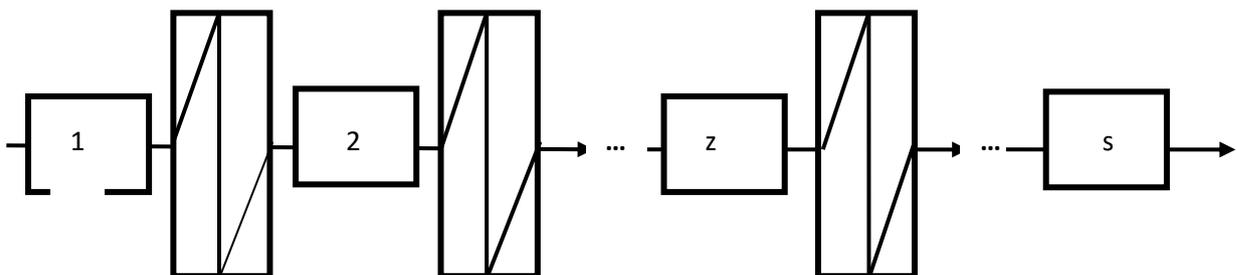


Рис.1 – Структурна схема досліджуваної автоматизованої лінії

**Метою даного дослідження** є отримання залежностей значення коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії від кількості  $s$  верстатів, параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  та місткості буферних пристроїв  $M$  за допомогою розробленої нами імітаційної моделі.

**Основна частина.** Планом передбачалося проведення комплексу досліджень роботи автоматизованих ліній на створеній нами імітаційній моделі. У даній статті викладені результати цих досліджень та їх аналіз.

**Дослідження залежності коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії від параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  за фіксованих значеннях  $s$  та  $M$ .**

У таблиці 1 наведено значення коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з  $s$  верстатів, від параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  ( $k=1..20$ ) за різних значень місткості буферних пристроїв  $M$  ( $M=0$ ;  $M=5$ ;  $M=10$ ). За результатами імітаційного моделювання побудовані графіки залежностей коефіцієнта використання робочого часу лінії (рис. 3.1

- 3.3) від параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  за різних значень місткості буферних пристроїв  $M$  та кількості верстатів  $s$ .

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії від параметра  $k$  та фіксованих значеннях  $s$  та  $M$

Пара- метр $k$	Коефіцієнт використання робочого часу лінії $\rho$								
	Лінія з $s=2$ верстатів			Лінія з $s=6$ верстатів			Лінія з $s=10$ верстатів		
	$M=0$	$M=5$	$M=10$	$M=0$	$M=5$	$M=10$	$M=0$	$M=5$	$M=10$
1	0,666	0,782	0,869	0,512	0,634	0,728	0,363	0,491	0,591
2	0,687	0,800	0,885	0,537	0,656	0,746	0,390	0,515	0,612
3	0,707	0,817	0,899	0,560	0,676	0,764	0,416	0,539	0,633
4	0,727	0,834	0,912	0,582	0,695	0,780	0,442	0,561	0,652
5	0,745	0,849	0,924	0,603	0,713	0,795	0,466	0,582	0,670
6	0,762	0,863	0,935	0,623	0,731	0,809	0,489	0,603	0,688
7	0,778	0,876	0,945	0,642	0,747	0,823	0,511	0,622	0,704
8	0,793	0,888	0,955	0,660	0,762	0,835	0,532	0,640	0,719
9	0,806	0,899	0,963	0,677	0,776	0,846	0,552	0,657	0,733
10	0,819	0,909	0,969	0,693	0,789	0,856	0,571	0,673	0,746
11	0,831	0,917	0,975	0,708	0,801	0,865	0,589	0,688	0,758
12	0,842	0,925	0,980	0,722	0,812	0,873	0,606	0,702	0,769
13	0,852	0,932	0,984	0,735	0,822	0,880	0,622	0,715	0,779
14	0,860	0,938	0,987	0,747	0,830	0,886	0,637	0,727	0,788
15	0,868	0,943	0,989	0,757	0,838	0,890	0,651	0,738	0,796
16	0,875	0,946	0,989	0,767	0,845	0,894	0,664	0,748	0,803
17	0,880	0,949	0,989	0,776	0,851	0,897	0,675	0,756	0,809
18	0,885	0,950	0,989	0,783	0,855	0,899	0,686	0,764	0,814
19	0,888	0,951	0,990	0,790	0,859	0,899	0,696	0,771	0,818
20	0,891	0,951	0,990	0,795	0,862	0,899	0,704	0,777	0,820

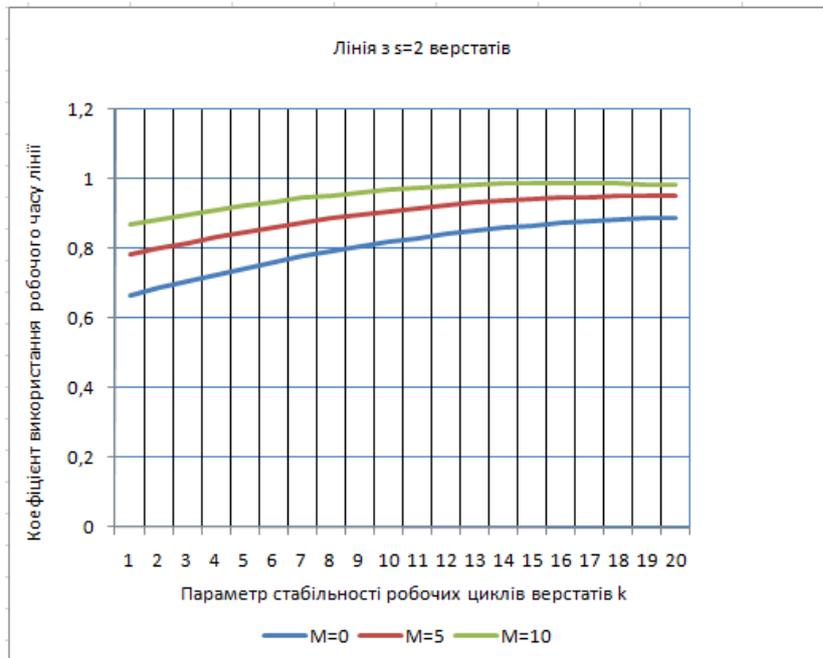


Рис.2 – Залежність коефіцієнта використання робочого часу автоматизованої лінії з двох верстатів від параметра стабільності робочого часу верстатів для трьох випадків місткості буферних пристроїв

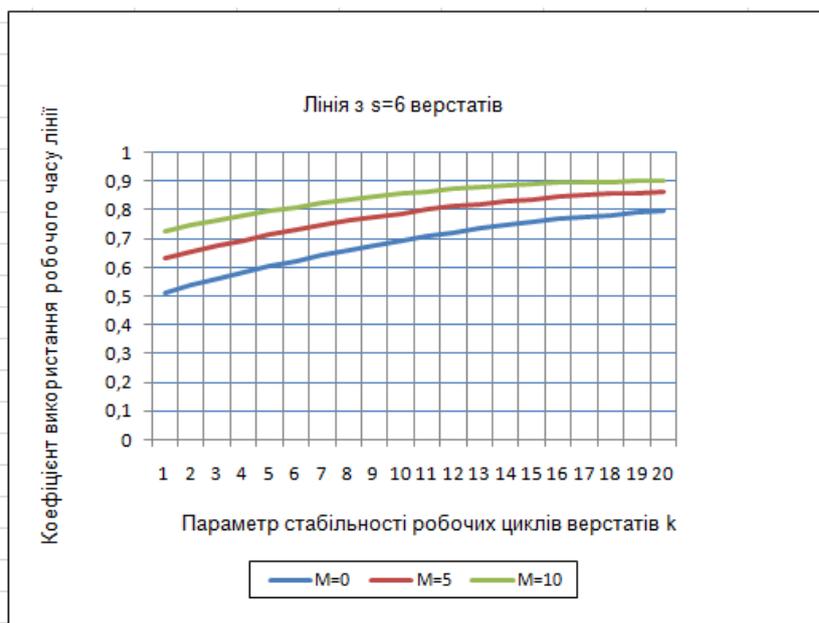


Рис. 3 – Залежність коефіцієнта використання робочого часу автоматизованої лінії з шести верстатів від параметра стабільності робочого часу верстатів для трьох випадків місткості буферних пристроїв

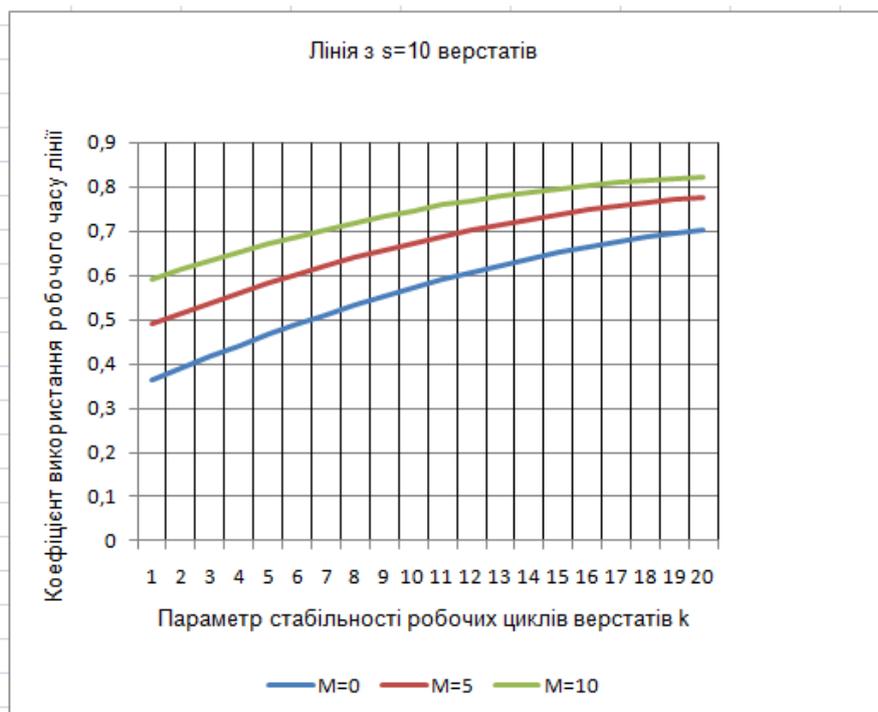


Рис.4 – Залежність коефіцієнта використання робочого часу автоматизованої лінії з шести верстатів від параметра стабільності робочого часу верстатів для трьох випадків місткості буферних пристроїв

Аналіз даних таблиці 1 та графічних залежностей, наведених на рис. 2 - 4, дає змогу зробити наступні висновки.

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з двох верстатів, зростає:

у випадку жорсткого з'єднання верстатів ( $M=0$ ) від  $\rho=0,666$  при  $k=1$  до  $\rho=0,891$  при  $k=20$ ;

у випадку гнучкого з'єднання верстатів ( $M=5$ ) від  $\rho=0,782$  при  $k=1$  до  $\rho=0,951$  при  $k=20$ ;

у випадку збільшення місткості буферних пристроїв ( $M=10$ ) від  $\rho=0,869$  при  $k=1$  до  $\rho=0,990$  при  $k=20$ .

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з шести верстатів, зростає:

у випадку жорсткого з'єднання верстатів ( $M=0$ ) від  $\rho=0,512$  при  $k=1$  до  $\rho=0,795$  при  $k=20$ ;  
у випадку гнучкого з'єднання верстатів ( $M=5$ ) від  $\rho=0,634$  при  $k=1$  до  $\rho=0,862$  при  $k=20$ ;  
у випадку збільшення місткості буферних пристроїв ( $M=10$ ) від  $\rho=0,728$  при  $k=1$  до  $\rho=0,899$  при  $k=20$ .

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з десяти верстатів, зростає:

у випадку жорсткого з'єднання верстатів ( $M=0$ ) від  $\rho=0,363$  при  $k=1$  до  $\rho=0,704$  при  $k=20$ ;  
у випадку гнучкого з'єднання верстатів ( $M=5$ ) від  $\rho=0,491$  при  $k=1$  до  $\rho=0,777$  при  $k=20$ ;  
у випадку збільшення місткості буферних пристроїв ( $M=10$ ) від  $\rho=0,591$  при  $k=1$  до  $\rho=0,820$  при  $k=20$ .

Таким чином, параметр стабільності робочого циклу істотно впливає на значення коефіцієнта використання робочого часу автоматизованої лінії. Найбільше цей вплив помітний у випадку жорсткого з'єднання верстатів. Як ми вже зазначали, у випадку жорсткого з'єднання двох верстатів коефіцієнт використання робочого часу може бути збільшений на 22.5%. Це означає, що на таку величину збільшиться випуск продукції лише за рахунок мір, які забезпечують зростання параметра стабільності робочого циклу. Наприклад, за рахунок більш ретельного сортування сировини, більш якісної підготовки інструменту та інших міроприємств, що впливають на стабільність роботи лінії.

**Дослідження залежності коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з  $s$  верстатів, від місткості буферних пристроїв  $M$  за різних значень параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$ .**

У таблиці 2 наведено значення коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з  $s$  ( $s=2$ ;  $s=6$ ;  $s=10$ ) верстатів, від місткості буферних пристроїв  $M$  ( $M=0..20$ ) за різних значень параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  ( $k=1$ ;  $k=5$ ;  $k=10$ ). За результатами імітаційного моделювання побудовані графіки залежностей коефіцієнта використання робочого часу лінії (рис. 3.4 - 3.6) від параметра  $M$  при фіксованих значеннях параметра стабільності робочих циклів верстатів  $k$  та кількості верстатів  $s$ .

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з  $s$  верстатів, від місткості буферних пристроїв  $M$  за різних значень стабільності робочих циклів верстатів  $k$

Пара- метр $M$	Коефіцієнт використання робочого часу лінії $\rho$								
	Лінія з $s=2$ верстатів			Лінія з $s=6$ верстатів			Лінія з $s=10$ верстатів		
	$k=1$	$k=5$	$k=10$	$k=1$	$k=5$	$k=10$	$k=1$	$k=5$	$k=10$
0	0,666	0,745	0,799	0,512	0,593	0,647	0,363	0,426	0,470
1	0,691	0,763	0,814	0,536	0,614	0,665	0,386	0,468	0,507
2	0,715	0,787	0,835	0,563	0,643	0,691	0,415	0,488	0,536
3	0,739	0,808	0,854	0,588	0,660	0,707	0,441	0,509	0,554
4	0,760	0,824	0,866	0,608	0,674	0,717	0,461	0,529	0,571
5	0,780	0,841	0,880	0,630	0,690	0,730	0,483	0,544	0,583
6	0,800	0,858	0,895	0,651	0,709	0,745	0,506	0,564	0,600
7	0,819	0,875	0,908	0,671	0,726	0,760	0,527	0,582	0,616
8	0,836	0,890	0,920	0,689	0,743	0,773	0,547	0,600	0,630
9	0,853	0,904	0,931	0,707	0,758	0,786	0,565	0,616	0,644
10	0,868	0,917	0,941	0,723	0,772	0,797	0,583	0,632	0,656
11	0,882	0,928	0,950	0,739	0,785	0,807	0,600	0,646	0,668
12	0,895	0,939	0,957	0,753	0,797	0,815	0,615	0,659	0,678
13	0,907	0,948	0,964	0,766	0,808	0,823	0,629	0,671	0,687
14	0,917	0,957	0,969	0,778	0,817	0,830	0,642	0,682	0,694
15	0,927	0,964	0,973	0,789	0,825	0,835	0,654	0,691	0,701
16	0,935	0,970	0,976	0,798	0,833	0,839	0,665	0,700	0,707
17	0,942	0,975	0,978	0,807	0,839	0,843	0,675	0,707	0,711
18	0,948	0,978	0,979	0,814	0,844	0,845	0,683	0,713	0,714
19	0,953	0,981	0,979	0,820	0,848	0,846	0,691	0,718	0,716
20	0,957	0,982	0,977	0,825	0,850	0,845	0,697	0,722	0,717

Аналіз даних таблиці 2, дає змогу зробити наступні висновки.

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з двох верстатів, зростає:

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=1$  від  $\rho=0,666$  при  $M=0$  до  $\rho=0,982$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=5$  від  $\rho=0,745$  при  $M=0$  до  $\rho=0,891$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=10$  від  $\rho=0,799$  при  $M=0$  до  $\rho=0,977$  при  $M=20$ .

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з шести верстатів, зростає:

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=1$  від  $\rho=0,562$  при  $M=0$  до  $\rho=0,825$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=5$  від  $\rho=0,593$  при  $M=0$  до  $\rho=0,850$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=10$  від  $\rho=0,647$  при  $M=0$  до  $\rho=0,845$  при  $M=20$ .

Величина коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з десяти верстатів, зростає:

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=1$  від  $\rho=0,363$  при  $M=0$  до  $\rho=0,697$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=5$  від  $\rho=0,426$  при  $M=0$  до  $\rho=0,722$  при  $M=20$ ;

у випадку параметра стабільності роботи верстатів  $k=10$  від  $\rho=0,470$  при  $M=0$  до  $\rho=0,717$  при  $M=20$ .

Таким чином, місткість буферних пристроїв істотно впливає на значення коефіцієнта використання робочого часу автоматизованої лінії. Найбільше цей вплив помітний у випадку низької стабільності роботи верстатів ( $k=1$ ). Як ми вже зазначали, у випадку параметра стабільності роботи верстатів ( $k=1$ ) коефіцієнт використання робочого часу може бути збільшений на 31.6%. Це означає, що на таку величину збільшиться випуск продукції лише за рахунок встановлення між верстатами буферного пристрою місткістю 20 заготовок.

Зазначимо, що результати досліджень автоматизованих ліній, що наведені в даній статті, добре узгоджуються з отриманими іншими дослідниками за допомогою інших моделей [2,3].

### Висновки

В роботі наведені результати дослідження процесу функціонування автоматизованої лінії зі стохастичним характером роботи. Зокрема, отримані:

залежності коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії від параметра  $k$  та фіксованих значеннях  $s$  та  $M$

залежності коефіцієнта використання робочого часу  $\rho$  автоматизованої лінії, що складається з  $s$  верстатів, від місткості буферних пристроїв  $M$  за різних значень стабільності робочих циклів верстатів  $k$

1. Пех П.А., Войтович А.О. Програмний C++комплекс для дослідження процесу функціонування автоматизованих ліній та його верифікація. Науковий журнал Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво . – Луцьк, РВВ Луцького НТУ, 2017. №27. Стор.60 – 67.
2. Д.Л. Дудюк та інші. Моделювання та оптимізація об'єктів і систем керування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. –К.:ІЗМН, 1998.-248 с.
3. Дудюк Дмитро та інші. Елементи теорії автоматичних ліній Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. –Київ-Львів:ІЗМН, 1998.-192 с.

1. Pech PA, Voitovich AA Software C ++ complex for investigation of the process of functioning of automated lines and its verification. Scientific journal Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. –Lutsk, RVV of Lutsk NTU, 2017. №27. Pages 60 - 67.

2. D.L. Dudyuk and others. Simulation and optimization of objects and control systems: A tutorial for university students. –К .: MOD, 1998. - 248 p.

3. Dudyuk Dmitry and others. Elements of the theory of automatic lines A textbook for students of higher educational establishments. –Kyiv-Lviv: ISMN, 1998.-192 p.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-14

УДК 621.762

О. Ю. Повстяной<sup>1</sup>, А. О. Михайлов<sup>2</sup>, В. Д. Рудь<sup>1</sup>, О. В. Михайлов<sup>3</sup>

Луцький національний технічний університет<sup>1</sup>,

Національний інститут харчових технологій<sup>2</sup>,

Інститут проблем матеріалознавства НАН України<sup>3</sup>

## МОДЕЛЮВАННЯ УЩІЛНЕННЯ ПОРОШКОВОГО ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА СКЛАДНОЇ ФОРМИ ПРИ РАДІАЛЬНО-ІЗОСТАТИЧНОМУ ПРЕСУВАННІ

**О. Ю. Повстяной, А. О. Михайлов, В. Д. Рудь, О. В. Михайлов. Моделирование уплотнения порошкового фильтрующего элемента сложной формы при радиально-изостатическом прессовании.** Проведено моделювання процесу радіально-ізостатичного пресування фільтруючого елемента складної форми у вигляді колби, отриманого з порошку сталі ШХ15. Встановлено, що розподіл величин пористості і накопиченої пластичної деформації за об'ємом виробу нерівномірно і залежить від схеми ущільнення. При радіальному пресуванні більш інтенсивно ущільнюється матеріал стінки, а при осьовому пресуванні - матеріал дна фільтра. Застосування схеми пресування, при якій порошок спочатку ущільнюють в радіальному, а потім в осьовому напрямку, дозволяє отримати більш рівномірний розподіл властивостей. Зі збільшенням радіуса величина пористості стінки і дна фільтра зростає.

**Ключові слова:** радіально-ізостатичне пресування, пористий проникливий матеріал, фільтр, розподіл щільності, пористість

**А. Ю. Повстяной, А. О. Михайлов, В. Д. Рудь, О. В. Михайлов. Моделирование уплотнения порошкового фильтрующего элемента сложной формы при радиально-изостатическом прессовании.** Проведено моделювання процесу радіально-ізостатичного пресування фільтруючого елемента складної форми в формі колби, отриманого з порошку сталі ШХ15. Встановлено, що розподілення величин пористості і накопиченої пластичної деформації по об'єму изделия нерівномірно і залежить від схеми ущільнення. При радіальному пресуванні більш інтенсивно ущільнюється матеріал стінки, а при осьовому пресуванні - матеріал дна фільтра. Застосування схеми пресування, при якій порошок спочатку ущільнюють в радіальному, а потім в осьовому напрямку, дозволяє отримати більш рівномірний розподілення властивостей. С збільшенням радіуса величина пористості стінки і дна фільтра зростає.

**Ключевые слова:** радиально-изостатическое прессование, пористый проницаемый материал, фильтр, распределение плотности, пористость

The simulation of the process of radial isostatic pressing of a complex-shaped filtering element in the form of a flask obtained from powder of BBS15 steel was carried out. It is established that the distribution of porosity and accumulated plastic deformation over the product volume is uneven and depends on the compaction scheme. The wall material is compacted more intensively by radial pressing, and the bottom of the filter material is compacted more intensively by axial pressing. The use of a pressing scheme in which the powder is first compacted in the radial and then in the axial direction allows to obtain more even distribution of properties. As the radius increases, the porosity of the wall and the bottom of the filter increases.

**Keywords:** radial isostatic pressing, porous permeable material, filter, density distribution, porosity

**Вступ.** Порошкова металургія кожним новим розробленим технологічним процесом демонструє переваги, які дозволяють отримувати матеріали з кращими або зовсім новими властивостями, виготовляти вироби найбільш економічно вигідним способом. До таких виробів відносять пористі проникні матеріали (ППМ).

Пористі проникні матеріали широко застосовуються в різних галузях сучасної промисловості [1-3]. Зокрема, вони використовуються в якості фільтрів, що забезпечують очищення рідин і газів.

Перспективним методом отримання фільтруючих елементів є радіально-ізостатичне пресування порошків [4-6]. Форма одержуваних фільтруючих елементів може бути як простою, так і складною (рис. 1).

Технологічні параметри процесу пресування визначають розміри, форму, а також розподіл властивостей за об'ємом виробів, що, в свою чергу, впливає на експлуатаційні властивості фільтрів.

Вибір оптимальних параметрів процесу пресування є складним завданням. Тому поряд з традиційними методами досліджень, в даний час все більш широко застосовується метод попереднього комп'ютерного моделювання. Це стало можливим завдяки істотному прогресу в розумінні основних особливостей поведінки порошкових матеріалів в процесі їх ущільнення, створення відповідних математичних моделей.

Як свідчить вітчизняний та світовий досвід останніх десятиріч, успіх розв'язання проблем, що при цьому виникають, вимірюється якістю та ступенем прогнозування процесів та явищ, які супроводжують ці технології. Підвищити ефективність традиційних технологій, а також ввести безвідходне виробництво виробів широкого цільового призначення, зберігати енергію, скорочувати трудові затрати та контролювати параметри структури порошкових проникних матеріалів у процесі

їх виготовлення можливо за допомогою прогнозування з використанням сучасних засобів моделювання.

Важливе місце також займають модельні експерименти прогнозування залежностей властивостей пористих матеріалів від технологічних параметрів отримання виробів з використанням аналітичних, числових та числово-аналітичних.

Розробка та виробництво нових пористих проникних матеріалів є важливим завданням, яке значно виграє від використання засобів автоматизованого інжинірингу. Зі збільшення обчислювальної потужності, багатовимірне комп'ютерне моделювання стає все потужнішим та актуальнішим.

Найбільш поширеним методом моделювання деформаційної обробки порошкових пористих матеріалів є метод скінченних елементів.

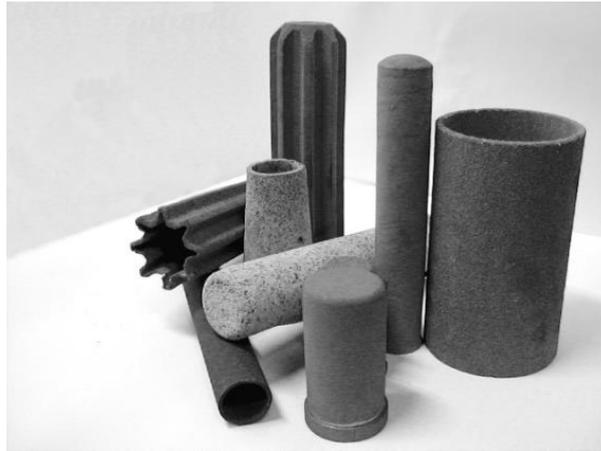


Рис.1. Пористі порошкові фільтри простої і складної форми

Комп'ютерне моделювання поведінки фільтруючих елементів, що ущільнюються, при радіально-ізостатичному пресуванні, встановлення закономірностей зміни форми елемента, розподілу пористості та інших параметрів, що визначають експлуатаційні властивості, є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний момент є ряд публікацій, в яких проведені експериментальні [6, 7] і теоретичні дослідження [8] за визначенням розподілу пористості в фільтрах, форма яких являє собою порожнистий циліндр. У той же час, закономірності ущільнення порошкових фільтруючих елементів складної форми не досліджені.

Аналіз літературних даних [9, 10], показує, що перспективними методами отримання ППМ, є методи, які направлені на створення ППМ з анізотропною структурою, у яких розміри та кількість пор змінюються в напрямку фільтрації. У таких ППМ тонкість фільтрації буде визначатися шаром з мінімальним розміром пор, проникливістю є інтегральна величина, яка визначається пористою структурою всього матеріалу, а забруднювач у процесі фільтрування розподіляється по всьому об'ємі фільтруючого елемента, що дозволяє збільшити ресурс роботи фільтру.

Фільтруючі ППМ у вигляді тіл обертання (труби, диски, колби тощо) отримують все більше розповсюдження у різних галузях техніки, так як вони володіють високою технологічністю конструкції. Основні вимоги, які висуваються до геометрії таких виробів, є забезпечення точності зовнішніх та внутрішніх розмірів.

Широко використовувані такі ППМ характеризуються досить високою технологічністю виготовлення. Розміри і форма таких виробів визначаються габаритами пристроїв, складовою частиною яких вони є. Збільшення продуктивності цих пристроїв зі збереженням габаритів дозволяє значно підвищити ефективність їх використання.

**Мета роботи** - дослідження методом комп'ютерного моделювання впливу схеми радіально-ізостатичного пресування на закономірності ущільнення і формозміни фільтруючого елемента, що має складну форму у вигляді колби.

**Результати моделювання.** Моделювання виконано на основі континуального підходу. В якості визначальних співвідношень використовували співвідношення теорії пластичності пористого тіла [11]. Визначення форми заготовки, що ущільнюється, а також полів щільності, напруг і деформацій виконано на основі методу скінченних елементів [12].

Розглядалися дві схеми ущільнення: радіальне (рис.2, а) та осьове (рис.2, б). Матеріал порошку, що ущільнюється – порошок сталі ШХ15. Початкова пористість фільтруючого елемента дорівнювала 0,7. Ущільнення відбувалося на оправку під впливом еластичного середовища, матеріал якого – поліуретан.

У зв'язку з симетрією при моделюванні розглядали половину осьового перерізу. Вважали, що оправка нерухома. Також вважали, що при радіальному ущільненні нерухома кришка (3 на рис.2), а при осьовому ущільненні нерухома стінка (4 на рис.2).

Поверхня поліуретану, на яку здійснювалося силове навантаження, переміщала з постійною швидкістю в радіальному (радіальне ущільнення), або в осьовому (осьове ущільнення) напрямку.

На рис.3 приведені результати по розподілу пористості (рис.3, а) та величини накопиченої пластичної деформації (рис.3, б).

У початковий момент відбувається ущільнення стінки фільтруючого елемента. Розподіл пористості по радіусу стінки фільтра нерівномірний. Зі збільшенням радіуса пористість зростає. Отриманий результат відповідає даним, наведеним в роботах [5-7]. Розподіл величини накопиченої пластичної деформації також нерівномірний. Максимальна величина накопиченої деформації - у внутрішній поверхні стінки фільтра, мінімальна - у зовнішній поверхні.

При подальшому пресуванні відбувається збільшення відносної щільності стінки і поширення процесу ущільнення на дно фільтруючого елемента. Проте, як видно з рис.3, у кінці процесу пресування величина пористості в області дна фільтра значно вище, ніж в області стінки. Характер зміни пористості по радіусу стінки залишається таким же, як на початку пресування. Розподіл пористості по висоті стінки нерівномірний: у нижній і верхній частині (рис.3, а) пористість вище.

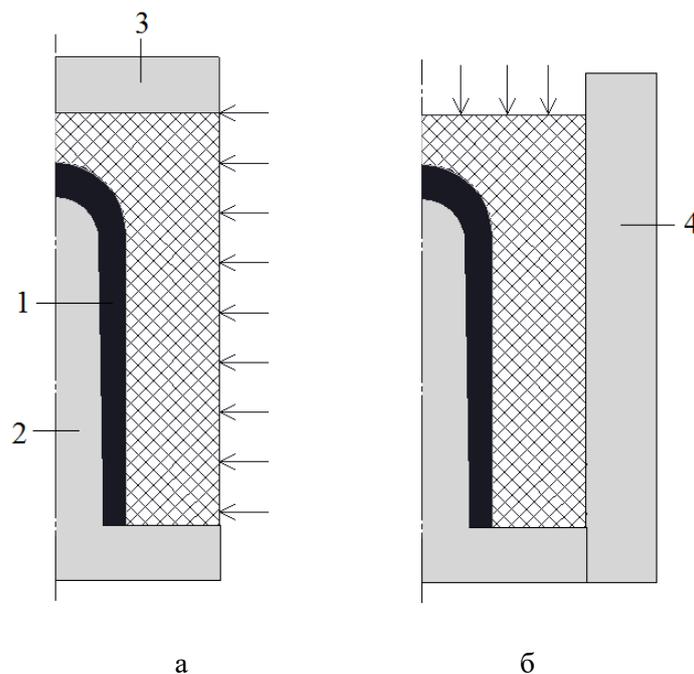


Рис. 2. Схеми радіального (а) та осьового (б) ущільнення:

1 - порошок, що ущільнюється, 2 - оправка, 3 - кришка, 4 - стінка

Величина накопиченої пластичної деформації розподілена за об'ємом фільтра аналогічно розподілу відносної щільності. В області дна фільтруючого елемента вона нижче.

На рис.4 представлений розподіл пористості і накопиченої пластичної деформації при осьовому ущільненні. Найбільш інтенсивно порошок ущільнюється в області дна фільтра. Розподіл пористості по радіусу дна нерівномірний (рис.4, а). Зі збільшенням радіуса пористість зростає.

Ущільнення порошку в області стінки відбувається в меншому ступені. У внутрішній поверхні стінки пористість нижче, а у зовнішній - вище. Величина накопиченої пластичної деформації вище в області внутрішньої поверхні стінки.

Таким чином, як при радіальному, так і при осьовому ущільненні порошку розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації нерівномірний. У першому випадку менш інтенсивно ущільнюється дно, а в другому - стінка фільтра.

У зв'язку з цим була розглянута схема ущільнення, при якій порошок спочатку ущільнювали в радіальному, а потім в осьовому напрямку. Результати моделювання представлені на рис.5.

На першому етапі більш інтенсивно ущільнюється стінка, а на другому етапі - дно фільтруючого елемента. В результаті величини пористості та накопиченої пластичної деформації розподілені більш рівномірно.

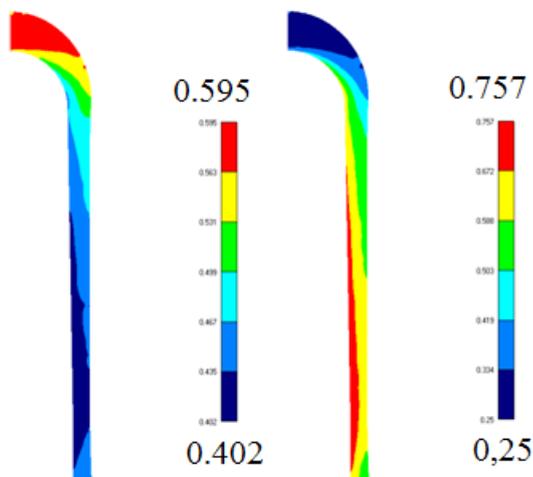


Рис. 3. Розподіл пористості (а) та величини накопиченої пластичної деформації (б) при радіальному ущільненні

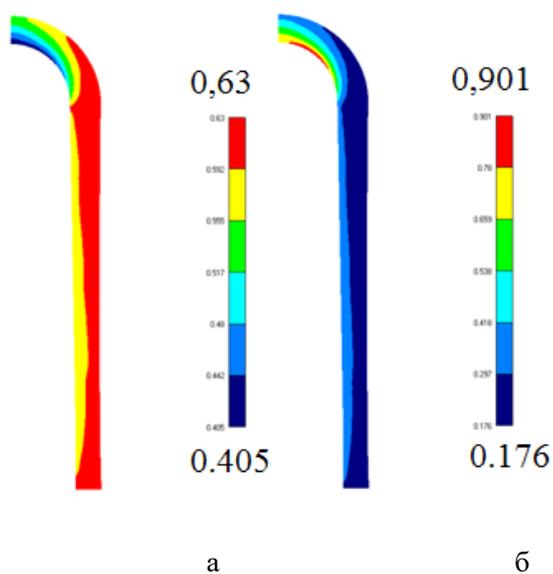


Рис. 4. Розподіл пористості (а) та величини накопиченої пластичної деформації (б) при осьовому ущільненні

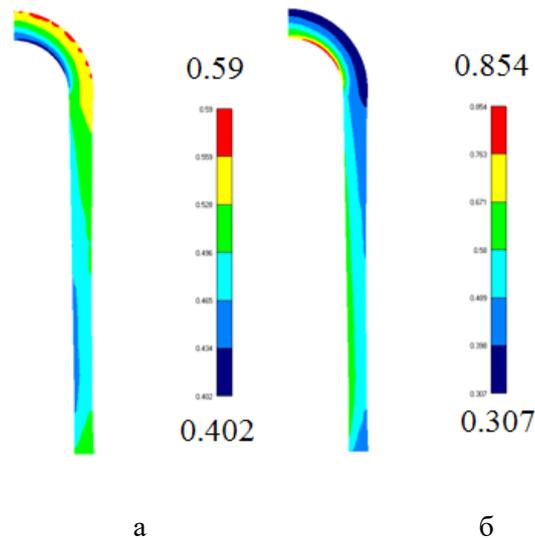


Рис. 5. Розподіл пористості (а) та величини накопиченої пластичної деформації (б) при радіальному та осьовому ущільненні

**Висновки.** При радіально-ізостатичному пресуванні порошкового фільтруючого елемента у вигляді колби розподіл величин пористості та накопиченої пластичної деформації за об'ємом виробу нерівномірний і залежить від схеми ущільнення.

При радіальному застосуванні навантаження відбувається більш інтенсивне ущільнення матеріалу в області стінки фільтра. Дно фільтра ущільнюється меншою мірою.

У разі застосування схеми осьового ущільнення спостерігається більш інтенсивне ущільнення дна фільтра. Стінка фільтра при цьому також ущільнюється, але менш інтенсивно.

Застосування схеми, при якій порошок спочатку ущільнюється в радіальному, а потім в осьовому напрямку, дозволяє отримати більш рівномірний розподіл пористості та накопиченої пластичної деформації.

Зі збільшенням радіуса величина пористості стінки і дна фільтра зростає, а величина накопиченої пластичної деформації зменшується.

#### Список бібліографічних посилань

1. Пористые проницаемые материалы: справочник / [ред. Белов С.В., Витязь П.А., Шелег В.К. и др.] / – М.: Металлургия, 1987. – 332 с.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении [2-е изд., перераб. и доп.] / Белов С.В. / – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
3. Витязь П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / Витязь П.А., Капцевич В.М., Шелег В.К. – Минск.: Вышэйшая школа, 1987. – 161 с.
4. Технології, структура, властивості пористих проникних матеріалів: / Монографія. / Рудь В. Д., Повстяной О. Ю., Заболотний О. В., Богінський Л. С. / Луцьк: РВВ ЛНТУ. – 2016. – 200с.
5. Заболотний О.В. Розвиток процесів ізостатичного пресування ущільнювальних порошкових середовищ / Заболотний О.В., Повстяной О.Ю., Рудь В.Д. // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2001. – Випуск 9. – С. 152-156
6. Повстяной О. Ю. Удосконалення технології виготовлення пористих порошкових матеріалів з використанням відходів промислового виробництва: дис. ... канд. техн. наук. – Луцьк, 2007. – 170 с.
7. Oleksandr Povstyanoy, Oleg Zabolotnyi, Victor Rud, Andriy Kuzmov, Halyna Herasymchuk: Modeling of processes for creation new porous permeable materials with adjustable properties. In: Ivanov V. et al. (eds.) Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE-2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 456-465. Springer, Cham (2019), doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\_46.
8. Повстяной О. Ю. Визначення розподілу густини пористого проникного циліндра за радіусом при радіально - ізостатичному пресуванні / О. Ю. Повстяной, В. Д. Рудь // Наукові нотатки. - 2016. - Вип. 54. - С. 246 – 252.
9. Мазюк В.В., Пилиневич Л.П., Рак А.Л. Влияние фактора формы частиц исходных порошков на регулярность пористой структуры ППМ // Порошковая металлургия. – Мн.: ИММС НАНБ, 1997. – Вып.20. – С. 46-48.
10. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: справочник / [ ред. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. и др.] – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
11. Штерн М. Б. Модифицированные модели формирования порошковых материалов на основе пластичных и труднодеформируемых порошков / О. В. Михайлов, М. Б. Штерн // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Машинобудування. – 2011. – № 62. – С. 13–19.
12. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 541 с.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-18

УДК 004.896

Самойленко Е.С., Проніна О.І.

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»

## МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

**Самойленко Е.С., Проніна О.І. Моделювання нечіткого виведення для перевірки якості програмного продукту.** У статті описані вимоги до перевірки якості програмного продукту перед передачею його в роботу. Представлені етапи побудови системи нечіткого виведення для визначення якості розроблюваного програмного продукту. Описана модель, вихідна лінгвістична змінна необхідна для побудови системи нечіткого виведення. Сформовано продукційні правила для системи нечіткого виведення. Проведено моделювання розробленої нечіткої моделі, показані результати моделювання нечіткого виведення в середовищі MatLabFuzzy.

**Ключові слова:** якість програмного продукту, тестування програмного продукту, нечітке моделювання, продукційні правила, система нечіткого виведення.

**Самойленко Э.С., Пронина О.И. Моделирование нечеткого вывода для проверки качества программного продукта.** В статье описаны требования к проверке качества программного продукта перед передачей его в работу. Представлены этапы построения системы нечеткого вывода для определения качества разрабатываемого программного продукта. Описана модель, выходная лингвистическая переменная необходимая для построения системы нечеткого вывода. Сформированы продукционные правила для системы нечеткого вывода. Проведено моделирование разработанной нечеткой модели, показаны результаты моделирования нечеткого вывода в среде MatLab Fuzzy.

**Ключевые слова:** качество программного продукта, тестирование программного продукта, нечеткое моделирование, продукционные правила, система нечеткого вывода.

**Samoilenko E.S., Pronina O.I. Modeling fuzzy inference for checking the quality of a software product.** The article describes the requirements for checking the quality of a software product before transferring it to work. The stages of building a fuzzy inference system for determining the quality of a software product being developed are presented. A model is described, the output linguistic variable necessary for constructing a fuzzy inference system. Production rules for the fuzzy inference system are generated. The developed fuzzy model is simulated, the results of fuzzy inference modeling in the MatLab Fuzzy environment are shown.

**Keywords:** soft ware product quality, software testing, fuzzy modeling, production rules, system of fuzzy inference.

**Вступ.** Процес розвитку сучасного інформаційного простору тягне за собою зростаючі потреби в системах автоматизації та інтелектуалізації. З причини стрімкого росту вимог до якості програмного продукту, виникають нові умови і вимоги до оптимізації та автоматизації процесу тестування програмних забезпечень. У нинішніх тенденціях розробки програмного забезпечення одна з найбільш популярних і виправданих моделей життєвого циклу є ітераційна. В її основу закладено послідовне виконання кожного етапу, один за іншим, від постановки завдання до експлуатації програмного забезпечення (рис. 1).

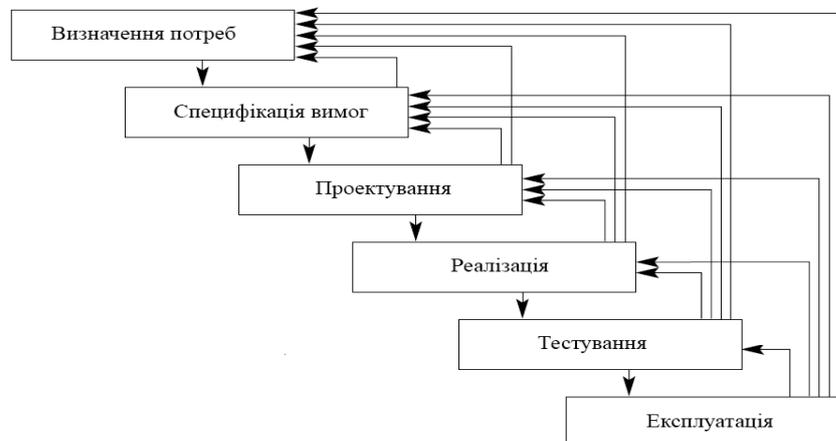


Рис. 1. Ітераційна модель життєвого циклу

Перевага такого підходу – послідовне виконання кожного етапу з фіксуванням кінцевого результату і оцінкою якості виконаної роботи, також, зниження ризиків при плануванні системи. Але,

серед вагомих недоліків, порушення цілісності розробки при зміні пройденого етапу в рамках однієї ітерації, що призводить до зміщення поточного етапу, часу виконання циклу і додаткових трудовитрат.

Щоб компенсувати втрати часу і трудовитрат, в реальних проектах, можуть внести корективи в якість продукту, що розробляється, створюючи свідомо погану логіку додатка в етапі реалізації з виправленням «на майбутнє» або скоротивши обсяг робіт на етапі тестування і налагодження за рахунок мінімізації процесу або пропустивши цей крок зовсім, що в корені неприйнятно. Процес тестування дозволяє з'ясувати відповідність між поставленим завданням і її реалізованим видом, а також зменшити число дефектів і поліпшити якість програмного забезпечення [1].

Тестування розділяється на велику кількість видів в різних напрямках, наприклад, за програмними цілями, з аналізу системи, по формальності та інше. В рамках розробки програмного забезпечення, використовується в повному обсязі види, основний, за ознакою поширеності, є тестування за метою, що включає в себе функціональне тестування (придатність, точність, взаємодія) і не функціональне (зручність, відмова і відновлення, конфігурація). На відміну від функціонального тестування, де виконується перевірка відповідності продукту, не функціональне розглядає продукт з точки зору виконуваного середовища і оточення.

Набір властивостей функціонального тестування формує якість програмного продукту і його готовність до етапу експлуатації. Відповідно до міжнародного стандарту [2], набір властивостей поділяється на:

- 1) Придатність (Suitability) - здатність програмного забезпечення до виконання своїх функціональних цілей.
- 2) Точність (Accuracy) – близькість дійсного результату до очікувану.
- 3) Здатність до взаємодії (Interoperability) – здатність програмного продукту виконувати набір функцій, визначених у його описі і відповідають указаним потребам користувачів.
- 4) Захищеність (Security) – стабільність роботи програмного забезпечення, прогнозування можливих помилок, дефектів і багів, відмов і помилкових ситуацій.
- 5) Відповідність (Functionality compliance) - здатність програмного забезпечення дотримуватися стандартів, угод або нормативних актів в законах і аналогічних приписах, що стосуються функціональності.

У [3], були внесені зміни в поточний набір функцій атрибутів і прибрав пункт Захищеність, що є неоднозначним рішенням, так як стабільність роботи програмного забезпечення залежить від багатьох чинників і має оцінюватися як окремий набір.

Проблема процесу тестування в сучасній розробці не нова і найбільш часто залежить від комерційного фактору, коли процес побудований на жорстких рамках виділеного часу на кожен етап ітераційної розробки. В рамках даної роботи, тестування розглядається не з економічного боку, а з боку процесу виконання, впливу чинників на кінцеву якість програмного забезпечення. З вище сказаного випливає, що проблема є актуальною і важливою в практичному застосуванні, цінність тестування полягає у виявленні проблем, що загрожують якості продукту. Більш докладний розбір даного етапу може бути корисний для оптимізації і зменшенні часу на виконання тестів, порівняльного аналізу

**Метою даної роботи** є моделювання нечіткої системи виведення для перевірки якості програмного продукту, що розробляється на основі виявлених основних критеріїв при тестуванні, а саме функціональна придатність, точність, здатність до взаємодії, відповідність, захищеність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з дослідженнями Майкла Болтона (Michael Bolton), дослідник і засновник компанії Develop Sense [4], основна проблема тестування полягає в аналізі кінцевих результатом тестування, в їх обробці для прийняття рішень про готовність продукту, при цьому сама послідовність дій для їх отримання не важлива. В роботі [5] автор зазначає, що у процесі розробки програмного забезпечення його якість і надійність можуть змінюватися та аналізувати ці дані необхідно за кількома аналітиками та тестування в даному випадку виступає як техніка контролю якості, що перевіряє відповідність між реальною та очікуваною поведінкою, саме техніка.

В роботі [6] на підставі аналізу структури традиційного звіту про дефекти програмних продуктів, виявлених при тестуванні, створена модифікована структура звіту. Тестування проводиться по BDD, TDD модулю, за умови що спочатку йде написання тестів, а лише потім основного функціоналу. Автор зазначає в своїй роботі важливість етапу тестування, оскільки результати тестування на пряму зв'язані з якість програмного продукту. Джеррі Вайнберг у своїй книзі [7], відзначає, що те, що ми отримуємо в якості результату – це перш за все інформація і не можна залишати поза оцінки потенційно значущі спостереження.

В роботі [8] авторами розглянуто процес тестування програмного забезпечення з боку повторення на принципі ітераційного циклу. На кожному кроці виконується повторення, щоб знайти нові помилки, які виявляються і виправляються, при цьому вони не були знайдені раніше. Окрім цього відбувається прогнозування часу виконання, а також прогнозування затрати на процес тестування, враховуючи його циклічну повторюваність. Автори в роботі [9] розглядають тестування не як глобальний процес, а як надійність, стабільність роботи і прогнозування помилки, це все аналізується по модулях: щільність помилок, часу на виконання і інших. Для цього було розроблено нову математичну модель надійності програмного забезпечення з динамічним показником величини програмного проекту. Окрім цього в роботі наводиться порівняльний аналіз існуючих та розробленої моделей на реальних тестових прикладах.

Припустимо, результат може спотворюватися від людського фактора і тестування одного і того ж може бути представлено з різними похибками: неуважність тестувальника, його завантаженість в проєкті, рутинне виконання однакових операцій. Зменшення впливу людського фактора дасть більш достовірні дані про пройдений етап тестування, а систематизація показників і побудови кінцевої оцінки на основі цих даних дозволить зменшити похибку і прискорити прийняття рішення.

Етап Тестування в ітераційній моделі життєвого циклу може бути представлений як оцінка відповідностей, відповідно до стандарту [3]. А кінцева оцінка, виходячи з оцінки критеріїв, буде узагальнювати отримані результати і представлена як Ступінь впевненості в якості програмного продукту.

Оцінити множину факторів можна за допомогою нечіткої логіки. Оцінкою параметрів буде ступінь впевненості в якості програмного продукту, тобто оцінка може бути частково правдива і частково помилкова. Побудови моделі виконується за допомогою математичних виразів. Де, збільшення числа змінних (атрибутів) і параметрів пропорційно впливає на складність системи [10].

На підставі обраних параметрів, що впливають на якість програмного продукту була побудована нечітка модель, представлена у вигляді(1).

$$L = \langle \{V\}_{i=1}^5; \{R\}_{k=1}^{95}; \{W\}_{j=1}^1 \rangle, \quad (1)$$

де  $\{V\}$  – множина вхідних змінних,  $\{V\}_{i=1}^5 = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5\}$ ;

$\{R\}$  – множина правил  $\{R\}_{k=1}^{95} = \{R_1, R_2, \dots, R_{95}\}$ ;

$\{W\}$  – множина вихідних змінних  $\{W\}_{j=1}^1 = \{\omega_1\}$ .

Кожне правило  $R_i$  представлено у вигляді нечіткої продукції виду (2).

$$\text{ПРАВИЛО} \langle \# \rangle: \text{ЯКЩО} \beta_1 \in \alpha_1 \text{ "ТА"} \beta_2 \in \alpha_2 \text{ "ТА"} \dots \beta_m \in \alpha_m \text{ "ТО"} \omega_1 \in \gamma_1 \text{ "ТА"} \dots \omega_s \in \gamma_s \quad (2)$$

Аналізуючи предметну область було побудовано 95 продукційних правил, така кількість обумовлено специфікою предметної області і виключає взаємовиключні правила.

У якості схеми нечіткого висновку пропонується використовувати алгоритм Мамдані [10]: метод активації – min-активація, у всіх правилах у якості логічної зв'язки для умов застосовується нечітка кон'юнкція, в якості метода агрегування використовується min-кон'юнкція, для акумуляції висновків правил – метод max-диз'юнкції, метод деффазіфікації – метод центру тяжіння.

Для побудованої нечіткої моделі доречні функції приналежності сигмоїдної, на крайніх значеннях і дзвін для значень між. Обрані дані функції, так як вони нелінійні і не мають різких перепадів, що підходить для вхідних значень. У якість параметрів, що впливають на якість програмного продукту відповідно до стандарту [3], були обрані основні критерії оцінки тестування і шкала оцінок:

- «придатність» діапазон універсуму [0; 100];
- «точність» діапазон універсуму [0; 10];
- «взаємодія» діапазон універсуму [0; 100];
- «захищеність» діапазон універсуму [0; 10];
- «відповідність» діапазон універсуму [0; 100].

Згідно особливостям предметної області ключові параметри представлені у вигляді лінгвістичних змінних.

Вихідна лінгвістична змінна  $\omega_1$  визначається кортежем  $\langle \omega_1, T(\omega_1), X \rangle$ , де  $\omega_1$  = «ступінь впевненості в якості програмного продукту»,  $T(\omega_1) = \{DL, DA, DH\}$ ,  $X = [0; 1]$ . Дана змінна є вихідний в нечіткої моделі (1), формується на підставі 5 вхідних лінгвістичних змінних і відображає ступінь впевненості протестованого продукту в його якості, для подальшого переходу до експлуатації.

Критерії змінної представлені в таблиці 1. Параметри функцій належності були обрані емпіричним шляхом.

Таблиця 1. Параметри термів лінгвістичної змінної  $\omega_1$

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
DL	низька	сигмоїдна	-13,7	-	0,2394	[0; 0.35]
DA	середня	узагальнений дзвін	0,13	3,0	0,5081	[0,35; 0,7]
DH	висока	сигмоїдна	13,7	3,50	0,8	[0,7; 1]

### Моделювання нечіткої системи вибору оптимальної поїздки в середовищі Matlab.

Для перевірки розробленої нечіткої моделі було проведено моделювання, що дозволяє оцінити вплив вхідних лінгвістичних змінних на значення вихідної змінної і проводити аналіз залежностей. Побудови моделі нечіткої логіки було виконано за допомогою інструменту Matlab R2009b в пакеті Fuzzy Logic Toolbox. На рис.2 представлена структурна схема у вікні редактора системи нечіткого виведення.

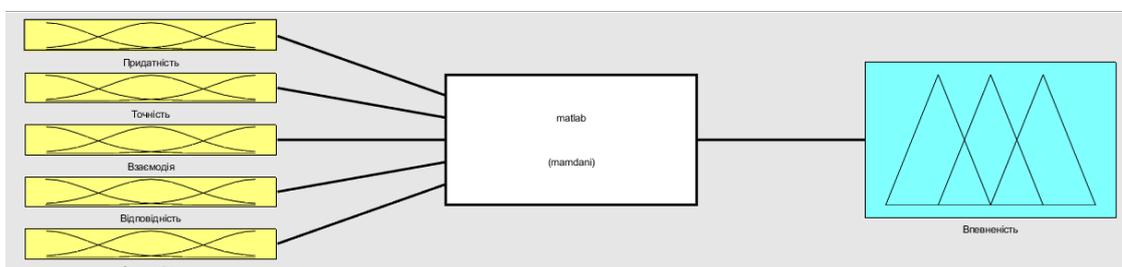
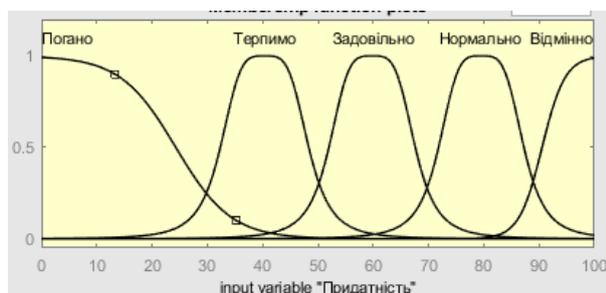
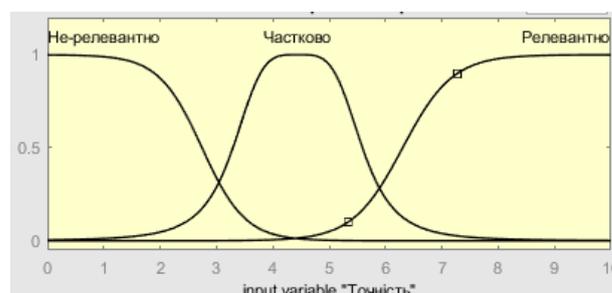


Рис. 2. Побудова системи у Matlab

При створенні моделі проходить кілька етапів, основні особливості яких наведено нижче. Після завдання лінгвістичних змінних на етапі фазифікації значення вхідних змінних приводиться до відповідного нечіткого значення. Лінгвістична оцінка значення для змінної «функціональна придатність», проводиться за допомогою 5 термів: («погано», «терпимо», «задовільно», «нормально», «відмінно») рис. 3а. Лінгвістична оцінка значення для змінної «точність», проводиться за допомогою 3 термів: («не релевантно», «частково», «релевантно»), рис. 3б.



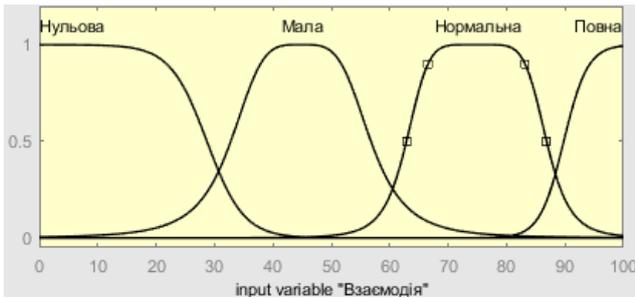
а) змінна функціональна придатність



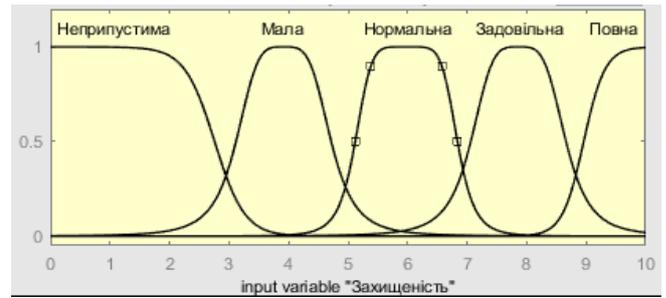
б) змінна точність

Рис. 3. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних сигналів

Лінгвістична оцінка значення для змінної «здатність до взаємодія», проводиться за допомогою 3 термів: («нульова», «мала», «нормальна», «повна») рис. 4а. Лінгвістична оцінка значення для змінної «захищеність», проводиться за допомогою 3 термів: («неприпустима», «мала», «нормальна», «задовільна», «повна»), рис. 4б.



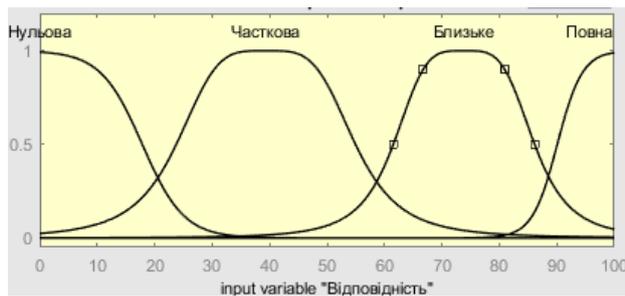
а) змінна здатність до взаємодії



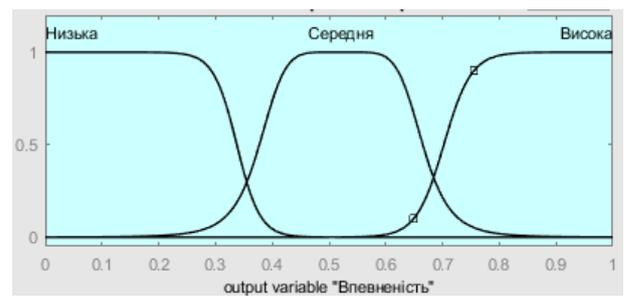
б) змінна захищеність

Рис. 4. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних сигналів

Лінгвістична оцінка значення для змінної «відповідність», проводиться за допомогою 3 термів: («нульова», «часткова», «близька», «повна»), рис. 5а. Лінгвістична оцінка значення для вихідної змінної «ступінь впевненості у якості програмного забезпечення», проводиться за допомогою 3 термів: («низька», «середня», «висока»), рис. 4б.



а) вхідні змінна відповідності



б) вихідна змінна ступінь впевненості

Рис. 5. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних і вихідних змінних

Далі відбувається завдання правил для системи нечіткого виведення. Всього було створено 95 правил, які повністю описують всілякі поєднання перебору вхідних даних і відповідних вихідних даних. Вид графічного інтерфейсу редактора правил після завдання всіх правил зображений на рис. 6.

1. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) and (Захищеність is Неприпустима) then (Впевненість is Низька) (1)
2. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) and (Захищеність is Нормальна) then (Впевненість is Низька) (1)
3. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) and (Захищеність is Повна) then (Впевненість is Низька) (1)
4. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) and (Захищеність is Мала) then (Впевненість is Низька) (1)
5. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) and (Захищеність is Задовільна) then (Впевненість is Низька) (1)
6. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Нульова) then (Впевненість is Низька) (1)
7. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Неприпустима) then (Впевненість is Низька) (1)
8. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Нормальна) then (Впевненість is Низька) (1)
9. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Повна) then (Впевненість is Низька) (1)
10. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Мала) then (Впевненість is Низька) (1)
11. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Задовільна) then (Впевненість is Низька) (1)
12. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нульова) and (Відповідність is Часткова) then (Впевненість is Низька) (1)
13. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нормальна) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Неприпустима) then (Впевненість is Низька) (1)
14. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нормальна) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Нормальна) then (Впевненість is Низька) (1)
15. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нормальна) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Повна) then (Впевненість is Середня) (1)
16. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нормальна) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Мала) then (Впевненість is Низька) (1)
17. If (Придатність is Терпимо) and (Точність is Не-релевантно) and (Взаємодія is Нормальна) and (Відповідність is Часткова) and (Захищеність is Задовільна) then (Впевненість is Низька) (1)

Рис. 6. Правила залежностей вихідної змінної від вхідних

На основі цих даних, можна побудувати правила залежностей вихідної змінної від вхідних та виконати оцінку побудованої системи нечіткого виведення для задачі визначення ступеня впевненості у якості програмного забезпечення. Для цього відкриємо вікно перегляду (рис. 7) і введемо значення вхідних змінних для окремого випадку: «функціональна придатність» – 41, «точність» – 4,17, «здатність до взаємодія» – 77,8, «відповідність» – 47, «захищеність» – 3,65. Процедура нечіткого виведення, реалізована в системі MatLab Fuzzy для розробленої нечіткої моделі, видає результат 0,334, що інтерпретується в якість програмного продукту - «Ступінь впевненості у якості програмного продукту», терм «низька» тим самим підтверджує її адекватність, в рамках даної моделі.

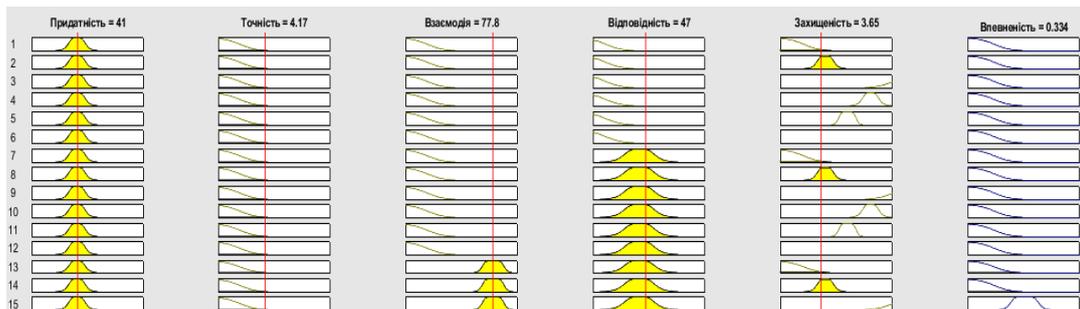


Рис. 7. Інтерфейс перегляду правил системи нечіткого виводу

Процес дослідження і аналізу розробленої нечіткої моделі складається з тестового виконання нечітких висновків для різних значень вхідних змінних і оцінки отриманих результатів з метою внесення необхідних коригувань у разі неузгодженості окремих результатів. Окрім цього на етапі моделювання можна встановити залежність значення вихідної змінної «ступінь впевненості у якості програмного забезпечення» від значень вхідних змінних «функціональна придатність», «точність», «здатність до взаємодія», «захищеність».

**Висновки.** Була розроблена нечітка модель визначення ступеня впевненості в якості програмного продукту, що розробляється. Дана модель була змодельована за допомогою Matlab в пакета Fuzzy, на основі системи нечіткої логіки, яка дає можливість аналізувати вплив вхідних параметрів на вихідний. В рамках сфери застосування, можна уявити етап тестування, як набір вхідних лінгвістичних змінних, саме функціональна придатність, точність, здатність до взаємодії, відповідність, захищеність, де від оцінки кожної змінної залежить ступінь впевненості в якості програмного продукту. Розроблена нечітка модель застосовувалася для моделі ітераційного життєвого циклу програмного продукту. Даний підхід універсальний і може бути застосований для моделей іншої категорії, наприклад, каскадної за рахунок більш м'якого повторення етапу тестування.

Дані знання та модель можна застосувати в області автоматизації процесу тестування. Такий підхід збільшить в рази швидкість проходження даного етапу, зменшить вплив людського чиннику, мінімізує можливість помилки і оптимізує процес розробки.

### Список бібліографічних посилань

1. Програмна інженерія. Підручник для ядра знань програмної інженерії (ISO 19759: 2016, IDT) : ДСТУ ISO 19759: 2016. – [Чинний від 2016–10–07]. Київ: Держ. стандарт України, 2016. – 336 с. (Національний стандарт України).
2. Програмна інженерія. Якість продукту. Внутрішні метрики (ISO9126:2012, IDT) : ДСТУ ISO9126:2012. – [Чинний від 2012–11–28]. Київ : Держ. стандарт України, 2012. – 46 с. (Національний стандарт України).
3. Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (ISO 25010:2016, IDT) : ДСТУ ISO 25010:2016. – [Чинний від 2016–12–27]. – Київ : Держ. Стандарт України, 2016. – 36 с. (Національний стандарт України).
4. Heusser M. How to Reduce the Cost of Software Testing / Matthew Heusser, Govind Kulkarni – United States of America, 2011. – 340 p.
5. Трофімук А. В. Оцінка якості програмного забезпечення за показниками надійності / А. В. Трофімук; наук. кер. С. С. Федін // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ). - Київ : КНУТД, 2018. – Т. 2 : Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. – С. 369 – 370.
6. Щербаков О. В. Оцінка ефективності тестування програмного забезпечення на основі аналізу кількості та критичності знайдених дефектів / О.В. Щербаков, Є.С. Луценко - Системи обробки інформації, 2011, випуск 3 (93). – С. 88 – 92.
7. Weinberg G. Perfect Software And Other Illusions about Testing / Gerald Weinberg – United States of America, 2011. – 200 p.
8. Дубовой В.М. Моделювання процесу тестування програмного забезпечення як розгалуженоциклічного технологічного процесу / В. М Дубовой, І. В. Пилипенко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів, 2015. – № 7 (4). – С. 55 – 64.
9. Критерій достатності процесу тестування програмного забезпечення / В. Яковина, М. Сенів, Я. Чабанюк, Д. Федасюк, У. Хімка // Комп'ютерні науки та інформаційні технології : [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю.М. Рашкевич. – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2010. – С. 346 – 358.
10. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А. В. Леоненков – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-19

УДК 602.1:519.85:53.082.9:616-07

<sup>1</sup>Сверстюк А.С., <sup>1</sup>Багрій-Заяць О.А., <sup>1</sup>Горкуненко А.Б., <sup>1</sup>Майхрук З.В., <sup>2</sup>Гайда В.Я.

<sup>1</sup> Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського,

<sup>2</sup> Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної освіти

## КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ

Сверстюк А.С., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б., Майхрук З.В., Гайда В.Я. Кіберфізичні системи для визначення рівня глюкози. У роботі розглянуто фотометричні, біосенсорні, електрохімічні глюкометри. Окремо наведено інсулінову помпу, як метод вимірювання рівня глюкози з можливістю дозованого введення необхідного інсуліну. Наведено схематичне зображення біосенсора ока людини, в який інтегровані аналого-цифровий перетворювач, що перетворює електрохімічні сигнали в цифрові дані, та передавач, який може передавати дані по безпроводній мережі на мобільні пристрої. Запропоновано підхід до розробки кіберфізичної біосенсорної системи для вимірювання рівня глюкози. Наведено функціональну схему кіберфізичної системи для визначення рівня глюкози. В якості результатів чисельного моделювання представлено флуоресцюючі пікселі для проміжного оцінювання рівня глюкози.

**Ключові слова:** кіберфізична система, біосенсор, глюкометри, електронні системи охорони здоров'я

Сверстюк А.С., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б., Майхрук З.В., Гайда В.Я. Киберфизические системы для определения уровня глюкозы. В работе рассмотрены фотометрические, биосенсорные, электрохимические глюкометры. Отдельно приведены инсулиновую помпу, как метод измерения уровня глюкозы с возможностью дозированного введения необходимого инсулина. Приведенное схематическое изображение биосенсора глаза человека, в который интегрированы аналого-цифровой преобразователь, преобразующий электрохимические сигналы в цифровые данные, и передатчик, который может передавать данные по беспроводной сети на мобильные устройства. Предложен подход к разработке киберфизической биосенсорной системы для измерения уровня глюкозы. Приведенная функциональная схема киберфизической системы для определения уровня глюкозы. В качестве результатов численного моделирования представлены флуоресцирующие пиксели для промежуточного оценивания уровня глюкозы.

**Ключевые слова:** киберфизическая система, биосенсор, глюкометры, электронные системы здравоохранения

Sverstiuk A.S., Bagriy-Zayats O.A., Horkunenko A.B., Mayhruk Z.V., Gaida V.Ya. Cyber-physical systems for glucose determination. Photometric, biosensor, electrochemical glucometers are considered in the work. A separate insulin pump is provided as a method of measuring glucose levels with the ability to dose the required insulin. A schematic illustration of a human eye biosensor incorporating an analog-to-digital converter that converts electrochemical signals into digital data, and a transmitter that can transmit data wirelessly to mobile devices. An approach to the development of a cyber-physical biosensor system for measuring glucose levels is proposed. The functional scheme of the cyber-physical system for determination of glucose level is presented. As the results of the numerical simulation, fluorescing pixels are presented for intermediate estimation of glucose level.

**Keywords:** cyber-physical system, biosensor, glucometers, electronic health systems

**Вступ.** Сьогодні активно розвивається концепція створення кіберфізичних систем (КФС) для різноманітних сфер людської діяльності. КФС розглядаються як інтелектуальні системи, в яких інтегровано фізичні об'єкти, зовнішні пристрої, процесори, мережеве обладнання. Основна мета створення КФС – контроль за поведінкою фізичних об'єктів як компонентів таких систем у реальному часі. Це системи, в яких відбувається взаємодія кібернетичних засобів (вимірювальних, обчислювальних, комунікаційних, керуючих, виконавчих) з фізичними процесами у довільних об'єктах [1, 2]. Перспективним є поширення концепції КФС на біомедичну галузь. У таких КФС фізичні об'єкти – це біооб'єкти (БО): від найпростіших до людини включно. Моніторинг поведінки БО кібернетичними методами, автоматичне отримання їх параметрів і характеристик у реальному часі забезпечують надійну взаємодію з БО, а специфіка використання та фізичні особливості БО визначають особливості проектування та розроблення відповідних КФС.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні біосенсори активно застосовуються у багатьох сферах людської діяльності. Перш за все, це медична діагностика, зокрема лабораторний аналіз, контроль інтенсивної терапії, а також проведення аналізів у домашніх умовах. Іншою великою галуззю застосування біосенсорів є моніторинг довкілля, а саме контроль води, повітря щодо наявності токсичних хімічних сполук [3]. Широко застосовуються такі пристрої у біотехнології, зокрема у контролі процесів ферментації [4]. У харчовій промисловості біосенсори застосовуються як у контролі самого виробництва, так і у контролі якості та свіжості продукції [5]. Крім того, біосенсори використовуються у системах безпеки (для виявлення наркотиків та вибухових речовин), а також у криміналістиці [6].

Сенсори медичного призначення становлять найбільшу частину ринку біосенсорів. Окрім глюкози медичні біосенсори використовуються для визначення інших метаболітів для діагностики різноманітних порушень обміну речовин, до яких окрім цукрового діабету належать подагра, підвищений вміст холестерину у крові та ін. Такі сенсори створено для визначення сечовини [7],

сечової кислоти [8], лактату [9.], креатиніну [10], гормонів [11] та інших речовин. Створено також сенсори для діагностики інфекційних захворювань. Біосенсори застосовуються для розв'язання як прикладних задач, так теоретичних проблем хімії білків та нуклеїнових кислот [12].

**Основна частина.** Батьком біосенсористики і автором першого у світі біосенсорного пристрою є професор біохімії Л. Кларк, який у 1956 році запропонував електрод для визначення кисню у біологічних зразках. Електрод мав просту конструкцію і складався з платиного та срібного дротів, занурених у трубку з рідким електролітом, які відділялися від аналізованого зразка газопроникною мембраною. У 1962 році Кларк вдосконалив запропонований ним раніше кисневий електрод, іммобілізувавши на його поверхні живу біологічну макромолекулу – фермент глюкозооксидазу. Відомо, що глюкозооксидаза каталізує реакцію окислення глюкози до глюконової кислоти, в результаті якої із середовища поглинається кисень і утворюється перекис водню. Цю реакцію можна контролювати за допомогою кисневого електроду. Сьогодні ці роботи вважаються початком всієї біосенсорної технології.

Перевагами ферментного електроду порівняно з класичними біохімічними методами вимірювання різноманітних метаболітів (зокрема кисню, глюкози та лактату) були швидкість аналізу, а також можливість проведення вимірювань у біологічних зразках без будь-яких попередніх маніпуляцій та оброблення аналізованого зразку. Л. Кларк відзначав не тільки простоту самої ідеї, а й простоту процесу конструювання створеного ним біосенсора. Для експериментів був потрібен лише розчин солі, срібний та платиновий дроти, впаєні у скляну трубку, джерело живлення, два резистори, целофанова плівка, гальванометр та фермент глюкозооксидаза [13].

Глюкометри допомагають контролювати важливі параметри і стежити за станом здоров'ям. Існує три типи глюкометрів: електрохімічні; біосенсорні; фотометричні. Всі вони інвазивних за принципом дії, тобто для визначення концентрації глюкози в крові необхідно проколоти шкіру.

**Фотометричні глюкометри** використовуються в якості портативних пристроїв для контролю рівня цукру в крові. Хоча ці моделі вже дещо застаріли, вони часто використовуються в якості лабораторного обладнання. Принцип їх роботи полягає у визначенні глікемії на основі зміни кольору тест-зони на тест-смужці під впливом глюкози. Результати аналізуються спеціальною оптичною системою, після чого виводяться на дисплей. На тубус з смужками також нанесена відповідна шкала, за допомогою якої можна візуально оцінити отримані дані. Перевагами фотометричних глюкометрів є компактність розміру корпусу, легкість і зручність користування. До недоліків слід віднести те, що оптична система приладу досить тендітна і вимагає догляду, кінцеві результати вимірювань неточні і залежать від навичок, регулярності та правильності догляду, впливу різних зовнішніх факторів (рівня освітлення, температури і т. п.).



Рис. 1. Глюкометр Accu-Chek Active

**Біосенсорні глюкометри** теж працюють з тест-смужками, але іншої якості і принципу дії. Крапелька крові наноситься на тест-смужку і автоматично всмоктується. Після чого відбувається складний хімічний процес і виробляється слабкий електричний імпульс, який реєструється пристроєм.

Переваги біосенсорних глюкометрів є більш точні результати в порівнянні з оптичними моделями (вплив зовнішніх факторів зведено до мінімуму); надійність; легкість використання;



Рис.2. Глюкометр Wellion Calla Light

У **електрохімічних глюкометрів** є два способи діагностики: амперометрія – визначає глікемію відповідно до величини струму, який виникає при реакції спеціальних компонентів тест-смужки з глюкозою; кулонометрія – заснована на підрахунку загального заряду електронів при аналогічному процесі.



Рис.3. Глюкометр Bionime Rightest GM550.

Стимулом до бурхливого розвитку біосенсорики були потреби медицини. Першим біосенсором був глюкозний біосенсор, створений для швидкого визначення рівня глюкози у крові в домашніх умовах у хворих на цукровий діабет, який є небезпечним через його ускладнення, що виникають при несвоєчасному корегуванні рівня глюкози у крові. До найбільш небезпечних ускладнень діабету належать порушення кровообігу, погіршення зору та гіперглікемічна кома. Зважаючи на це такі пацієнти потребують щоденного контролю та корегування рівня цукру у крові. Оскільки медицина є платоспроможним споживачем, уже через 14 років після створення Кларком лабораторного прототипу глюкозного біосенсору компанія Yellow Springs Instruments створила перший в світі комерційний глюкометр. Сьогодні глюкометри різних модифікацій випускаються великою кількістю фірм, є досить доступними і користуються великим попитом населення.

**Інсулінова помпа** – сучасний засіб введення інсуліну, який сприяє більш швидкій і кращій нормалізації цукру в крові та попереджає виникнення гіпоглікемій і ускладнень цукрового діабету (ЦД).

У комплект приладу входять:

1. Помпа – насос, призначений для подачі інсуліну.
2. Комп'ютер з вбудованою системою управління.
3. Картридж, що містить інсулін (змінний).
4. Інфузійний набір. Він складається з катетера для введення інсуліну та системи трубок, що з'єднують помпу і канюлю.
5. Батарейки.

Принцип роботи помпи (Рис.4) подібний до функції підшлункової залози, тому введення ліків відбувається в базальному і болусному режимі. Швидкість надходження базальної дози

програмується пристроєм і може змінюватися через півгодини. Наприклад, кожні 5 хвилин надходить 0,05 одиниць гормону (при швидкості 0,6 ОД/год).

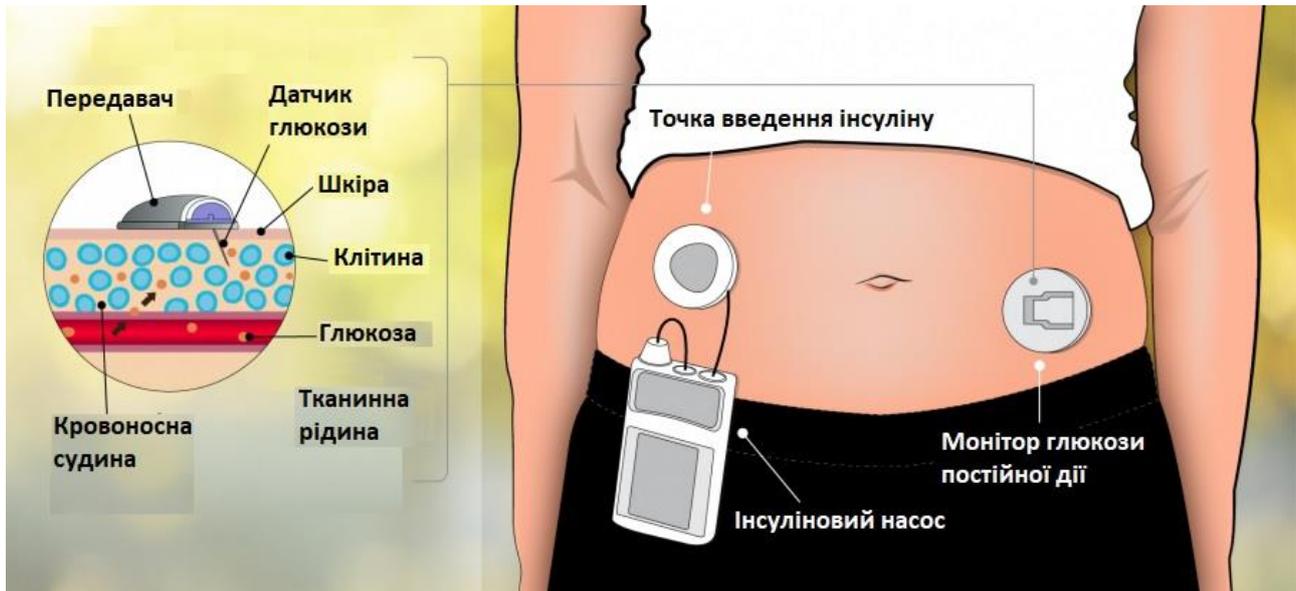


Рис.4. Принцип роботи інсулінової помпи

Подача ліків залежить від моделі приладу і здійснюється в невеликій кількості (доза становить від 0,025 до 0,1 ОД). Болюсна доза повинна вводитися пацієнтами вручну перед кожним перекусом. Крім того, прилади дають можливість встановити спеціальну програму, що забезпечує разове надходження певної кількості гормону, якщо значення цукру в цей момент перевищує норму.

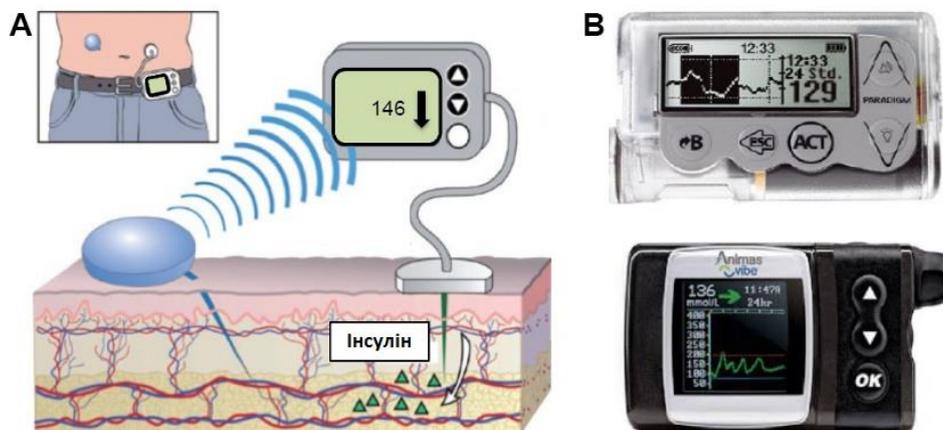


Рис.5. (А) Датчик глюкози (В) Пристрої для терапії інсуліновими насосами з датчиком.

На рис.5 (А) зображено датчик глюкози в реальному часі, який розміщують на поверхні шкіри з його наконечником, введеним в тканинну інтерстиціальну рідину, вимірює рівні глюкози. Значення глюкози передається на інсулінову помпу радіочастотою.

Замість аналізу проб крові, біосенсор здатен безперервно вимірювати рівень глюкози через аналіз таких рідин, як піт чи сльози. Один із таких сенсорів розробляється в інституті Фраунгофера (FraunhoferInstitut eforMicroelectronicCircuitsandSystems — IMS).

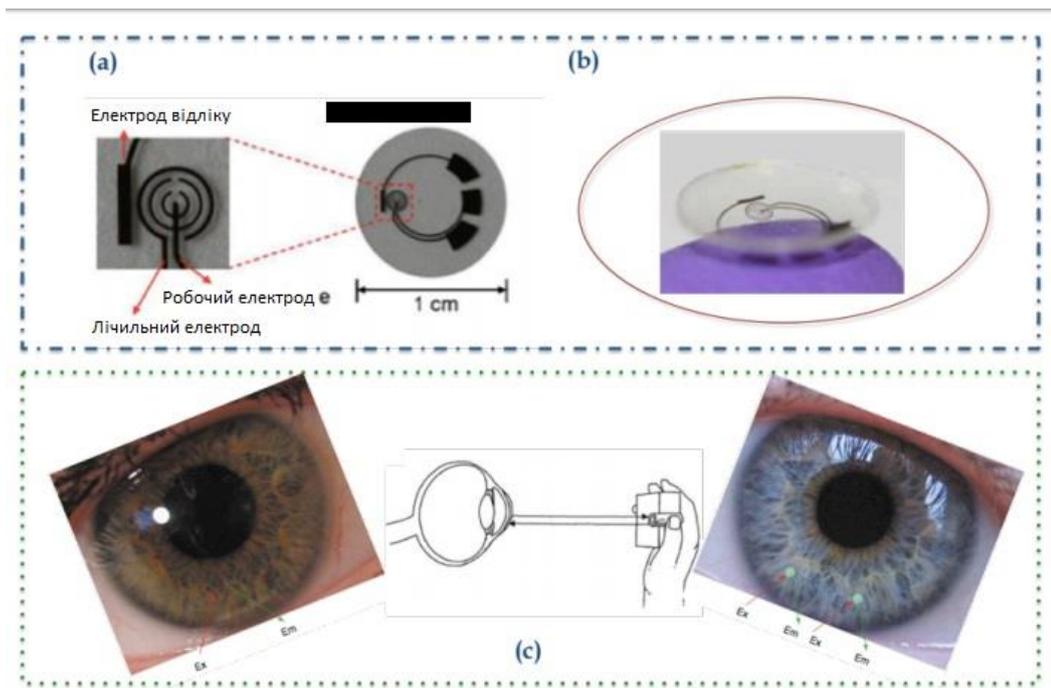


Рис. 6. Біосенсор ока людини [14]

В той час як сама ідея біосенсорів не нова, однак перші розробки таких пристроїв були дуже великими, неточними та споживали багато енергії. Новий біосенсор складається з чіпа, розмір якого становить 0.5 x 2 мм та яких споживає менше 100 мікроампер при п'яти вольтовому живленні. Чіп пристрою інтегрує нанопотенціометр, що вимірює концентрації перекису водню ( $H_2O_2$ ) та інших хімічних речовин, які виникають в наслідок електрохімічної реакції. Реакція виникає за допомогою ферменту — глюкозооксидази (GOx). Пристрій використовує концентрації цих хімічних речовин для розрахунку рівня глюкози пацієнта. Також в пристрій інтегровані аналого-цифровий перетворювач, що перетворює електрохімічні сигнали в цифрові дані, та передавач, які може передавати дані по безпроводній мережі на мобільні пристрої.

Інший біосенсор був розроблений датською компанією NovioSense [15]. Він встановлюється між повікою та оком та має технологію вимірювання схожу з вищеописаною. NovioSense BV складається з декількох провідників, що з'єднуються у формі пружини та утворюють мікроелектрохімічний осередок.

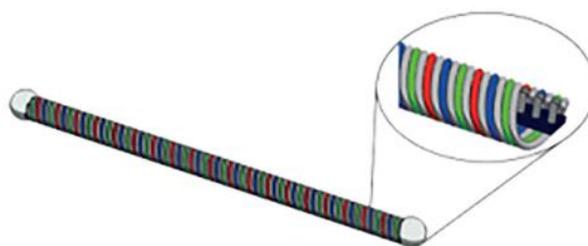


Рис. 7. Схема пристрою NovioSense BV.

Спіральна форма надає пристрою гнучкості та може відповідати певному контуру для моніторингу параметрів навколишнього середовища. Корпус нано-потенціометру виконаний у вигляді пустотілого осердя котушки та нано-чіпів в якості передавачів, які дають змогу передавати результати вимірювань на мобільні пристрої. Захисний шар біосенсора складається з гідрогелю, що утворює гладку поверхню, завдяки чому пристрій може бути використаний в якості зручного неінвазивного моніторингу.

**Функціональна схема кіберфізичної біосенсорної системи (КФБСС).** У роботі [16] запропоновано загальну структуру КФСС. При застосуванні цього підходу у випадку імуносенсорів

можна виокремити три види завдань: отримати загальну інформацію про імуносенсор; виміряти імунологічні показники з перетворенням одиниць та калібруванням; взаємодіяти з іншими імуносенсорами.

У роботах [17-20] проведено розробку та дослідження КФБСС.

В основі функціональної схеми КФБСС для вимірювання рівня глюкози (зовнішній прямокутник на рис. 1) покладено концепцію КФСС з врахуванням особливостей інтелектуальних біосенсорів.

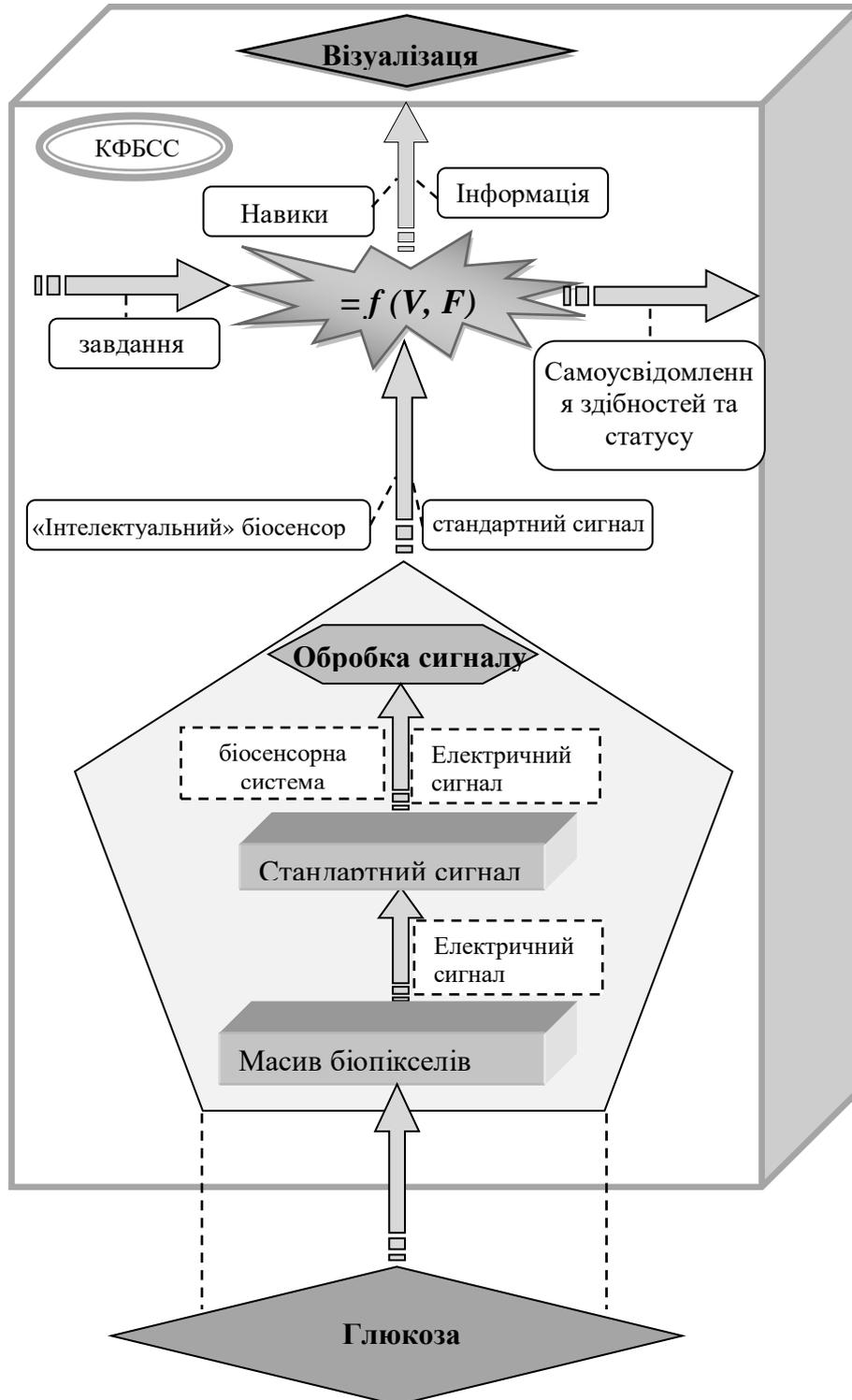


Рисунок 8. Функціональна схема КФБСС

З додатковими навиками (пунктирна лінія на рис. 8) імуносенсор розширюється до КФБСС.

На рис. 9 наведено результат чисельного моделювання КФБСС у вигляді вираженої біжучої хвилі флуорисценціюючих пікселів. Явище флуорисценції виникає в результаті вимірювання рівня ГЛЮКОЗИ.

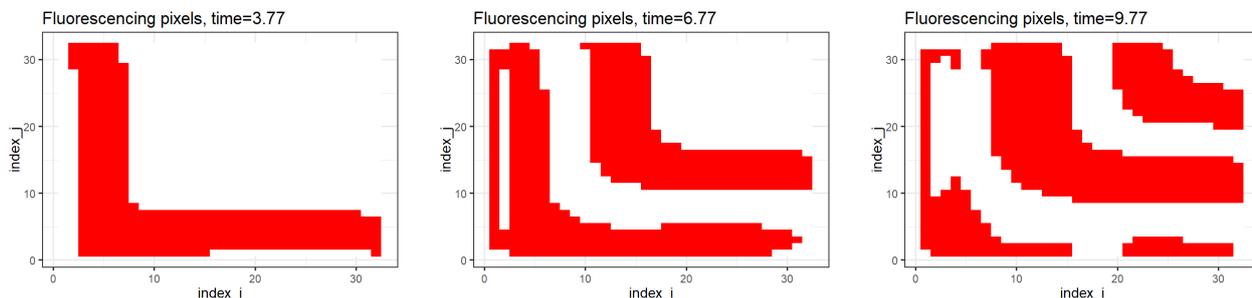


Рисунок 9. Зображення флуоресценції в КФБСС.

Для контролю та керування процесом вимірювання у КФБСС надзвичайно велике значення має результат комп'ютерного моделювання флуоресціюючих пікселів, що дає змогу оцінити їх кількість та, в кінцевому випадку, вимірюваний рівень глюкози.

**Висновки.** Біосенсорика є важливою галуззю сучасної аналітичної біотехнології, нагальна потреба у якій зумовлена необхідністю створення простих у застосуванні пристроїв для контролю стану здоров'я людини, а також контролю якості води, продуктів харчування, безпечності довкілля у режимі реального часу у домашніх чи польових умовах. Перспективним напрямком розвитку біосенсорики є створення високо стабільних сенсорних пристроїв на основі штучних аналогів біологічних рецепторів, що поєднують високу селективність при розпізнаванні різноманітних аналітів з високою стабільністю, властивою синтетичним матеріалам за жорстких умов зберігання та використання. В роботи запропоновано підхід до розробки КФБСС для вимірювання рівня глюкози. Наведено функціональну схему та результати чисельного моделювання флуоресціюючих пікселів для проміжного оцінювання рівня глюкози. Одним з найважливіших напрямків розвитку сучасної біосенсорики є неінвазивна діагностика, яка не передбачає пошкодження шкіри чи слизових оболонок при відборі проб для аналізу.

#### Список бібліографічних посилань.

1. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. Вісник Нац. ун-ту Львівська політехніка. 2014. № 806: Комп'ютерні системи та мережі. С. 154–161.
2. Anatoliy Melnik. Cyber-physical systems multilayer platform and research framework. Advances in cyber-physical systems. Volume1.Number1,2016, pp.1-6.
3. Nanomaterial-Based Biosensors for Environmental and Biological Monitoring of Organophosphorus Pesticides and Nerve Agents / W. Zhang, A. M. Asiri, D. Liu, et al. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2014. Vol. 54. P. 1–10.
4. Various Instrumental Approaches for Determination of Organic Acids in Wines / J. Zeravik, Z. Fohlerova, M. Milovanovic, et al. Food Chemistry. – 2016. Vol. 194. P. 432–440.
5. Arugula M. A. Biosensors for Detection of Genetically Modified Organisms in Food and Feed / M. A. Arugula, A. L. Simonian. Genetically Modified Organisms in Food. – 2016. – P. 97–110.
6. Biosensors in Forensic Analysis. A Review / P. Yáñez-Sedeño, L. Agüí, R. Villalonga, et al. Analytica Chimica Acta. – 2014. – Vol. 823. – P. 1–19.
7. Creatinine and Urea Biosensors Based on a Novel Ammonium Ion-Selective CopperPolyaniline Nano-Composite / M. Zhybak, V. Beni, M.Y. Vagin, et al. // Biosensors and Bioelectronics. – 2016. – Vol. 77. – P. 505–511.
8. Ghosh T. A Novel Third Generation Uric Acid Biosensor Using Uricase Electro-Activated with Ferrocene on a Nafion Coated Glassy Carbon Electrode / T. Ghosh, P. Sarkar, A. P. Turner. Bioelectrochemistry. – 2015. – Vol. 102. – P. 1–9.
9. Biosensors Based on Electrochemical Lactate Detection: A Comprehensive Review / K. Rathee, V. Dhull, R. Dhull, et al. // 69 ISSN 0374-3896 Наука та наукознавство, 2016, № 3 Biochemistry and Biophysics Reports. – 2016. – Vol. 5. –P. 35–54.
10. Application of Creatinine-Sensitive Biosensor for Hemodialysis Control / O. A. Zinchenko, S. V. Marchenko, T. A. Sergejeva, et al. Biosensors and Bioelectronics. 2012. Vol. 35. P. 466–469.
11. Bahadır E. B. Electrochemical Biosensors for Hormone Analyses / E. B. Bahadır, M. K. Sezginürk. Biosensors and Bioelectronics. – 2015. – Vol. 68. – P. 62–71.
12. Comparison of Biosensor Platforms in the Evaluation of High Affinity AntibodyAntigen Binding Kinetics / D. Yang, A. Singh, H. Wu, et al. Analytical Biochemistry. – 2016. –Vol. 508. – P. 78–96.
13. Clark Jr L.C. Electrode Systems for Continuous Monitoring in Cardiovascular Surgery / L. C. Clark Jr, C. Lyons. Annals of the New York Academy of Sciences. 1962. Vol. 102. P. 29–45.
14. Quick D. Non-invasivewaytomonitorbloodglucoselevelsusinglight. — Режим доступа: <http://www.gizmag.com/> — Дата доступу: 23.03.2016.

15. Wood C. Finalpieceofthediabetespuzzleopensthedoortobeterscreening. — Режим доступа: <http://www.gizmag.com/> — Дата доступа: 12.05.2016.
16. Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems [Text] / [C. Berger, A. Hees, S. Braunreuther, G. Reinhart] // Procedia CIRP. 2016. Vol. 41. P. 638-643
17. Martsenyuk V. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics / A. Sverstiuk . Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2019. – № 1. p.75-83.
18. Сверстюк А.С. Моделювання кібер-фізичної імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням / А.С. Сверстюк . Сенсорна електроніка та мікросистемні технології. 2019. – № 2. С. 53–65.
19. Сверстюк А.С. Про кібер-фізичну модель імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням різницевих рівнянь популяційної динаміки / А.С. Сверстюк . Вісник ТНТУ. 2018. – № 4. – С. 147-161.
20. Марценюк В.П. Про модель кібер-фізичної системи з атаками стану та вимірювань на основі стохастичних різницевих рівнянь / А.С. Сверстюк .Захист інформації. 2019. Том 21, № 1. с.5-12.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-21

УДК 681.125

О.М. Слабик аспірант, Ф.Д. Матіко д. т. н. доцент., Л.В. Лесовой д. т. н. доцент

Національний університет «Львівська політехніка»

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТАНДАРТНИХ ЗВУЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Слабик О. М., Матіко Ф. Д., Лесовой Л. В. Алгоритм визначення кількості теплової енергії для систем із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. В статті представлено результати аналізу існуючих структур систем вимірювання кількості теплової енергії та рівнянь обчислення кількості теплової енергії, які застосовують у цих системах. Авторами виділено комплекс для обчислення інтегральної кількості енергії між двома точками системи теплопостачання, який є складовою кожного з рівнянь, що застосовані у системах вимірювання кількості ТЕ. Розроблено алгоритм автоматизованого розрахунку кількості теплової енергії для систем із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв, який реалізує повну математичну модель витратоміра змінного перепаду тиску.

**Ключові слова:** кількість теплової енергії, витрата теплоносія, алгоритм розрахунку, системи обліку теплової енергії.

Слабык О. М., Матико Ф. Д., Лесовой Л. В. Алгоритм определения количества тепловой энергии для систем с применением стандартных сужающих устройств. В статье представлены результаты анализа существующих структур систем измерения количества тепловой энергии и уравнений вычисления количества тепловой энергии, применяемые в этих системах. Авторами выделено комплекс для вычисления интегрального количества энергии между двумя точками системы теплоснабжения, который является составной частью каждого из уравнений, применены в системах измерения количества ТЕ. Разработан алгоритм автоматизированного расчета количества тепловой энергии для систем с применением стандартных сужающих устройств, который реализует полную математическую модель расходомера переменного перепада давления.

**Ключевые слова:** количество тепловой энергии, расход теплоносителя, алгоритм расчета, системы учета тепловой энергии.

Slabyk O.M., Matiko F.D., Lesovoy L.V. Algorithm for determining the thermal energy amount for systems using standard pressure differential devices. The paper presents an analysis of the existing structures of thermal energy metering systems and the equations for calculating thermal energy amount used in these systems. The authors defined a complex for calculating the integral amount of energy between two points of heating system. This complex is a part of each equation used for the thermal energy metering systems. The algorithm is developed for automated calculating the thermal energy amount for systems based on standard pressure differential devices. It implements a complete mathematical model of a differential pressure flowmeter.

**Keywords:** thermal energy amount, heat carrier flowrate, calculating algorithm, thermal energy metering systems.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Як відомо, структура системи обліку теплової енергії, а також рівняння визначення кількості теплової енергії залежать від схеми теплопостачання [1]. За результатами проведеного аналізу існуючих систем теплопостачання, стану обліку кількості теплової енергії та нормативного забезпечення систем обліку теплової енергії [2-5] сформовано таку класифікацію систем теплопостачання:

- за потужністю джерела теплової енергії: централізовані; децентралізовані; автономні;
- за видом теплоносія: водяні; парові;
- за способом приєднання системи опалення до системи: залежні; незалежні;
- за способом приєднання системи гарячого водопостачання до системи теплопостачання: закриті; відкриті;
- за кількістю трубопроводів для перенесення теплоносія: однострубні; двотрубні; багатотрубні.

Розрахунок кількості теплової енергії виконують згідно «Правил обліку, відпуску і споживання теплової енергії» [3] та ДСТУ EN 1434-12006 Теплолічильники [5], які визначають основні технічні, організаційні і процедурні вимоги до здійснення обліку теплової енергії та теплоносія на джерелах теплопостачання та у споживачів теплової енергії. Проте зазначені документи не містять методики для розрахунку кількості теплової енергії в системах обліку з витратомірами змінного перепаду тиску.

**Мета даної роботи:** розроблення алгоритму визначення кількості теплової енергії із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв на основі проведеного аналізу існуючих методик розрахунку кількості теплової енергії.

Враховуючи вище наведене проаналізуємо детальніше облік теплової енергії для поширених схем теплопостачання (таблиця 1).

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.** Для закритих систем теплопостачання, при відсутності трубопроводу підживлення, для визначення кількості теплової

енергії ( $W$ ) застосовують рівняння (1) або (2). Якщо ж підживлювальний трубопровід наявний, то застосовують рівняння (3), (4).

Такі рівняння застосовують у випадку, коли відсутній відбір теплоносія із системи, тобто  $Q_1=Q_2$  [6]. За погодженням з енергопостачальною організацією один із витратомірів на подавальному або зворотному трубопроводах в закритій системі може бути відсутнім [6], незалежно від наявності чи відсутності в системі теплопостачання трубопроводу підживлення. В такому випадку для визначення кількості теплової енергії застосовують рівняння з переліку (1) – (4), відповідно до вимірюваних значень витрати.

Для визначення кількості теплової енергії у відкритих системах застосовують рівняння (5) [3]. Для реалізації цього рівняння необхідно вимірювати витрату теплоносія у подавальному трубопроводі  $Q_1$ , витрату теплоносія у зворотному трубопроводі  $Q_2$ , параметри теплоносія ( $T_1, P_1, T_2, P_2$ ) у подавальному та зворотному трубопроводах та параметри холодної води ( $T_{хв}, P_{хв}$ ).

На джерелі кількість теплової енергії, відпущеної по кожному виводу теплової мережі, обчислюють згідно наступних формул:

- (6) – за наявності витратоміра на подавальному трубопроводі;
- (7) – за наявності витратоміра на зворотному трубопроводі;
- (8) – за наявності різної кількості подавальних і зворотних трубопроводів та застосуванні підживлення від різних джерел.

Таблиця 1. Рівняння розрахунку кількості теплової енергії для поширених схем теплопостачання

Схема	Вимірювання витрати теплоносія для розрахунку кількості ТЕ			Рівняння розрахунку кількості ТЕ
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_n$	
Закрита	+	-	-	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_1(h_1 - h_2)dt$ (1)
	-	+	-	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_2(h_1 - h_2)dt$ (2)
	+	-	+	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_1(h_1 - h_2)dt + \int_{t_0}^{t_k} Q_n(h_n - h_{хв})dt$ (3)
	-	+	+	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_2(h_1 - h_2)dt + \int_{t_0}^{t_k} Q_n(h_n - h_{хв})dt$ (4)
Відкрита	+	+	+	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_1(h_1 - h_{хв})dt + \int_{t_0}^{t_k} Q_2(h_2 - h_{хв})dt$ (5)
Джерело ТЕ	+	-	+	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_1(h_1 - h_2)dt + \int_{t_0}^{t_k} Q_n(h_2 - h_{хв})dt$ (6)
	-	+	+	$W = \int_{t_0}^{t_k} Q_2(h_1 - h_2)dt + \int_{t_0}^{t_k} Q_n(h_1 - h_{хв})dt$ (7)
	+	+	+	$W = \sum_{i=1}^a \int_{t_0}^{t_k} Q_{1i}h_{1i}dt - \sum_{j=1}^b \int_{t_0}^{t_k} Q_{2j}h_{2j}dt + \sum_{p=1}^m \int_{t_0}^{t_k} Q_{пп}h_{хвп}dt$ (8)

Як видно з таблиці 1, рівняння для обчислення кількості теплової енергії містять складові, які є результатом інтегрування добутку витрати теплоносія на різницю ентальпій потоку теплоносія у різних точках схеми тепlopостачання. Отже, основою алгоритму обчислення кількості теплової енергії для будь-якої структури системи вимірювання її витрати та кількості є алгоритм обчислення інтегральної кількості енергії між двома точками системи тепlopостачання, який реалізує рівняння:

$$W = \int_{t_0}^{t_k} q_w dt = \int_{t_0}^{t_k} Q_m (h_1 - h_2) dt \quad (9)$$

де  $q_w$  – потік теплової енергії  $Q_m$  – масова витрата теплоносія,  $Q_1 = Q_2 = Q_m$ ;  $h_1$  – питома ентальпія теплоносія в подавальному трубопроводі;  $h_2$  – питома ентальпія теплоносія в зворотному трубопроводі;  $t_0, t_k$  – час початку та кінця вимірювання.

Отже, згідно рівняння (9) для точного вимірювання кількості теплової енергії, яка переноситься потоком теплоносія, необхідно визначити витрату теплоносія  $Q_m$ , ентальпію теплоносія в подавальному трубопроводі  $h_1 = f(T_n, P_n)$  та ентальпію теплоносія в зворотному трубопроводі  $h_2 = f(T_{зв}, P_{зв})$ . Тому до складу системи вимірювання кількості теплової енергії повинен входити витратомір, вимірювальні перетворювачі тиску та температури теплоносія у подавальному трубопроводі ( $T_n, P_n$ ), вимірювальні перетворювачі тиску та температури теплоносія у зворотному трубопроводі ( $T_{зв}, P_{зв}$ ).

У багатьох системах обліку теплової енергії для вимірювання витрати теплоносія застосовують витратоміри змінного перепаду тиску зі стандартними звужувальними пристроями. Такі витратоміри реалізують рівняння [7]:

$$Q_m = 0,25\pi d_{20}^2 K_{cy}^2 C E K_{ш} K_{п} \varepsilon (2\Delta p \rho)^{0,5}, \quad (10)$$

де  $d_{20}$  – діаметр отвору ЗП за температури 20 °С;  $K_{cy}$  – коефіцієнт, який враховує зміну діаметра отвору ЗП, спричинену відхилами температури середовища від 20 °С;  $C$  – коефіцієнт витікання;  $E$  – коефіцієнт швидкості входження;  $K_{ш}$  – поправковий коефіцієнт, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу (ВТ);  $K_{п}$  – поправковий коефіцієнт, який враховує притуплення вхідного канта діафрагми;  $\varepsilon$  – коефіцієнт розширення;  $\Delta p$  – перепад тиску на ЗП;  $\rho$  – густина середовища.

Нами розроблено алгоритм (див. рисунок 2) розрахунку потоку теплової енергії  $q_w$  для системи, що реалізує рівняння (9) та у якій застосовано витратомір змінного перепаду тиску. У цьому алгоритмі реалізовано повну математичну модель витратоміра, зокрема, реалізовано ітераційний алгоритм розрахунку витрати теплоносія (див. рис.2).

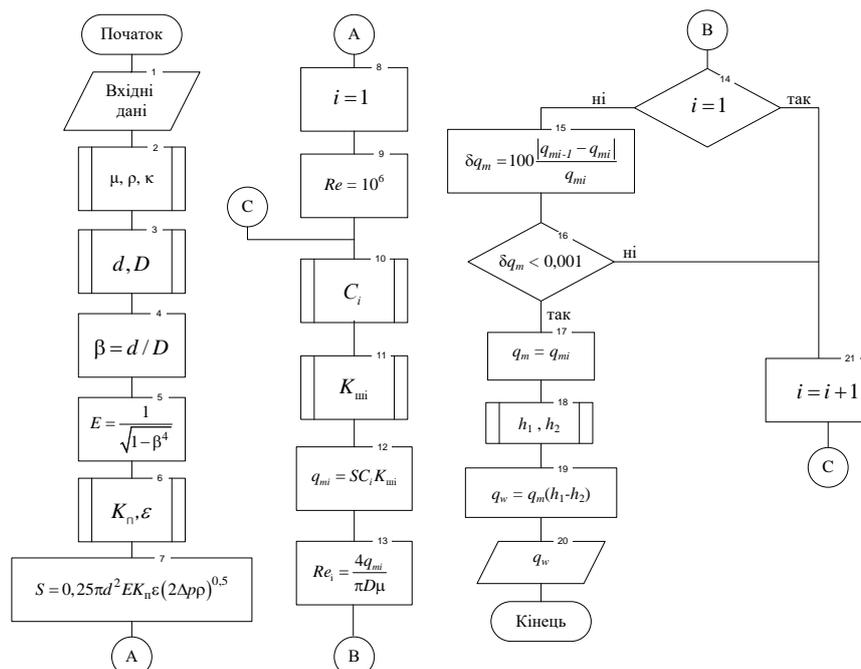


Рисунок 2. Блок-схема алгоритму розрахунку потоку теплової енергії за одиницю часу для системи на основі стандартного звужувального пристрою

В тілі ітераційного процесу виконується розрахунок тих коефіцієнтів та параметрів рівняння витрати (10), які залежать від витрати середовища, зокрема: коефіцієнта витікання  $C$ , поправкового коефіцієнта, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу  $K_{ш}$ , числа Рейнольдса  $Re$ . Розрахунок параметрів середовища: динамічної в'язкості  $\mu$ , густини  $\rho$ , показника адиабати  $\kappa$  (тільки для газоподібного середовища) [7] та ентальпій  $h_1, h_2$  згідно [8] доцільно виконувати поза ітераційним процесом. Наприкінці тіла ітераційного процесу обчислюється відносне відхилення  $\delta q_m$  поточного значення масової витрати середовища  $q_{mi}$  від попереднього  $q_{mi-1}$ . Вихід з циклу здійснюється за умовою порівняння відносного відхилення витрати  $\delta q_m$  із значенням допустимої похибки розрахунку витрати. Як видно з рис.2, допустиме значення відносної похибки обчислення витрати прийнято рівним 0,001%. Результатом виконання цього алгоритму є значення потоку теплової енергії за одиницю часу  $q_w$ .

Для обчислення кількості теплової енергії  $W$ , що спожита за певний інтервал часу, слід виконати інтегрування потоку теплової енергії за одиницю часу  $q_w$ . Оскільки в сучасних мікропроцесорних обчислювачах кількості теплової енергії період опитування вимірювальних перетворювачів (період квантування в часі) а також тривалість циклу розрахунку потоку теплової енергії  $q_w$  є достатньо малими, то для інтегрування застосовують прості методи, зокрема метод прямокутників. Цей метод інтегрування реалізовано за допомогою алгоритму, блок-схема якого зображена на рисунку 3. Інтегрування виконується на інтервалі часу від  $t_0$  до  $t_k$  з кроком  $\Delta t$ . Алгоритм передбачає введення значень параметрів теплоносія в точці 1 системи тепlopостачання (прямий трубопровід), а також в точці 2 (зворотний трубопровід) з кроком  $\Delta t$  (див. блок 3 на рис.3). Таке введення виконується шляхом опитування вимірювальних перетворювачів параметрів теплоносія. На основі введених значень параметрів теплоносія в тілі ітераційного процесу виконується обчислення масової витрати за алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис.2 (блок 4), ентальпії теплоносія в точці 1 (блок 5) та ентальпії теплоносія в точці 2 (блок 6) згідно з [8]. Розрахунок кількості теплової енергії між двома точками системи тепlopостачання у певний момент часу здійснюється за формулою (9), (блок 7).

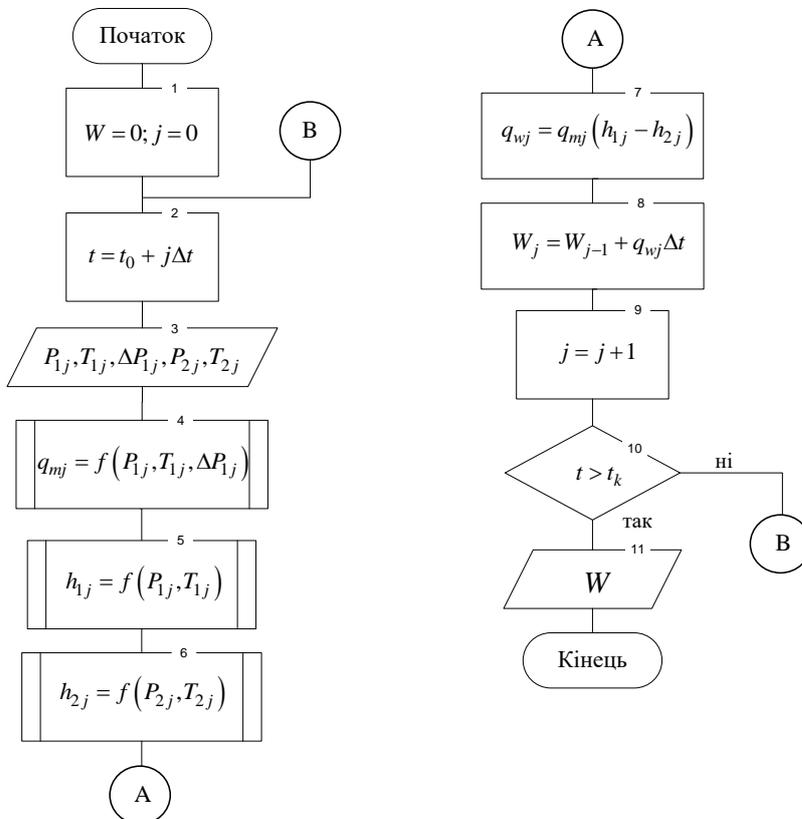


Рисунок 3. Блок-схема алгоритму обчислення кількості теплової енергії

Наприкінці ітераційного процесу за методом прямокутників [9] обчислюється значення інтегральної кількості теплової енергії, використаної за певний інтервал часу (блок 8). Вихід з циклу здійснюється за умовою порівняння поточного значення часу  $t$  із значенням часу завершення розрахунку  $t_k$  (блок 10). Результатом виконання цього алгоритму є значення кількості теплової енергії використаної за визначений інтервал часу  $W$  (блок 11). Межі інтервалу обчислення кількості теплової енергії  $t_0$  та  $t_k$  можуть бути визначені межі контрактного інтервалу визначення кількості теплової енергії (час початку контрактної доби, час завершення контрактної доби).

Запропонований алгоритм планується ввести до системи автоматизованого розрахунку кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску, яку розробляють автори. Також цей алгоритм пропонується до застосування у обчислювачах теплової енергії, які є обов'язковим елементом теплових лічильників, що повинні бути встановлені у споживачів, приєднаних до системи централізованого теплопостачання [10] та на джерелах теплової енергії.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** В статті представлено результати аналізу поширених структур систем вимірювання кількості теплової енергії та рівнянь обчислення кількості теплової енергії, які застосовують у цих системах. Авторами розроблено алгоритм автоматизованого розрахунку кількості теплової енергії для систем із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв, який реалізує повну математичну модель витратоміра змінного перепаду тиску. Застосування розробленого алгоритму дає можливість підвищити точність вимірювання кількості теплової енергії.

#### Список бібліографічних посилань

1. Matiko F. D. Аналіз нормативного забезпечення систем вимірювання кількості теплової енергії. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. № 28(3). 105-110.
2. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. ДБН В.2.5-39:2008. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 56 с.
3. Правила обліку, відпуску і споживання теплової енергії. К. : Міністерство з питань житлово-комунального господарства України, 2009. 96 с. (Проект)
4. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя. М. : Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2014 г. 50 с.
5. Теплолічильники. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1434-1:1997, IDT) ДСТУ EN 1434-1:2006. [Чинний від 2007-10-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 138 с.
6. Автоматизированная система учета энергоресурсов: тепла, воды, газа и электроэнергии АСКУЭ «СПЕКТР» [Електронний ресурс] / Суглоб Михаил Петрович. Режим доступу до ресурсу: <http://www.askue-spektr.ru/>
7. ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань [Текст]. [Чинний від 01.04.2010]. К.: Держстандарт України, 2010. 198 с.
8. МИ 2412-97. ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя [Текст]. Введена в действие с 01.09.1997. М.: ВНИИМС, 1997. – 40 с.
9. Опалення, вентиляція та кондиціонування ДБН В.2.5-67:2013. К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 147 с.
10. Щедрина О.І. Алгоритмізація та програмування процедур обробки інформації: Навч. посібник / Щедрина О.І. К.: КНЕУ, 2001. 240с.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-22

УДК 004.6

О. М. Ткаченко, В. В. Козятник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ВЕБ-ОРІЄНТОВАНИЙ ГЕОПРОСТОРОВИЙ СЕРВІС РОЗКЛАДУ РУХУ РЕГІОНАЛЬНОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

**Ткаченко О. М., Козятник В. В. Веб-орієнтований геопросторовий сервіс розкладу руху регіонального громадського транспорту.** У статті запропоновано веб-орієнтований сервіс пошуку інформації про маршрути приміського громадського транспорту з використанням OpenStreetMap для Київського регіону.

**Ключові слова:** геопросторовий, веб, сервіс, регіональний, громадський, транспорт, розклад.

**Ткаченко А. Н., Козятник В. В. Веб-ориентированный геопространственный сервис расписания движения регионального общественного транспорта.** В статье предложен веб-ориентированный сервис поиска информации о маршрутах пригородного общественного транспорта с использованием OpenStreetMap для Киевского региона.

**Ключевые слова:** геопространственный, веб, сервис, региональный, общественный, транспорт, расписание.

**Oleksii M. Tkachenko, Vladyslav V. Koziatnyk. WEB-based geospatial service for regional public transportation schedule.** The article proposes a web-based service for searching information about suburban public transport routes using OpenStreetMap for the Kyiv region.

**Keywords:** geospatial, web, service, regional, public, transportation, schedule.

**Постановка проблеми.** Поширення протягом останніх майже 20 років швидкісних мереж обумовило нові можливості для передачі даних великого обсягу, зокрема, відео- та геопросторових даних. З моменту запуску сервіс Google Maps швидко став популярним і залишається таким і нині [1]. Паралельно з цим розвивались мобільні технології комунікацій, що у поєднанні з запуском мобільних мереж 3-го і 4-го поколінь та сучасних мобільних операційних систем зробило свого часу доступними картографічні сервіси буквально "в кишені" користувачів. Рис. 1 демонструє світову динаміку популярності запитів "google map" (верхній графік) і "smartphone" в пошуковій системі Google.

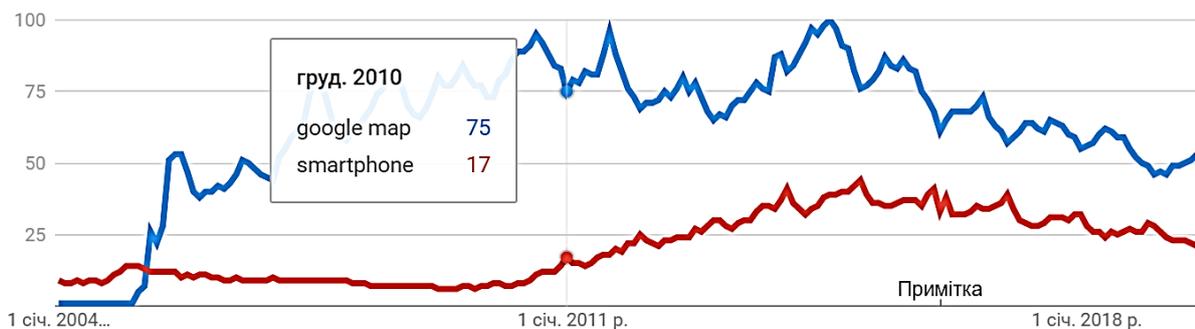


Рис. 1. Динаміка кількості запитів "google map" (верхній графік) і "smartphone" у світі з січня 2014 р. по липень 2019 р. Джерело: Google Trends, 04.07.2019.

Графік демонструє принаймні дві закономірності. Перша – зростання і стабільний запит на картографічні сервіси. Друга – співпадіння локального (грудневих, починаючи з 2010 р.) зниження попиту на "google map" і одночасно зростання попиту на "smartphone", що свідчить про зростання новорічних продажів смартфонів та нові мобільні можливості використання картографічних сервісів, доступні на нових смартфонах за замовченням або у репозиторії мобільних застосунків.

Однією з передумов популярності Google Maps та подібних систем є надання вендорами доступу розробникам до їх API, що відкриває можливості їх корпоративного використання та появи спеціалізованих геопросторових онлайн сервісів, завершених продуктів, зокрема, мобільних [2-3]. Серед спектру геопросторових задач однією з найбільш затребуваних є задача прокладання оптимального (за різними критеріями) маршруту на карті та отримання інформації про можливості руху до потрібної точки засобами громадського транспорту, зокрема, за межами крупних міст.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика автоматизації транспортної логістики має витoki ще з класичних задач лінійної алгебри, дискретної математики [4] тощо. Дослідження останніх років більше орієнтовані на вирішення практичних задач. Наприклад, ще у [5] запропоновано оптимізацію транспортної логістики для фіксованого графіку та з часовими вікнами. У [6-8] висвітлено основні проблеми і результати досліджень у сфері комп'ютеризації логістики громадського транспорту в різних країнах, у т. ч. можливості оптимального поєднання роботи масових перевезень муніципальним і приватним транспортом. У ряді публікацій [9] висвітлюються підходи до оптимізації з використанням технологій, які відносять до "Інтернету речей". Спектр досліджень також охоплює проблематику транспортної логістики у питаннях охорони здоров'я [10], екологічності перевезень [11], можливостей інтеграції в комплексні системи підтримки прийняття рішень у різних напрямках природокористування [12-14].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Якщо для крупних міст задачі маршрутизації на базі громадського транспорту загалом реалізовані, то для віддалених регіонів і навіть зон агломерації користувачам такі сервіси доступні не в повному обсязі. Наприклад, ряд зупинок у приміських населених пунктах не названі (назви замінені на "за вимогою" чи взагалі відсутні), немає внутрішніх маршрутів в межах та ін.

Крім того, сам монополіст Google у 2018 р. дещо ускладнив роботу розробникам, запровадивши нову цінову політику щодо використання Google Maps API. З огляду на це, актуальним залишається не тільки розробка сервісів маршрутизації на регіональному громадському транспорті, а й вибір функціональної і водночас доступної геопросторової платформи.

**Мето дослідження** є визначення прийнятих методів та інструментів, а також розробка веб-орієнтованого програмного сервісу (з оптимізацією роботи на мобільних пристроях), який надає користувачам, відповідно до їх запитів, зображення маршрутів на карті, деталізовані дані з інформацією про зупинки і місця пересадок, розклад руху та вартість на внутрішніх і зовнішніх маршрутах для невеликих поселень на прикладі м. Боярка Київської області.

**Виклад основного матеріалу.** До введення в дію нових білінгових правил Google було розроблено веб-орієнтовану систему для пошуку маршруту з деталізованою базою зупинок – як внутрішніх, так і зовнішніх маршрутів Києва і околиць. Сервіс виводить сформований маршрут на карті Google Maps, дозволяє розраховувати тривалість, ціну проїзду, а також виводити розклад відправлень громадського транспорту за певним маршрутом (рис. 2).

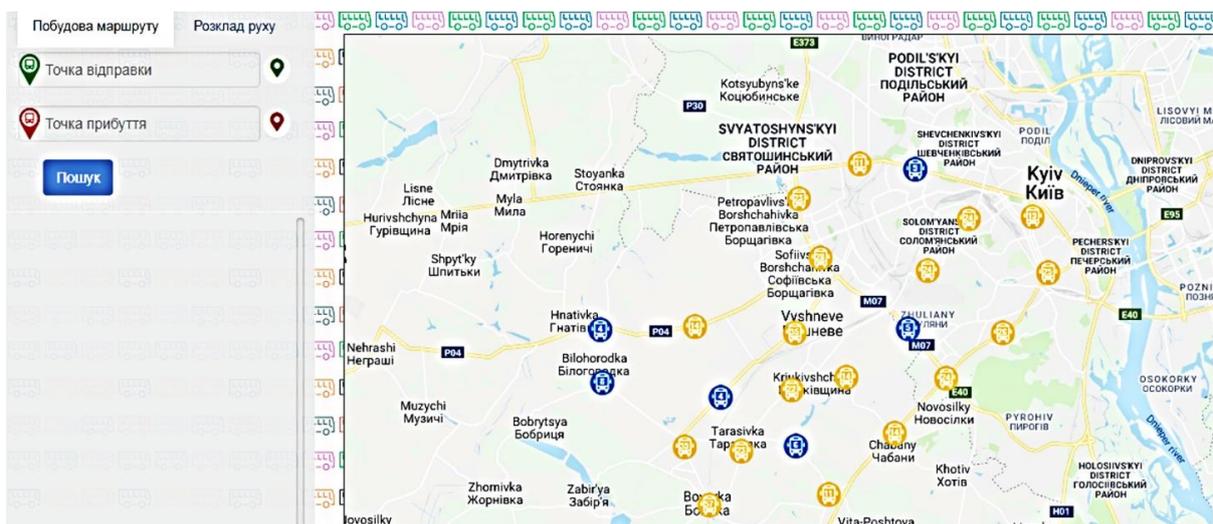


Рис. 2. Вікно програми розкладу громадського транспорту біля Києва на базі Google Maps

OpenStreetMap (OSM) – веб-орієнтований картографічний проект, який нині розвивається силами спільноти. Вибір цієї платформи, як альтернативи Google Maps, обумовлений хорошим поєднанням функціоналу та фінансовими умовами. Геопросторові дані OSM ліцензуються на умовах Open Database License, що дозволяє їх використання з будь-якою, у т.ч. комерційною, метою, за умови зазначення походження даних. Документація, згенеровані тайли (зображення, які візуалізують геопросторові дані на головному сайті проекту OSM) поширюються на умовах ліцензії Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 (CC-BY-SA). На відміну від власницьких технологій, таких як Google Maps, ліцензія OSM гарантує вільний доступ до даних.

OSM пропонує чотири різні стилі (шари) мап, для показу яких використовується leaflet.js [15] – відкрита JavaScript-бібліотека, призначення якої – відображення OSM на веб-сторінці. Бібліотека коректно та адаптивно працює на десктопах і мобільних пристроях, де є підтримка HTML5 і CSS3.

Архітектура системи включає такі складові:

- Клієнт – веб-браузер або мобільний клієнт;
- Сервер прикладного рівня – приймає запити від клієнта, обробляє їх, за необхідністю звертаються до бази даних, після чого відправляє інформацію користувачу;
- Сервер БД;
- База даних;
- Підсистема аналізу – програмний модуль для аналізу даних про користувацькі запити.

Пошук маршруту здійснюється з двома опціями: без пересадки і з пересадкою. Для довільної опції спочатку вводяться або обираються на карті початок і кінець маршруту. Потім програма здійснює пошук маршрутів, які проходять через ці точки (зупинки). Якщо ці дві точки належать одному і тому ж маршруту, інформація про нього та інші подібні виводиться на екран як про маршрути без пересадок. В іншому випадку система шукає дані про маршрути, що проходять через ці зупинки, та звіряє з даними таблиці Transfer, яка містить інформацію про пересадки. На екран виводяться знайдені маршрути або повідомлення про їх відсутність. Блок-схема пошуку маршруту представлена на рис. 3.

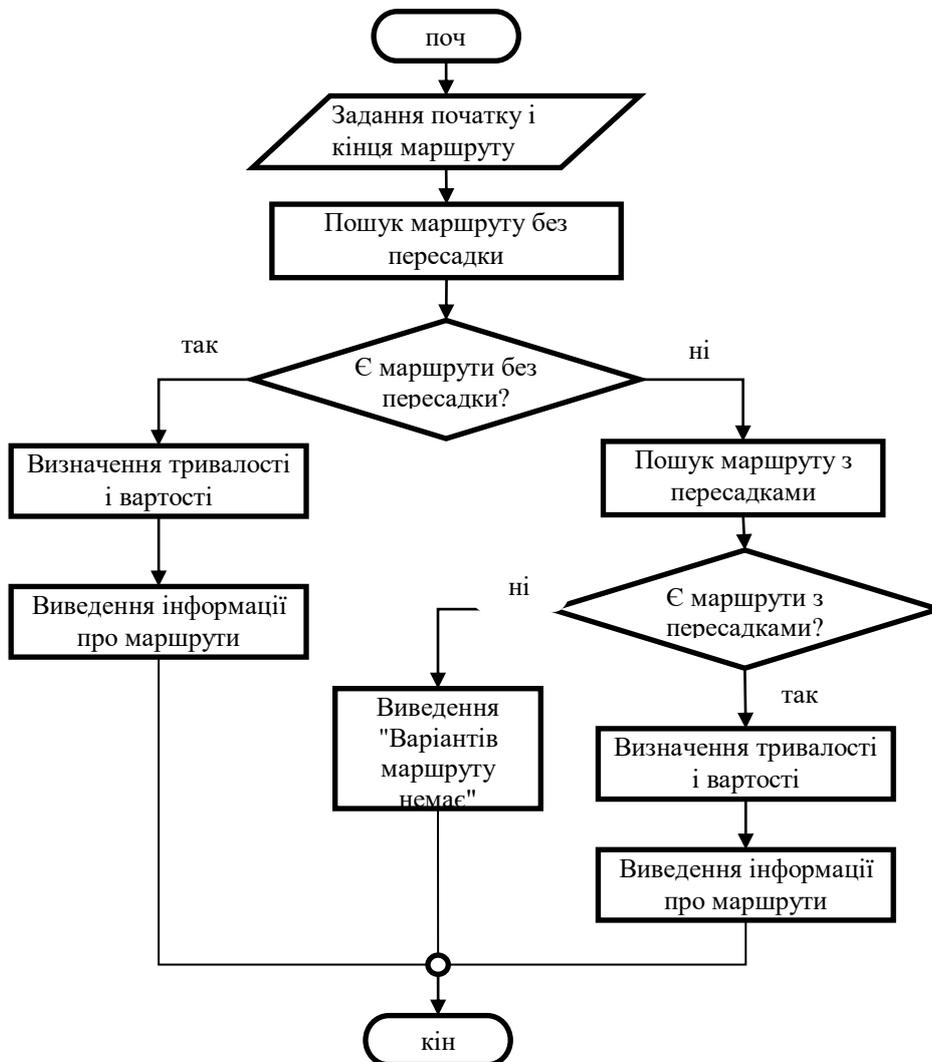


Рис. 3. Загальна блок-схема процесу пошуку маршруту з пересадками і без.

Однією із основних функцій даної системи є виведення розкладу відправлень за певним маршрутом і напрямом. Для цього у вікні програми виділено спеціальний блок, за допомогою якого можна швидко і зручно отримати час відправлення та інформацію про маршрут. Для більшої зручності маршрути для обраного міста відсортовані. Користувач обирає маршрут, який його цікавить, і система виводить дані про відправлення та візуалізує маршрут на карті.

Програмні методи, які реалізують зазначений функціонал:

- `showCity()` – ініціалізується при завантаженні сторінки, виводить список міст із відсортованим за номерами списком маршрутів; метод також використовується для виклику процедури вилучення міст із бази даних;
- `showNumbers()` – приймає аргумент з методу `showCity()`, за яким виводяться номери маршрутів, що проходять через обране місто; за допомогою цього методу викликається процедура вилучення маршрутів із бази даних за обраним містом;
- `showDirection()` – за обраним маршрутом демонструються напрями; за допомогою цього методу викликається процедура вилучення напрямків із бази за обраним маршрутом;
- `showTimeDeparture()` – виводить час відправлень за обраним маршрутом та його напрямом; за допомогою цього методу також викликається процедура вилучення часу відправлень;
- `showInfoAboutRoute()` – демонструє інформацію про маршрут; за допомогою цього методу також викликається процедура вилучення інформації про маршрут.

Блок-схема отримання розкладу відправлень подана на рис. 4.

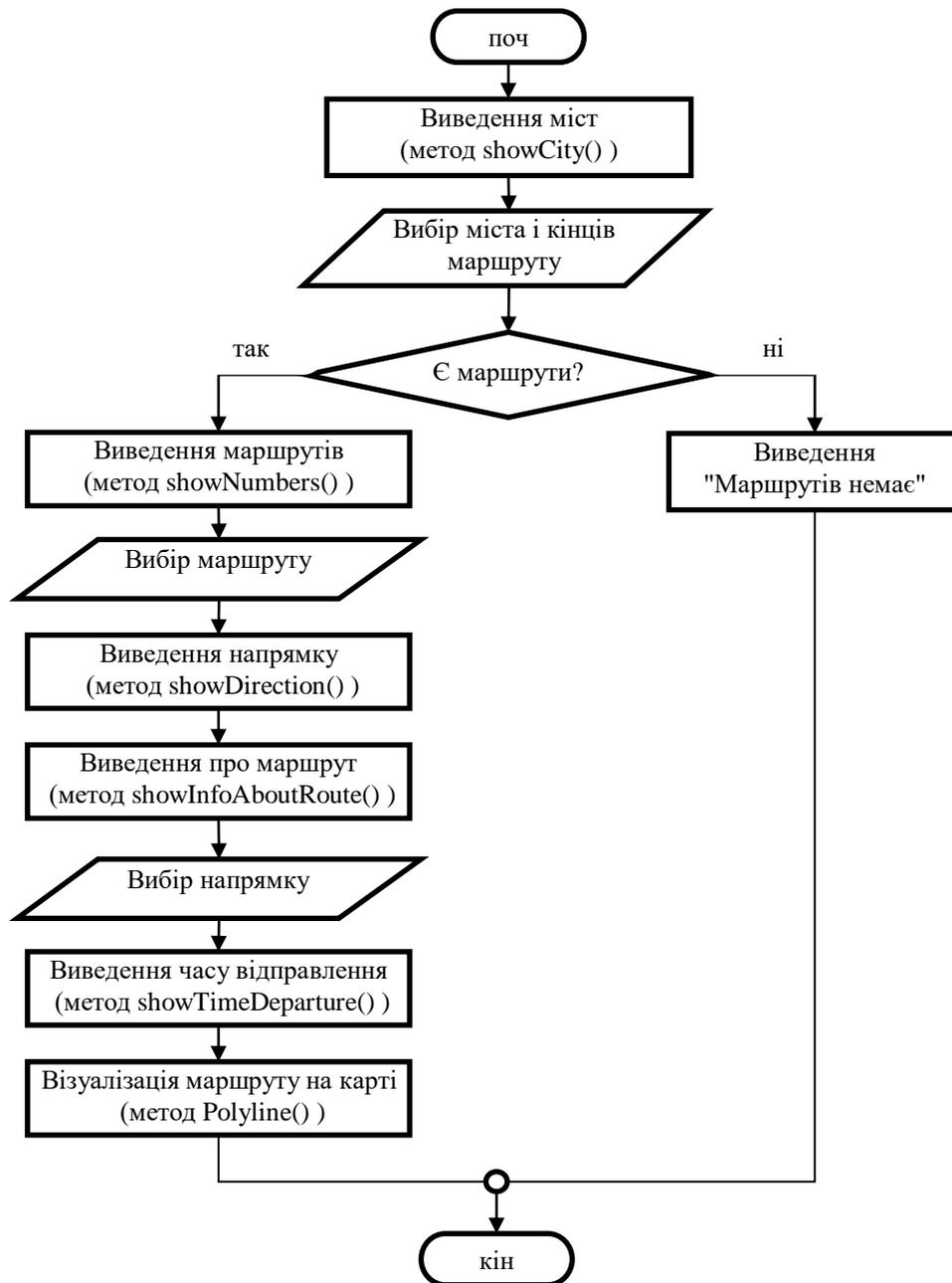


Рис. 4. Блок-схема отримання розкладу відправлень.

У процесі розробки були використані технології: HTML5, CSS3, PHP, JavaScript, JQuery, MySQL, фреймворк Bootstrap та ін. Фрагмент роботи з OSM представлено на рис. 5.

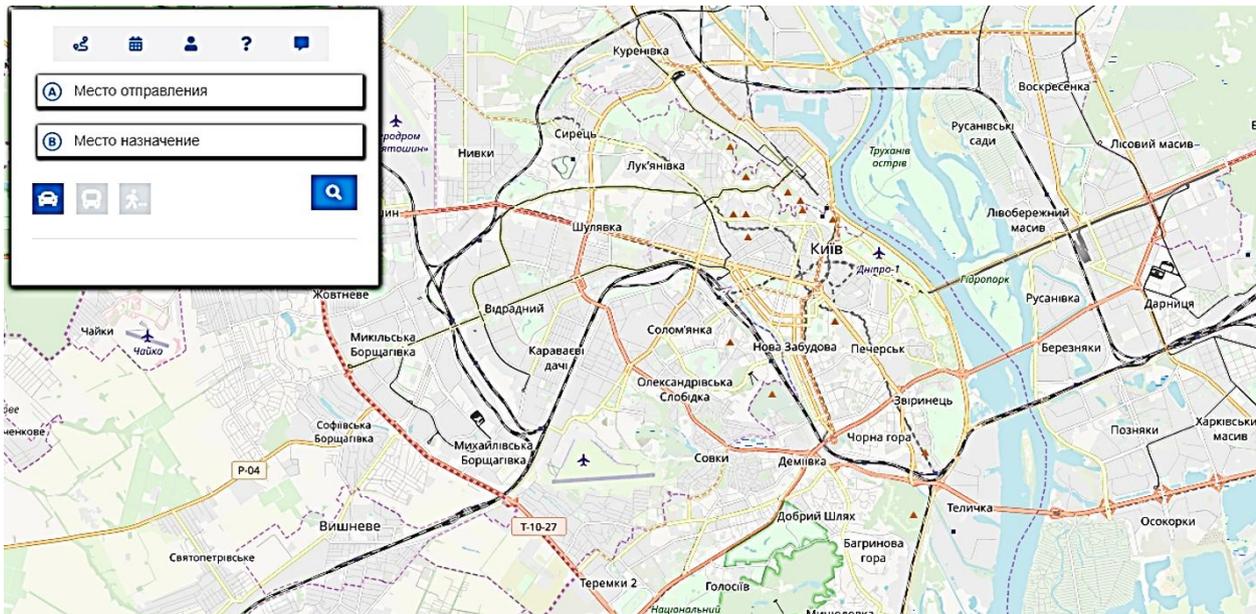


Рис. 5. Вікно програми розкладу громадського транспорту біля Києва на базі OSM.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Враховуючи інтенсивність пасажирського трафіку у приміській зоні великих міст та наявність інфраструктури мобільних мереж швидкісної передачі даних, задача розробки доступних регіональних геопросторових сервісів для персональної маршрутизації ще довго не втрачатиме актуальності. Запропонована у статті система дозволяє клієнтам з невеликих міст (на прикладі Київського регіону) отримати інформацію про регіональні маршрути громадського транспорту, зокрема, про наявність маршрутів з пересадками і без, про орієнтовну тривалість і вартість поїздки, у т.ч. в розрізі напрямків/субрегіонів і днів тижня. Використання відкритої платформи OpenStreetMap забезпечує розробників та користувачів від надлишкових фінансових витрат (прямих і непрямих). Запропонована архітектура системи гарантує її кросплатформність. Використано модулі автентифікації, підтримки сесій, здійснення візуалізації маршрутів на карті та ін.

Нині ведеться розробка модуля аналізу даних про запити і використання маршрутів, що дозволить виробити рекомендації щодо оптимізації режиму роботи приміського громадського транспорту за окремими напрямками, а також персоналізувати роботу сервісу для окремих клієнтів. Подальші роботи над системою передбачають наповнення бази маршрутів Київського регіону, створення служби маршрутизації для інших режимів: автомобіль, пішки, велосипед і комбінованих. Передбачається також створення програмних клієнтів для популярних мобільних операційних систем.

## Reference

1. Riley Panko. The Popularity of Google Maps: Trends in Navigation Apps in 2018. URL: <https://themanifest.com/app-development/popularity-google-maps-trends-navigation-apps-2018> (дата звернення: 04.07.2019)
2. Kailla Coomes. The best navigation apps for Android and iOS. URL: <https://www.digitaltrends.com/mobile/best-navigation-apps/> (дата звернення: 04.07.2019)
3. Dan Collins. 10 Best GPS Apps in 2019. URL: <https://www.carbibles.com/best-gps-apps/> (дата звернення: 04.07.2019)
4. Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1), 269-271.
5. Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M., & Soumis, F. (1995). Time constrained routing and scheduling. *Handbooks in operations research and management science*, 8, 35-139.
6. Voss, S. (2001). *Computer-aided scheduling of public transport* (Vol. 505). Springer Science & Business Media.
7. Schreieck, M., Pflügler, C., Setzke, D. S., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2018). Improving Urban Transportation: an Open Platform for Digital Mobility Services. In *Digital Marketplaces Unleashed* (pp. 479-489). Springer, Berlin, Heidelberg.
8. Campbell, A. M., & Woensel, T. V. (2019). Special issue on recent advances in urban transport and logistics through optimization and analytics. *Transportation Science*, 53(1), 1-5.
9. Patel, D., Narmawala, Z., Tanwar, S., & Singh, P. K. (2019). A Systematic Review on Scheduling Public Transport Using IoT as Tool. In *Smart Innovations in Communication and Computational Sciences* (pp. 39-48). Springer, Singapore.
10. Fikar, C., & Hirsch, P. (2018). Evaluation of trip and car sharing concepts for home health care services. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(1-2), 78-97.
11. Rao, A., Cao, Z., & Klanner, F. (2018). A Simulation Environment for Evaluation of Routing Algorithms for Improvement of Electromobility Related Services. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 10(1), 133-144.

12. Terribile, F., Agrillo, A., Bonfante, A., Buscemi, G., Colandrea, M., D'Antonio, A., De Mascellis, R., De Michele, C., Langella, G., Manna, P., Marotta, L., Mileti, F.A., Minieri, Orefice, N., Valentini, S., Vingiani, S., Basile, A. (2015). *A Web-based spatial decision supporting system for land management and soil conservation*. *Solid Earth*, 6, 903–928. doi:10.5194/se-6-903-2015.
13. Yazdani, M., Zarate, P., Coulibaly, A., & Zavadskas, E. K. (2017). A group decision making support system in logistics and supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 88, 376-392.
14. Ткаченко, О. М. (2013). Геопросторова складова інформаційно-аналітичної системи у галузі рослинництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*, (184 (1)), 150-157.
15. Leaflet – an open-source JavaScript library for interactive. URL: <https://leafletjs.com/> (дата звернення: 15.07.2019)

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-23

УДК 31.311.2; 629.3.073

<sup>1</sup>Ханін О.Г. к.ф.-м.н., <sup>2</sup>Лотиш В.В., к.т.н., <sup>2</sup>Гуменюк П.О., к.т.н., <sup>2</sup>Гуменюк Л.О. к.т.н.

<sup>1</sup>Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки.

<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет.

## УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД $\chi^2$ -КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДО АНАЛІЗУ АВАРІЙНОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Ханін О.Г., Лотиш В.В., Гуменюк П.О., Гуменюк Л.О. Удосконалений метод  $\chi^2$ -кластеризації та його застосування до аналізу аварійності на автомобільному транспорті. Існує чимало методів кластеризації даних, але вони мають ряд недоліків, зокрема, з одного боку, це – неоднозначність розбиття масиву даних на групи, а з іншого – неможливість оцінити ступінь однорідності об'єктів, що належать одному і тому ж кластеру. Мета цієї роботи – розробити метод кластерного аналізу багатовимірних даних різної природи, який забезпечить однозначність розбиття набору незалежних вибірок на кластери, що не перетинаються, так, щоб ймовірність помилкової кластеризації не перевищувала певного наперед заданого рівня. Метод кластеризації ґрунтується на використанні критерію узгодженості  $\chi^2$ .

З іншої сторони, проблема аварійності на автомобільному транспорті є достатньо гострою у вітчизняних реаліях, оскільки рівень ДТП з потерпілими значно перевищує середній європейський. В той же час, кластеризація регіонів України за видами дорожньо-транспортних пригод з постраждалими, їх причинами та винуватцями дозволить зрозуміти спільні регіональні фактори, що впливають на рівень аварійності, визначити та впровадити кращі практики її запобігання. Саме тому представляється актуальним застосування запропонованого методу до аналізу аварійності на автомобільному транспорті в Україні. Розроблений метод реалізований програмно та застосований до порівняльного аналізу рівня аварійності на автомобільному транспорті по регіонах України.

**Ключові слова:** кластерний аналіз, біноміальний розподіл, довірчий інтервал, критерій узгодженості  $\chi^2$ , перевірка статистичних гіпотез, похибка кластеризації, дорожньо-транспортні травми з постраждалими.

Ханин А.Г., Лотыш В.В., Гуменюк П.А., Гуменюк Л.А. Усовершенствованный метод  $\chi^2$  - кластеризации и его применение к анализу аварийности на автомобильном транспорте. Существует немало методов кластеризации данных, но они страдают, с одной стороны, неоднозначностью разбиения массива данных на группы, а с другой, не дают возможности оценить степень однородности объектов, принадлежащих одному и тому же кластеру. Цель этой работы – разработать метод кластерного анализа многомерных данных различной природы, который обеспечит однозначность разбиения набора независимых выборок на непересекающиеся кластеры, так, чтобы вероятность ложной кластеризации не превышала определенного заранее заданного уровня. Метод кластеризации основывается на использовании критерия согласия  $\chi^2$ .

С другой стороны, проблема аварийности на автомобильном транспорте является достаточно острой в отечественных реалиях, поскольку уровень ДТП с пострадавшими значительно превышает средний европейский. В то же время, кластеризация регионов Украины по видам дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими, их причинами и виновниками позволит понять общие региональные факторы, влияющие на уровень аварийности, определить и внедрить лучшие практики ее предотвращения. Именно поэтому представляется актуальным применение предложенного метода к анализу аварийности на автомобильном транспорте в Украине. Разработанный метод реализован программно и применен к сравнительному анализу уровня аварийности на автомобильном транспорте по регионам Украины.

**Ключевые слова:** кластерный анализ, биномиальное распределение, доверительный интервал, критерий согласия  $\chi^2$ , проверка статистических гипотез, погрешность кластеризации, дорожно-транспортные происшествия с пострадавшими.

O. Khanin, V. Lotysh, P. Gumeniuk, L. Gumeniuk. Improved method of  $\chi^2$  - clusterization and its application to the analysis of emergency in automobile transport. There is a large variety of methods for data clustering, but all of them have numerous defects. On the one hand, it is the ambiguity of splitting the data array into groups, and on the other the impossibility to assess the degree of homogeneity of objects belonging to the same cluster. The purpose of this work is to develop the method for cluster analysis of multidimensional data of a different nature, which will ensure unambiguity of splitting a set of independent samples into clusters that do not intersect, so that the probability of false clustering does not exceed a certain predetermined level. The clustering method is based on the use of the  $\chi^2$  consistency criterion.

Besides, the problem of accidents on road transport is quite acute in the domestic realities, since the level of accidents with victims significantly exceeds the average European. At that, the clustering of the regions of Ukraine according to the types of road accidents with the victims, their causes and culprits will help to understand the general regional factors affecting the accident rate, to identify and implement the best practices for its prevention. That is why the application of the proposed method to the analysis of accidents on road transport in Ukraine is quite relevant. The developed method is implemented programmatically and applied to a comparative analysis of the accident rate in road transport in the regions of Ukraine.

**Keywords:** cluster analysis, binomial distribution, confidence interval,  $\chi^2$  consistency criterion, verification of statistical hypotheses, clustering error, road traffic accidents with victims.

**Постановка проблеми.** Кластеризація, тобто розбиття даних на однорідні, в певному розумінні, групи, представляє собою поширений метод аналізу даних шляхом зменшення розмірності їх масиву, допомагає виявити спільні та відмінні риси об'єктів дослідження [1]. Цей метод знайшов застосування при розгляді багатовимірних систем в техніці, економіці, фінансах, маркетингу, соціології, психології, медицині, тощо. Однак, головними його недоліками є, як правило, неоднозначність розбиття залежно від вибору першого (базового) об'єкту, з якого починається процес кластеризації, та відсутність міри якості кластеризації даних. Тому, головним чином, цей метод використовується як метод попереднього, розвідувального аналізу, який дозволяє на якісному

рівні побачити певні закономірності і сформулювати гіпотези, що потребують подальшого дослідження. Задачею авторів була побудова такого методу кластерного аналізу, який би, по можливості, був позбавлений цих недоліків, тобто відрізнявся однозначністю кластеризації та забезпечував певну наперед задану ймовірність її похибки. З іншого боку, оскільки проблема аварійності на автомобільному транспорті в Україні в останні роки є надзвичайно гострою [2 - 4] та її рівень суттєво перевищує середньоєвропейський [4], представляє інтерес застосування запропонованого алгоритму до регіонального аналізу причин, видів та винуватців ДТП з постраждалими на автотранспорті в Україні.

**Метою роботи** було, ґрунтуючись на методології порівняння емпіричних розподілів за критерієм узгодженості  $\chi^2$  [5], запропонувати та обґрунтувати удосконалений метод кластерного аналізу, який би забезпечив однозначність розбиття набору незалежних вибірок на кластери, що не перетинаються, так, щоб ймовірності помилкового віднесення вибірок до різних кластерів не перевищувала певного наперед заданого рівня; за допомогою розглянутого методу провести кластерний аналіз регіонів України за структурою ДТП з постраждалими на автомобільному транспорті за причинами, видами та винуватцями.

Запропонований метод кластерного аналізу ґрунтується на критерії узгодженості  $\chi^2$  [5], а ідея його застосування до задач кластерного аналізу в галузі маркетингу була представлена у роботі [6]. Однак, як і решта методів кластерного аналізу, цей метод мав неоднозначність результуючого розбиття, а також відсутність конкретної оцінки ймовірності помилкового віднесення до різних кластерів однорідних об'єктів. В даній роботі представлено удосконалений метод кластеризації багатовимірних даних, який дає однозначні результати, а також відповідні оцінки похибки кластеризації. На основі цього алгоритму в середовищі Delphi створена програма, яка застосована до аналізу значного масиву даних, пов'язаних з рівнем аварійності на автомобільному транспорті по регіонах України.

**Аналіз досліджень.** Як відомо, кластеризація – це процес розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини, що не перетинаються, які називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів суттєво відрізнялися [7]. Термін «кластерний аналіз» уперше ввів Трайон (Труон) [8] у 1939 році. Відтоді розроблено чимало методів кластерного аналізу, певну класифікацію яких наведено у багатьох роботах, зокрема [2,9-11]. Згідно цієї класифікації, запропонований нами метод відноситься до ієрархічних методів дивізійної кластеризації (Divisive Methods) із чітким багатоетапним алгоритмом. Заздалегідь невідомо, на скільки кластерів буде розбита сукупність багатовимірних даних. Вхідні дані для застосування запропонованого методу кластеризації повинні бути представлені у вигляді таблиці «Ознака - Кількість її спостережень».

Такий авторитет у галузі аналізу даних, як Тьюкі (Tukey) [12] поділяє статистичний аналіз на два етапи: розвідувальний та підтверджуючий. Перший етап включає перетворення даних спостережень і способи їх наочного представлення, що дозволяє виявити внутрішні закономірності, які проявляються в даних, тобто, фактично, сформулювати певні гіпотези. На другому етапі застосовуються традиційні статистичні методи оцінки параметрів і перевірки гіпотез. Загальноприйняті методи кластеризації є потужними засобами саме розвідувального аналізу [13]. Запропонований нами метод відрізняється тим, що забезпечує певну однозначність процесу кластеризації, і поєднує у собі обидва етапи. Він, завдяки розбиттю даних на підмножини, які складаються з багатовимірних даних, із ймовірнісними розподілами, схожими між собою за критерієм узгодженості Пірсона, надає інформацію для подальшого формулювання гіпотез щодо змістовних причин схожості чи відмінності даних, та одночасно дає можливість оцінити ймовірність помилкового віднесення «схожих» об'єктів до різних кластерів, тобто зробити певні статистичні висновки.

Однією з цілей кластеризації є стиснення великих обсягів даних: замість дослідження всього їх неосяжного масиву можна розглядати та порівнювати між собою по одному типовому представнику від кожного кластеру [7]. Безумовно, це дає можливість виявити глибинні причини, що розділяють представників різних кластерів. Оскільки нас цікавили саме такі причини регіональних відмінностей рівня аварійності на автомобільному транспорті в Україні, ми вирішили застосувати запропонований нами метод кластерного аналізу до цієї актуальної задачі.

**Методологія досліджень.** Припустимо, що спостерігаються  $m$  незалежних вибірок об'ємів  $n_1, n_2, \dots, n_m$ , відповідно, з генеральних сукупностей, елементи яких приймають одне з  $r$  можливих значень. В якості таких значень можуть виступати певні якісні ознаки (групи факторів), наприклад, групи причин скоєння ДТП, або належність до певного інтервалу для кількісних ознак (в останньому випадку значення кількісних ознак повинні бути розбиті на  $r$  інтервалів, що не перетинаються). Нехай для кожної спостереженої вибірки побудовано емпіричний розподіл частот по групах.

Наприклад, в таблиці 1 наведені розподіли частот по п'ятьох групах факторів, отримані за чотирма вибірками.

В один кластер хотілося б об'єднати ті вибірки, в яких співпадають теоретичні розподіли, тобто розподіли генеральних сукупностей, яким вони належать. Однак, на практиці теоретичні розподіли невідомі. Методологія попарного порівняння емпіричних розподілів за допомогою критерію  $\chi^2$  була розглянута нами в [5], але вона призводить до неоднозначного результату кластерного аналізу залежно від вибору еталонного розподілу на кожному кроці кластеризації.

Таблиця 1. Розподіл вибірових частот по групах

Групи факторів або інтервали значень		Група 1	Група 2	Група 3	Група 4	Група 5	РАЗОМ
Вибірка 1	Кількість спостережень, що належать даній групі	4	103	24	90	32	283
Вибірка 2	Кількість спостережень, що належать даній групі	190	174	73	126	118	681
Вибірка 3	Кількість спостережень, що належать даній групі	211	82	79	77	122	561
Вибірка 4	Кількість спостережень, що належать даній групі	225	73	42	25	110	475

Модифікуємо запропонований у роботі [6] алгоритм кластеризації так, щоб на кожному новому кроці кластеризації в якості еталонної вибірки обиралася вибірка, найбільша за об'ємом. Розподіл цієї вибірки будемо називати еталонним вибіровим розподілом. Відповідно, генеральну сукупність, з якої узята ця вибірка будемо також називати еталонною, а її розподіл - еталонним теоретичним розподілом. Так, в нашому прикладі на першому кроці в якості еталонної оберемо вибірку 2. Об'єм еталонної вибірки за таблицею 1 становить  $n=681$ . Будемо по черзі розглядати попадання спостереження з еталонної вибірки в певну групу як «успіх», а в решту – як «невдачу». Тоді ми матимемо справу з біноміальними розподілами, для теоретичних ймовірностей яких легко побудувати двосторонній асимптотичний довірчий інтервал будь-якої наперед заданої надійності [14].

Наприклад, попадання значення еталонної вибірки в групу 1 будемо вважати «успіхом», а в одну з решти груп – «невдачею». Вибіркова оцінка невідомого стандартного відхилення ймовірності «успіху» для еталонної генеральної сукупності з  $n=681$

$$s_n = \sqrt{\frac{w_{усп}(1 - w_{усп})}{n}} \approx 0.017$$

$w_{усп} \approx 190/681 \approx 0,28$  (див. таблицю 1).

Тоді права межа довірчого інтервалу надійності 99% становить

$$w_{усп} + t_{0,99} \cdot s_n \approx 0,32,$$

а ліва межа -

$$w_{усп} - t_{0,99} \cdot s_n \approx 0,23,$$

$t_{0,99} \approx 2,58$  для двостороннього розподілу Стюдента з  $n-1=680$  ступенями вільності (в Excel-2010 його можна знайти за допомогою функції «СТЮДЕНТ.ОБР.2Х(0,01;680)»).

Тобто, з надійністю 99% теоретична ймовірність того, що довільно обраний елемент еталонної генеральної сукупності належить групі 1, знаходиться в інтервалі (0,23; 0,32).

Так само побудуємо довірчі інтервали надійності 99% для теоретичних ймовірностей, що відповідають іншим групам (таблиця 2).

Таблиця 2. Межі довірчих інтервалів надійності 99% для невідомих теоретичних ймовірностей еталонної генеральної сукупності

Групи	Ліва межа довірчого інтервалу	Права межа довірчого інтервалу
Група 1	0,23	0,32
Група 2	0,21	0,30
Група 3	0,08	0,14
Група 4	0,15	0,22
Група 5	0,14	0,21

$\chi^2$  – відстань між емпіричним та теоретичним розподілом знаходять за формулою [15]

$$\chi^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{(v_i^k - np_i)^2}{p_i} \quad (1)$$

Якщо спостережена вибірка належить саме тій генеральній сукупності, теоретичні ймовірності якої розглядаються, то величина (1) має асимптотичний  $\chi^2$  – розподіл з  $r-1$  ступенями вільності. Залишається порівняти отриману відстань (1) з критичним значенням, що відповідає певному рівню істотності  $\alpha$ . Якщо відстань не перевищує критичного значення (в Excel 2010 його можна знайти за допомогою функції ХИ2.ОБР.ПХ( $\alpha$ ;r-1)) приймають рішення про справедливість нульової гіпотези, що вибірковий розподіл співпадає з теоретичним, у протилежному випадку – приймають альтернативну гіпотезу.

Однак, в нашому випадку ймовірності  $p_i$  невідомі, проте відомі довірчі інтервали для них (див. табл. 2), побудовані за еталонною вибіркою. Замінімо  $p_i$  на такі значення з довірчих відрізків  $\Delta_i$  (тобто з довірчих інтервалів, разом із їх кінцями), які зроблять значення виразу (1) найменшим з можливих. Тим самим при перевірці гіпотези про узгодженість розподілів ми мінімізуємо помилку 1-го роду. Таким чином, замість відстані (1) будемо розглядати відстань

$$\tilde{\chi}^2 = \min_{p_i \in \Delta_i, i=1, \dots, r} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{(v_i^k - np_i)^2}{p_i} \right) \quad (2)$$

Будемо вважати, що вибірки належать одному кластеру, якщо побудована для них відстань (2) до еталонного теоретичного розподілу не більша за критичне значення  $\chi_{кр}^2 = \text{ХИ2.ОБР.ПХ}(\alpha; r-1)$ .

Зауважимо, що довірчі відрізки не повинні містити нульові значення. Якщо це трапилося, тобто значення відносних частот для деяких категорій дуже малі, варто об'єднати ці категорії з іншими.

Якщо формування першого кластеру закінчено, то в якості еталонної обирається вибірка найбільшого об'єму з числа тих, що не попали у першій кластер, та процес кластеризації продовжується, і т.д.

Визначення вибірки найбільшого об'єму в якості еталонної призводить до звуження довірчого інтервалу, тобто збільшення точності оцінювання. Крім того, якщо на кожному кроці створення нового кластеру існує лише одна вибірка з найбільшим об'ємом, то результат кластеризації стає однозначним.

В нашому прикладі на першому кроці вибірки 1, 3, 4 по чергово за формулою (2) порівнюються з критичним значенням  $\chi_{кр}^2 = \text{ХИ2.ОБР.ПХ}(0,01; 2) \approx 9,21$ , де значення  $v_i^k$  беруться з таблиці 1, а довірчі відрізки  $\Delta_i$ , побудовані за еталонною вибіркою (в нашому випадку - вибіркою 2) з таблиці 2. Знаходження мінімального значення виразу (2) можна здійснити за допомогою інструменту Excel «Пошук розв'язків». Процес знаходження мінімуму виразу (2) спроститься, якщо зауважити, що

$$\min_{p_i \in \Delta_i, i=1, \dots, r} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{(v_i^k - np_i)^2}{p_i} \right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \min_{p_i \in \Delta_i} \left( \frac{(v_i^k - np_i)^2}{p_i} \right)$$

Оцінимо тепер ймовірність помилкової кластеризації, точніше ймовірність того, що при правильності нульової гіпотези про однорідність усіх теоретичних розподілів, з яких узяті спостережені вибірки, знайдеться принаймні пара вибірок, які попадуть у різні кластери.

Нехай всі довірчі інтервали, які ми будували для невідомих ймовірностей еталонного теоретичного розподілу (див., наприклад, табл. 2), мають однакову надійність, рівну  $\gamma$ . Точні значення ймовірностей еталонного теоретичного розподілу нам принципово невідомі. Розглянемо подію  $A$ , що усі  $r$  ймовірностей еталонного теоретичного розподілу попадуть у відповідні довірчі інтервали. Оскільки відповідні довірчі інтервали будуються незалежно, то ймовірність  $P(A) = \gamma^r$ . Нехай подія  $B$  означає, що за критерієм  $\chi^2$  помилково прийняте рішення, що не всі генеральні сукупності мають однакові розподіли, хоча в дійсності всі вони однорідні. Ймовірність цієї події – це

рівень істотності  $\alpha$ , на якому перевіряється гіпотеза про однорідність генеральних розподілів, з яких узяті спостережені вибірки. Для визначеності будемо обирати  $\alpha=1-\gamma$ . Помилка кластеризації відбувається, коли настає подія  $\bar{A}$  або одночасно наступають події  $A$  та  $B$ . Оскільки ці події несумісні, то ймовірність помилки кластеризації не більша за

$$P(\bar{A})+P(A \cdot B)=P(\bar{A})+P(B/A)P(A)=1-\gamma^r + \alpha \gamma^r.$$

Якщо прийняти  $\alpha=1-\gamma$ , то ймовірність помилки кластеризації не перевищуватиме величини  $1-\gamma^{r+1}$ .

Якщо ми хочемо задати певний рівень похибки кластеризації  $p$ , то відповідне значення надійності довірчих інтервалів  $\gamma$ , а отже і значення рівня істотності  $\alpha=1-\gamma$ , що забезпечують похибку кластеризації не вищу за  $p$ , можна знайти з рівняння

$$1-\gamma^{r+1}=p,$$

звідки

$$\gamma=(1-p)^{\frac{1}{r+1}} \quad (3)$$

Скажімо, в нашому прикладі (таблиця 1) для рівня похибки кластеризації  $p=0,05$  необхідно будувати довірчі інтервали надійності  $\gamma=0,95^{(1/6)} \approx 0,99$ , в цьому випадку рівень істотності при перевірці за критерієм  $\chi^2$  гіпотези про однорідність генеральних розподілів буде вважатися рівним  $\alpha=1-\gamma \approx 0,01$ .

**Результати.** Реалізація запропонованого методу здійснена в інтегрованому середовищі розробки програмного забезпечення для Microsoft Windows, Mac OS, iOS і Android на мові Delphi (RAD - Rapid Application Development) Delphi XE6. Бібліотека наявних компонент дозволила реалізувати введення даних, проведення кластеризації та виведення отриманого результату в одному додатку (рис. 1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	462	30	31	224	36	11	29	59	23	11	
2	311	12	16	89	90	2	4	81	7	3	
3	169	10	13	51	55	2	5	24	4	3	
4	579	44	76	235	101	14	11	56	30	8	
5	764	33	56	297	224	8	15	59	29	25	
6	283	9	43	89	38	2	5	73	11	10	
7	233	13	54	52	54	1	8	42	2	4	
8	393	18	21	160	78	6	6	64	21	11	
9	214	5	16	130	16	0	3	35	1	4	
10	618	29	93	254	111	6	8	70	19	26	
11	298	14	111	6	68	21	0	55	13	3	
12	173	2	9	68	37	0	8	20	8	13	
13	395	43	25	145	74	8	15	50	13	9	
14	423	26	27	202	51	8	11	65	5	12	
15	203	16	0	82	14	10	6	58	5	6	
16	364	12	27	125	74	4	13	58	6	43	
17	385	24	24	125	74	7	15	85	16	11	
18	135	6	7	49	14	12	12	18	8	5	
19	172	19	22	47	35	4	7	24	7	6	
20	165	5	15	71	21	1	9	32	4	1	
21	515	55	75	211	93	7	2	29	9	9	
22	274	43	28	73	48	9	11	22	15	17	
23	367	83	8	131	41	3	11	71	5	6	

Рис 1. Додаток в режимі введення даних

Початкове введення даних для кластеризації запропонованим методом здійснюється в самому додатку. Також передбачено експорт підготовлених даних з таблиці Microsoft Excel.

Для налаштування додатку необхідно задати масштаб (коефіцієнт множення), номер еталонної категорії та рівень значущості в інтерактивному режимі.

Результат, отриманий внаслідок кластеризації, представляється у вигляді схеми (рис. 2), де представлено номери отриманих кластерів та номери категорій (рядків), які входять до даного кластера.

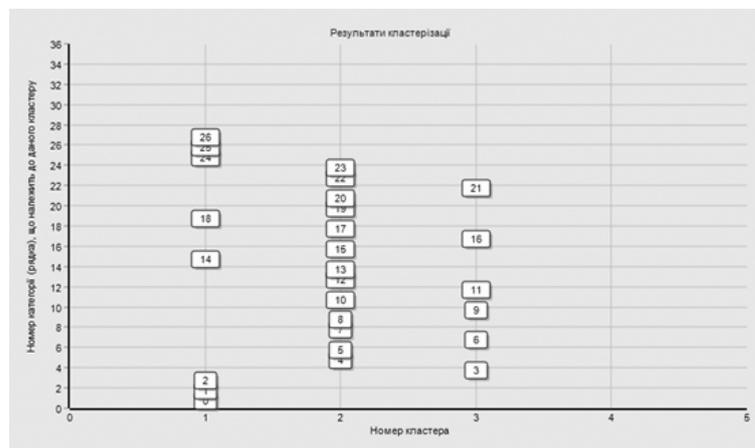


Рис 2. Представлення результатів кластеризації

Запропоноване представлення результатів дозволяє наочно спостерігати розподіл даних по кластерах.

Вихідні дані та результати кластеризації зберігаються в таблиці Microsoft Excel. Також надається можливість збереження результатів кластеризації в графічному форматі.

Для комфортного використання передбачено зміну мови інтерфейсу додатку (англійська та українська).

За офіційними даними аварійності [16] на основі розглянутого вище алгоритму за допомогою розробленої нами в середовищі Delphi програми був проведений кластерний аналіз регіонів України за розподілом дорожньо-транспортних пригод з постраждалими у 2016 році по видах, винуватцях та основних причинах скоєння. Ймовірність похибки кластеризації була обрана рівною 5%. Результати аналізу зведемо у таблиці 3, 4, 5.

Таблиця 3. Кластеризація регіонів за розподілом ДТП з постраждалими у 2016 році по винуватцях

Область або місто	Кластер	Причини ДТП з постраждалими		
		з вини водіїв, к-сть	з вини дорослих пішоходів, к-сть	з вини дітей, к-сть
Вінницька	1	563	61	22
Волинська	1	480	61	24
Дніпропетровська	1	1926	320	71
Донецька	1	593	68	21
Житомирська	2	345	24	10
Закарпатська	2	201	8	9
Запорізька	1	740	84	18
Івано-Франківська	1	440	89	22
Київська	2	369	17	7
Київ	2	734	44	5
Кіровоградська	2	250	16	10
Луганська	2	232	11	13
Львівська	2	702	46	19
Миколаївська	1	303	32	6
Одеська	2	1073	83	33
Полтавська	1	752	76	19
Рівненська	1	310	40	13

Сумська	1	341	38	8
Тернопільська	1	272	26	12
Харківська	2	443	28	7
Херсонська	1	357	32	16
Хмельницька	2	260	12	9
Черкаська	2	713	52	22
Чернігівська	2	494	56	16
Чернівецька	1	164	4	4

Таблиця 4. Кластеризація регіонів за розподілом ДТП з постраждалими у 2016 році по їх видах

Область або місто	Кластер	Види ДТП					
		Зіткнення,	Перекидання,	Наїзд на ТЗ, що стоїть,	Наїзд на перешкоду,	Наїзд на пішохода,	Наїзд на велосипедиста,
		к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть
Вінницька	1	375	72	12	95	382	86
Волинська	4	285	91	17	92	307	97
Дніпропетровська	1	947	136	81	276	880	126
Донецька	1	348	41	25	138	328	58
Житомирська	1	353	67	24	118	323	84
Закарпатська	5	197	29	11	108	176	53
Запорізька	1	454	89	15	126	399	73
Івано-Франківська	5	216	32	4	67	259	60
Київська	2	574	63	32	174	399	91
Київ	1	1027	24	48	191	1077	75
Кіровоградська	1	217	50	13	50	146	32
Луганська	4	131	40	13	53	67	34
Львівська	1	836	125	22	228	717	105
Миколаївська	1	405	66	20	80	324	37
Одеська	1	911	147	68	241	682	88
Полтавська	4	399	97	42	104	315	104
Рівненська	1	298	81	24	87	281	68
Сумська	1	205	58	18	57	203	50
Тернопільська	1	223	34	14	46	190	28
Харківська	3	720	86	42	113	558	58
Херсонська	1	285	63	32	82	234	24
Хмельницька	1	312	47	17	82	272	43
Черкаська	1	359	67	29	125	238	66
Чернігівська	1	253	62	17	82	216	105
Чернівецька	4	115	21	7	45	130	16

Таблиця 5. Кластеризація регіонів за розподілом ДТП з постраждалими у 2016 році по причинах скоєння

Область або місто	Кла-стер	Керування у нетверезому стані	Перевищення безпечної швидкості	Порушення правил маневрування	Порушення правил проїзду пішохідних	Порушення правил обгону	Вїзд на смугу зустрічного руху	Порушення правил проїзду перехресть	Недодержання дистанції
	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть	к-сть
Вінницька	3	103	194	151	42	13	47	34	39
Волинська	3	113	177	90	58	14	28	54	23
Дніпропетровська	1	124	616	319	227	26	104	241	267
Донецька	2	78	219	118	35	6	27	132	60
Житомирська	6	93	99	42	31	7	30	38	30
Закарпатська	4	29	97	42	5	4	11	7	20
Запорізька	3	115	186	222	70	9	39	92	86
Івано-Франківська	1	60	210	89	52	14	40	48	43
Київська	3	116	116	77	15	6	15	37	33
Київ	6	78	172	220	111	2	18	148	142
Кіровоградська	1	22	98	53	8	9	17	43	26
Луганська	2	64	100	52	6	2	14	44	15
Львівська	4	98	420	130	25	17	46	46	53
Миколаївська	2	53	114	55	17	11	7	57	21
Одеська	2	134	359	198	65	15	65	170	139
Полтавська	2	107	273	179	61	12	60	110	82
Рівненська	4	45	179	41	13	9	21	23	9
Сумська	1	43	114	64	44	8	21	38	44
Тернопільська	3	48	64	48	37	11	26	37	20
Харківська	4	88	215	95	1	5	17	32	31
Херсонська	2	51	155	58	14	12	20	54	30
Хмельницька	2	54	71	60	15	3	24	15	31
Черкаська	5	116	328	140	42	12	37	106	38
Чернігівська	3	109	279	83	15	10	57	55	58
Чернівецька	4	18	73	69	9	9	21	10	11

Запропонований алгоритм кластерного аналізу даних по кількох факторах (вимірах) забезпечує, на відміну від інших поширених методів, однозначність розбиття на кластери з одночасною оцінкою ймовірності похибки 1-го роду, тобто ймовірності, що однорідні дані будуть віднесені до різних кластерів. Таким чином, його перевагою є той факт, що він дозволяє проводити не тільки розвідувальний аналіз даних, але й робити математично обґрунтовані висновки. Необхідною умовою для його застосування є наявність інформації про кількість спостережень кожного фактору для кожного об'єкту, що кластеризується.

Так, застосування цього методу до аналізу регіонів України щодо аварійності на автомобільному транспорті з постраждалими дозволило з ймовірністю похибки, що не перевищує 5%, згрупувати ці регіони по видах ДТП, винуватцях та причинах скоєння.

**Висновки.** Запропонований метод кластеризації незалежних наборів багатовимірних даних за допомогою критерію узгодженості  $\chi^2$  відрізняється обчислювальною простотою, однозначністю розбиття даних на кластери, що не перетинаються, а також можливістю контролю похибки кластеризації. Цей метод був створений з метою порівняння структурних відмінностей багатовимірних систем різної природи. Кластеризація регіонів України розглянутим методом за розподілом кількості ДТП з постраждалими залежно від різних факторів дозволяє в якості наступного кроку провести аналіз спектру організаційних, технічних, кадрових та інших причин, які призвели до об'єднання регіонів в один та різні кластери, для поширення кращих практик запобігання аварійності на автомобільному транспорті в Україні та напрацювання заходів щодо зниження її загального рівня.

#### Список бібліографічних посилань

1. Олдендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / под. ред. И. С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.
2. Гройсман В. Безпека руху на українських дорогах має бути відчутна кожному водію [Електрон. ресурс] / В. Гройсман. — Департамент інформації та комунікацій з громадськістю Секретаріату Кабінету Міністрів України, опубліковано 10 квітня 2018 року. — Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/bezpeka-ruhu-na-ukrayinskih-dorogah-maye-buti-vidchutna-kozhnomu-vodiyu-volodimir-grojsman>
3. Семь основных причин ДТП [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <https://auto.tsn.ua/obzory/7-osnovnyh-prichin-dtp-418849.html>
4. В Украине за 1,5 года на дорогах погибло больше людей, чем в АТО [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <https://inforesist.org/v-ukraine-za-1-5-goda-na-dorogah-pogiblo-bolshe-lyudey-chem-v-ato/>
5. Ханін О. Г. Методологічні особливості застосування критерію узгодженості  $\chi^2$  в практичних задачах економіки, соціології та маркетингу / О. Г. Ханін // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет. — 2015. — Том 22. — № 1. — С. 67–70.
6. Ханін О. Г. Метод  $\chi^2$ -кластеризації в задачах маркетингу / О. Г. Ханін // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет. — 2016. — Том 26. — № 1. — С. 38–42.
7. Черезов Д.С., Тюкачев Н.А. Обзор основных методов классификации и кластеризации данных // Вестник Воронежского государственного университета, - Серия: Системный анализ и информационные технологии, - №2, 2009, с.25-29
8. Tryon, R.C. (1939) Cluster Analysis: Correlation Profile and Orthometric (Factor) Analysis for the Isolation of Unities in Mind and Personality. Edwards Brothers, Ann Arbor. - 122 p.
9. Trebuña P., Halčinová J. Mathematical Tools of Cluster Analysis // Applied Mathematics, 2013, 4, 814-816.
10. Нейский И. М. Классификация и сравнение методов кластеризации [Электронный ресурс] / И. М. Нейский.- Режим доступа: [http://it-claim.ru/Persons/Neyskiy/Article2\\_Neiskiy.pdf](http://it-claim.ru/Persons/Neyskiy/Article2_Neiskiy.pdf).
11. Jain A., Murty M., Flynn P. Data Clustering: A Review. // ACM Computing Surveys. 1999. Vol. 31, no. 3,- 69 p.
12. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдения. Разведочный анализ. М.: Мир, - 1981, - 696 с.
13. Кластерный анализ [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://iee.tpu.ru/system/cluster.html>
14. Сигел Э. Практическая бизнес-статистика / Э. Сигел — М. : Вильямс, 2002. — 1056 с.
15. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер — М. : Мир, 1976. — 648 с.
16. Статистика аварійності в Україні за 12 місяців 2016 року [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> (дата звернення: 05.06.2017)

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-16

УДК 616.5-006.81

Акимов В. С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АЛГОРИТМИ БАГАТОРІВНЕВОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАХВОРЮВАНЬ ШКІРИ

**Акимов В. С. Алгоритми багаторівневого навчання для вирішення задачі класифікації захворювань шкіри.** Захворювання шкіри сьогодні належать до розповсюджених медичних проблем. Кількість таких захворювань постійно зростає, незважаючи на розвиток медичної галузі. Рак шкіри є поширеним злоякісним новоутворенням і займає друге рангове місце у структурі онкологічної захворюваності населення України. Первинна діагностика таких хвороб здійснюється візуально, починаючи з клінічних обстежень, що можуть супроводжуватись дерматоскопічним аналізом, біопсією та гістопатологічною експертизою. У роботі виконано аналіз існуючих наукових публікацій щодо класифікації захворювань шкіри при використанні згорткових нейронних мереж, який показав, що на сьогодні існує незначна кількість публікацій з використанням глибокого навчання. Результати існуючих досліджень не містять достатнього рівня точності і результативності щодо класифікації захворювань шкіри, що підтверджує необхідність розробки нових згорткових нейронних мереж і їх подальших досліджень. Тому у роботі запропоновано технічне рішення щодо побудови згорткової нейронної мережі для класифікації захворювань шкіри.

**Ключові слова:** класифікація захворювань шкіри, дерматоскопічні зображення, згорткові нейронні мережі, глибоке навчання.

**Акимов В. С. Алгоритмы многоуровневого обучения для решения задачи классификации заболеваний кожи.** Заболевания кожи сегодня относятся к распространенным медицинским проблемам. Количество таких заболеваний постоянно растет, несмотря на развитие медицины. Рак кожи является распространенным злокачественным новообразованием и занимает второе ранговое место в структуре онкологической заболеваемости населения Украины. Первичная диагностика таких болезней осуществляется визуально, начиная с клинических обследований, которые могут сопровождаться дерматоскопическим анализом, биопсией и гистопатологической экспертизой. В работе выполнен анализ существующих научных публикаций по классификации заболеваний кожи при использовании сверточных нейронных сетей, который показал, что на сегодняшний день существует незначительное количество публикаций, где используется глубокое обучение. Результаты существующих исследований не обладают достаточным уровнем точности и результативности по классификации заболеваний кожи, что подтверждает необходимость разработки новых сверточных нейронных сетей и их дальнейшем исследовании. Поэтому в работе предложено техническое решение по построению сверточной нейронной сети для классификации заболеваний кожи.

**Ключевые слова:** классификация заболеваний кожи, дерматоскопические изображения, сверточные нейронные сети, глубокое обучение.

**Akymov V. S. Algorithms for multi-level learning to solve the problem of classifying skin diseases.** Skin diseases today are common medical problems. The number of such diseases is constantly growing, despite the development of medicine. Skin cancer is a common malignant neoplasm and takes the second ranking place in the structure of cancer incidence in Ukraine. Primary diagnosis of such diseases is carried out visually, starting with clinical examinations, which may be accompanied by dermoscopy analysis, biopsy and histopathological examination. The paper analyzes the existing scientific publications on the classification of skin diseases using convolutional neural networks, which showed that today there are a small number of publications that use deep learning. The results of existing studies do not have a sufficient level of accuracy and effectiveness in the classification of skin diseases, which confirms the need to develop new convolutional neural networks and their further study. Therefore, the paper proposed a technical solution for constructing a convolutional neural network for the classification of skin diseases.

**Key words:** skin diseases classification, dermoscopy images, convolutional neural networks, deep learning.

**Постановка наукової проблеми.** Захворювання шкіри сьогодні належать до розповсюджених медичних проблем. Кількість таких захворювань постійно зростає, незважаючи на розвиток медичної галузі. Рак шкіри є поширеним злоякісним новоутворенням з середньорічним темпом приросту до 5% і може вважатися одним з найвищих серед усіх злоякісних пухлин, крім раку легені [1]. Первинна діагностика таких хвороб здійснюється візуально, починаючи з клінічних обстежень, що можуть супроводжуватись дерматоскопічним аналізом, біопсією та гістопатологічною експертизою [1].

Автоматизована класифікація уражень шкіри з використанням зображень є складним завданням через дрібнозернисту мінливість появи уражень шкіри. Глибокі згорткові нейронні (ЗНМ) (англ. convolutional neural network, CNN, ConvNet) показують потенціал для загальних і спеціалізованих завдань за багатьма дрібнодисперсними категоріями об'єктів.

Відомо, що зміни в структурі шкіри являють собою індикатор різних захворювань, включаючи рак шкіри, який є однією з основних проблем зі здоров'ям у всьому світі [1]. Існує кілька типів уражень шкіри, в тому числі меланома, базальноклітинний рак, меланоцитарний невус, берматофіброма, доброякісний кератоз, актинічний кератоз і судинне ураження. Раннє виявлення,

ідентифікація і класифікація типу ураження займають важливу роль в діагностиці та стратегії лікування. Лікарі покладаються на свій візуальний досвід, щоб оцінити індивідуальність пацієнтів на основі місцевих патернів ураження в порівнянні зі шкірою інших ділянок тіла [2]. Проте, автоматичний аналіз і класифікація дерматоскопічних зображень забезпечують точну і своєчасну оцінку типу ураження шкіри відповідно до структури уражених ділянок тіла [3]. У попереднє десятиріччя [4-10], була виконана класифікація дерматоскопічних зображень шкірних утворень, в якій застосовані: штучна нейронна мережа (ШНМ) [4], метод опорних векторів (МОВ, англ. SVM) [5, 6], модель мішків з особливостями [7], дерево рішень [8], ансамблева класифікація [9] і класифікатори на основі нечіткої логіки [10]. У порівнянні зі статистичними методами [11], ЗНМ забезпечує меншу частоту помилок, при цьому відбувається зіставлення набору ознак або симптомів з ймовірними діагностичними класами. Але набір даних не може бути отриманий з нейронної мережі (НМ), оскільки її параметри виводяться безпосередньо. Крім того, процес класифікації зображень для дерматоскопії ускладнюється наявністю артефактів, шумів, складності та мінливості структур ураження шкіри, зміни освітленості в процесі захвату зображення, густих волосків, бульбашок повітря і низького контрасту між зображеннями здорової шкіри і уражених ділянок.

За допомогою глибокого навчання (ГН) застосовується кілька варіантів класифікації [1]. Алгоритми ГН пропонують архітектуру систем машинного навчання, яка заснована на здатності обробляти великі набори даних за допомогою техніки розпаралелювання складних обчислень. Для класифікації медичних зображень ЗНМ вважаються найбільш поширеною архітектурою для деяких додатків [1, 3]. ЗНМ має значну концептуальну основу, що включає поділ ваг, локальне сприйняття області і тимчасову область або простір понижувальної дискретизації, які гарантують відносні незмінні характеристики зміщення, спотворення і масштабування. Для класифікації уражень шкіри існує незначна кількість досліджень щодо застосування ЗНМ для розпізнавання, але, слід зазначити про проекти ЗНМ, такі як Inception (GoogleNet), AlexNet, QuocNet, BNInception-V2 і Inception-V3 [2, 4, 5, 10, 12-23]. Поряд з тим, необхідно виконати аналіз існуючих досліджень з розглядаємої проблеми класифікації уражень шкіри.

**Аналіз досліджень.** Серед праць, присвячених багаторівневному навчанню для вирішення задачі класифікації захворювань шкіри, слід відмітити [12-23], які стосуються мети наукової праці, її завдань, предмета та об'єкта. Перш за все, це роботи, в яких розглядаються задачі класифікації захворювань шкіри на основі ЗНМ з використанням ГН. До авторів, доробок яких привертає увагу з цих позицій, можна віднести, таких як: Haenssle H.A., Fink C., Schneiderbauer R., Toberer F., Buhl T., Blum A., Kalloo A.A., Hassen A. B. H., Thomas L., Enk A., Uhlmann L., Hao Chang, Гаврилов Д.А. і ін.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** В умовах України не існує систем класифікації або ЗНМ, призначених для вирішення задачі класифікації захворювань шкіри, а також застосування ГН при цьому. Тому актуальним є проведення аналізу існуючих наукових публікацій щодо класифікації захворювань шкіри при використанні ЗНМ, а на основі аналізу – розробити технічне рішення щодо побудови ЗНМ з ГН для класифікації захворювань шкіри.

**Метою роботи** є аналіз існуючих наукових публікацій щодо класифікації захворювань шкіри при використанні ЗНМ та розробка технічного рішення щодо побудови ЗНМ з ГН для класифікації захворювань шкіри.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Для розробки технічного рішення щодо побудови ЗНМ з ГН для класифікації захворювань шкіри виконаємо повний аналіз наукових праць [12-23]. Так, у роботі [12] наведено порівняльні результати діагностичних показників ЗНМ і міжнародної групи з 58 дерматологів, включаючи 30 експертів при виявленні меланоми. Архітектура Google Inception v4 ЗНМ була навчена і перевірена з використанням дерматоскопічних зображень і відповідних діагнозів. У порівняльному дослідженні з використанням рідера використовувався тестовий набір із 100 зображень (рівень I – тільки дерматоскопія; рівень II – дерматоскопія плюс клінічна інформація і зображення). Основними критеріями оцінки були чутливість, специфічність і площа під кривою (AUC) робочих характеристик приймача (ROC) для діагностичної класифікації (дихотомічних) уражень шкіри ЗНМ у порівнянні з міжнародною групою дерматологів. На I рівні дерматологи досягли середньої чутливості і точності класифікації захворювань шкіри 86,6% і 71,3% відповідно. Більше клінічної інформації (рівень II) поліпшило чутливість до 88,9% і точність до 75,7%. Крива ROC ЗНМ показала більш високу точність 82,5% в порівнянні з дерматологами на рівні I (71,3%,  $P < 0,01$ ) і рівні II (75,7%,  $P < 0,01$ ) при їх чутливості 86, 6% і 88,9% відповідно; AUC ЗНМ ROC була більше, ніж середня площа ROC дерматологів (0,86 проти 0,79,  $P < 0,01$ ). У результаті, в роботі зроблено висновок про те, що більшість дерматологів перевершило ЗНМ. Однак кожному дерматологу може допомогти

класифікація зображень ЗНМ. Відповідно, автори роблять висновок про необхідність подальших удосконалень класифікації зображень ЗНМ з наступними дослідженнями.

На думку автора, наведені результати досліджень підтверджують вірний напрям, в якому необхідно рухатись, щоб досягти найкращих результатів щодо класифікації уражень шкіри.

У [13] виконали подальші спроби, відштовхуючись від праці [13], де була зроблена спроба ототожнення роботи ЗНМ і дерматолога. Оскільки НМ є наближеннями до функції чорного ящика, а медичному експерту важко міркувати про їх результати, то він не довірятиме мережі в разі незгоди з її висновками. У такому випадку пояснення того, чому ЗНМ приймає певне рішення, стає цінною інформацією. У роботі показано, що, в деякій мірі, ЗНМ базуються на функціях, аналогічних тим, які використовуються дерматологами для постановки діагнозу. Проте, необхідні додаткові дослідження для повного пояснення їх результатів. У роботі використовувалася ЗНМ з попередньо навченої великою базою даних зображень, таких як ImageNet, з точним налаштуванням цільового набору даних. Досліджувана ЗНМ представлена 4 згортковими блоками, кожен з яких утворений 2 згортковими шарами, за якими слідує операція максимального об'єднання. Згорткові шари в кожному блоці мали розмір ядра  $3 \times 3$  з 8, 16, 32 і 64 фільтрами. Далі слідували 3 повністю пов'язаних шари з 2056, 1024 і 64 прихованими шарами. Усі шари мають випрямлені лінійні одиниці (ReLU) у вигляді нелінійності. Ефективність, що отримана в результаті обробки ЗНМ, перевірялася на тестовому наборі, що складався з 600 зображень для дерматоскопії (483 доброякісних уражень, 117 злаякісних уражень), досягнула показника AUC 0,75. Встановлено, що згорткові шари високого рівня активуються за тими ж критеріями, які використовуються дерматологами, такими як межа ураження, більш темні області всередині ураження, навколишня шкіра тощо. Відзначається про результати, які дають певне уявлення про особливості вивчених ЗНМ, але, які не пояснюють причинно-наслідковий зв'язок між виявленими особливостями ЗНМ і її вихідними даними. Автори вважають, що необхідні додаткові дослідження в області визначення окремих структур шкіри (глобули, точки, структури кровоносних судин тощо), які визначають дерматологи, з метою зробити ЗНМ кращим інструментом підтримки прийняття рішень для дерматологів.

Безперечно, людина-професіонал може краще виконати аналіз і зробити висновки, ніж застосовані ЗНМ. Але, якщо ЗНМ будуть навчати такі професіонали, то можна в майбутньому досягти ліпших результатів і різниці між висновками ЗНМ і лікарями не спостерігатиметься.

У роботі [14] запропоновано нову стратегію, що заснована на техніці глибокого навчання, з досягненням дуже високої сегментації ураження шкіри і точності діагностики меланоми. При цьому була побудована НМ сегментації (skin\_segНМ), яка досягла дуже високої точності виявлення межі ураження, а також побудована глибока ЗНМ в Google Inception v3 (skin\_reЗНМ) з добре навченими вагами, що дозволяє досягти високої точності прогнозування. Було досліджено 2000 дерматоскопічних зображень, що включають 374 зображення меланоми, 1372 зображення невуса і 254 зображення себорейного кератозу. У процесі навчання і тестування НМ не була використана інформація про пацієнтів, хоча і відомо, що меланома залежить від віку і статі. НМ сегментації ураження шкіри (skin\_segНМ) подібна архітектурі U-Net, імплементація якої може бути здійснена на базі таких інструментів як Tensorflow, Theano і Keras. Архітектура skin\_segНМ включає в себе ряд згорткових і відокремлюючих шарів. НМ розпізнавання меланоми (skin\_reЗНМ) побудована на основі backbend мережі Google Inceptions V3. Вихідний шар Inceptions V3 замінений на повний рівень з'єднань (1024 вузла). В архітектурі є дві НМ Inceptions V3, одна відповідає за повнорозмірні дерматоскопічні зображення, інша – за обрізання дерматоскопічного зображення з skin\_segНМ, яка підтримувала тільки велику ділянку ураження. Потім обидва (1024) вузла об'єднуються, і нижче зв'язується вихідний шар з 3 вузлами. Ці 3 вузла представляють 3 класи, включаючи меланому, невус і себорейний кератоз. Навчання мережі відбувається із заморожуванням всіх шарів Inception V3, а останні два блоки шарів є шари навчання, з дуже низькою швидкістю оптимізації. У підсумку робиться висновок, що добре навчені дерматологи домінують в діагностичній точності. Тобто необхідні подальші розробки систем автоматичного аналізу зображень для підвищення їх точності.

Результати роботи підтверджують необхідність вдосконалення ЗНМ для досягнення найкращого результату з класифікації медичних зображень захворювання шкіри.

У роботах [15-17] запропоновано алгоритм для первинної діагностики меланоми шкіри на основі глибоких ЗНМ, які досягають точності визначення меланоми в 91% на дерматоскопічних зображеннях. Даний алгоритм реалізований і доступний в тестовій версії за адресою skincheckup.online. Архітектура НМ заснована на Inception v.3 з пакетною нормалізацією Batch normalization, шар якого міститься в кожному блоці з двох згорток, що дозволяє істотно прискорити процес навчання ЗНМ зі зниженням імовірності перенавчання. Для підвищення якості розпізнавання і класифікації, всього було навчено 5 НМ з однаковою архітектурою, але, які мають різні ваги і, що

об'єднувалися в один ансамбль. Авторами відзначається отримання високих результатів використання даних ЗНМ, які можуть бути використані для створення вбудованих систем, WEB і мобільних додатків, що вимагає подальших досліджень.

Приведені дані, є дещо сумнівними, оскільки, точність визначення сягає занадто високих значень з розпізнавання меланоми шкіри з використанням ЗНМ з ГН.

У [18] подано класифікацію уражень шкіри з використанням однієї ЗНМ, безпосередньо навченої наскрізними зображеннями, використовуючи тільки пікселі і мітки хвороб в якості вхідних даних. Навчання ЗНМ виконувалося з використанням набору даних з 129450 клінічних зображень. Досліджено використання бінарної класифікації: карциноми кератиноцитів в порівнянні з доброякісними себорейними кератозами і злоякісні меланоми в порівнянні з доброякісними невусами. Перший випадок являє ідентифікацію найбільш поширених видів раку, другий являє ідентифікацію смертельного раку шкіри. ЗНМ досягає продуктивності нарівні з усіма протестованими експертами в обох задачах, демонструючи штучний інтелект, що здатний класифікувати рак шкіри з рівнем компетентності, порівняним з дерматологами. У роботі використана архітектура GoogleNet Inception v3 ЗНМ, яка була попередньо навчена приблизно на 1,28 млн. зображень (1000 категорій об'єктів) і навчена за допомогою перенесення. Також ЗНМ навчена з використанням 757 класів хвороби, організованих у вигляді дерева таксономії 2032 хвороб, в яких окремі хвороби утворюють вузли. При цьому отримані результати досліджуваної ЗНМ досягають  $72,1 \pm 0,9\%$  загальної точності, а два дерматолога –  $65,56\%$  і  $66,0\%$  точності в підмножині набору перевірки. При поділі хвороб за дев'ятьма класами, ЗНМ досягає  $55,4 \pm 1,7\%$  загальної точності, тоді як ті ж два дерматолога досягають  $53,3\%$  і  $55,0\%$  точності. Авторами наголошується, що мобільні пристрої, оснащені глибокими НМ, потенційно можуть розширити охоплення дерматологів за межами клініки, забезпечуючи недорогий універсальний доступ до життєво важливої діагностичної допомоги. Крім того, наголошується, що наведений метод в основному обмежений даними і може класифікувати багато візуальних умов, якщо існує достатня кількість навчальних прикладів.

Отримані дані можна ототожнювати з дійсними, оскільки в даній роботі враховані похибки і автори наводять дані з алгоритмів навчання ЗНМ і порівнюють їх з висновками двох дерматологів.

У роботі [19] запропоновано систему для обробки зображень, яка представляє собою ансамбль з десяти ЗНМ, що працюють паралельно, і однієї мережі, що використовує їх результати для вироблення остаточного рішення. Така структура системи дозволяє підвищити ефективність її роботи на кілька процентних пунктів у порівнянні з однією НМ. Запропонована система навчена більш ніж на 5000 і згодом протестована на 200 родимках шкіри. При цьому була використана згорткова фільтрація, а також метод сегментації ураження шкіри. Результати виявилися дуже обнадійливими: система досягла високих результатів класифікації:  $85\%$  AUC,  $84\%$  точності,  $91\%$  чутливості і  $78\%$  специфічності в середньому. Приблизно такі ж результати, отримані за допомогою методів глибокого навчання були досягнуті і в роботах [20–22]. Авторами відзначено, що розроблена система може бути використана в якості системи підтримки прийняття рішень для лікарів первинної медичної допомоги, як система, здатна до самоаналізу шкіри за допомогою дерматоскопії, а також як важливий інструмент для поліпшення процесу прийняття рішень з біопсії.

На думку автора, наведені результати досліджень становлять інтерес і підтверджують необхідність у розробці і нових дослідженнях ЗНМ з ГН для поліпшення результатів щодо класифікації уражень шкіри.

Робота [23] спрямована на поліпшення автоматичної класифікації уражень шкіри, а дослідження включали набір даних з 10015 дерматоскопічних тренувальних зображень 7 різних типів уражень шкіри для стимулювання розробки автоматичних 7-здатних методів класифікації, а саме: меланома (MEL), меланоцитарний невус (NV), базальноклітинний рак (BCC), актинічний кератоз (AKIEC), доброякісний кератоз (BKL), дермато-бром (DF) і судинні ураження (VASC). Використовувалася платформа DenseNets, в якій перша модель була призначена для класифікації між доброякісними ураженнями і іншими, а друга модель – виконує детальну класифікацію за іншими 6 класами. У цілому обидві моделі демонструють однакову продуктивність в перевірочному наборі даних. Авторами відзначають про відсутність прогресу в навчанні для певних класів, таких як MEL або AKIEC, що пов'язано з відсутністю достатньої інформації для навчання класифікатора для даних класів. Тому необхідно продовжити дослідження.

Приведені дані підтверджують необхідність значної вибірки медичних зображень захворювань шкіри для навчання ЗНМ з отриманням більш значущих результатів.

Авторами роботи [24] досліджено припущення про те, що сегментація покращує класифікацію уражень шкіри з використанням ЗНМ. Перевірка класифікації з використанням різних ступенів сегментації зображень з архіву даних ISIC (1279 зображень уражень шкіри і відповідних

бінарних масок з нанесеними мітками уражень) з архітектурою VGG-16 показала несподівані результати. Набір даних був попередньо розділений на 900 навчальних зображень і 379 тестових зображень. Замість того, щоб навчати модель ЗНМ з нуля з використанням невеликого набору даних, був реалізований підхід до навчання переносу, який витягує шари з НМ, раніше навченої на іншому, більшому наборі даних [25]. На основі VGGNet, яка показала високі результати [26], побудована ЗНМ, що навчена на наборі даних ImageNet, який містить понад 14 мільйонів природних зображень [27]. Архітектура VGG-16 складається з п'яти згортальних блоків і модифікованого остаточного повністю підключеного блоку (256), з функцією активації ReLU і одного сигмоїдального вузла. Були заморожені перші чотири згортальних блоки, ініціалізували повністю зв'язані шари з рівномірним розподілом (процес, відомий як рівномірна ініціалізація), а потім виконали навчання ЗНМ за допомогою зображень. Перші результати показали, що найвища ефективність класифікації має місце, коли виконується сегментація з попередньою класифікацією і нетрадиційна подальша дилатація області сегментації. Точність і чутливість бінорного класифікатора ЗНМ, яка виявляє меланому на дерматоскопічних зображеннях, підвищується з використанням сегментованих зображень (зображень, які містять тільки ураження і виключають дані, що оточують ураження). При цьому точність, чутливість і AUC покращилися, коли до зображень з набору даних ISIC була застосована ідеальна сегментація. З трьох показників ефективності, чутливість була найбільш покращена, збільшившись з 24,0% до 45,3%. Автори зазначають, що у майбутній роботі слід розробити ефективні методи сегментації і вивчити вплив включення даних, що оточують ураження, під час класифікації.

Приведена група робіт вказує на необхідність виконання сегментації для подальшого розпізнання медичних зображень захворювань шкіри за допомогою ЗНМ на основі ГН. Це відкриває можливість отримати найточніші результати щодо класифікації медичних зображень захворювань шкіри.

Підсумовуючи виконаний аналіз, можна на його основі запропонувати технічне рішення щодо побудови ЗНМ для класифікації захворювань шкіри для подальших досліджень.

При розробці ЗНМ для класифікації захворювань шкіри доцільно використовувати потужності хмарних технологій, тобто пропонується ЗНМ розгорнути на хмарному сервері, наприклад, таких як GoogleNet, ResNet, QuocNet, тощо для отримання більш точного результату і можливого загального доступу. Модель глибокого навчання, що реалізована в таких інструментах як Tensorflow, Theano, повинна використовуватися для прогнозування ймовірності захворювань шкіри на стороні використовуваного хмарного сервера. Наприклад, ResNet має три параметричних рівня, а кожен шар має ЗНМ, пакетну нормалізацію, Maxpool і ReLU, що дозволить досягти високих результатів при класифікації захворювань шкіри в майбутньому.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Виконаний аналіз існуючих наукових публікацій щодо класифікації захворювань шкіри при використанні згорткових нейронних мереж показав, що на сьогодні існує незначна кількість публікацій з використанням глибокого навчання. Разом з тим, слід відзначити про високі досягнення таких авторів як Haenssle H.A., Fink S., Schneiderbauer R., Toberer F., Buhl T., Blum A., Kalloo A.A., Hassen A. B. H., Thomas L., Enk A., Uhlmann L., Hao Chang, Гаврилов Д.А. і інших у даному напрямі досліджень. Проте, жоден з них не досягнув достатнього рівня точності і результативності щодо класифікації захворювань шкіри, що підтверджує необхідність розробки нових ЗНМ і їх подальших досліджень.

Також у роботі запропоновано технічне рішення щодо побудови ЗНМ для класифікації захворювань шкіри. Ймовірний склад шарів ЗНМ буде досліджено у наступних роботах.

#### Список бібліографічних посилань

1. Ошивалова О.О. Профілактика раку шкіри. Клиническая онкология, 2 (18), 2015. С. 22-24.
2. Pathan, S., Prabhu, K. G., & Siddalingaswamy, P. C. (2018). Techniques and algorithms for computer aided diagnosis of pigmented skin lesions - A review. Biomedical Signal Processing and Control, 39, 237-262.
3. Lee, H., & Chen, Y. P. P. (2015). Image based computer aided diagnosis system for cancer detection. Expert Systems with Applications, 42(12), 5356-5365.
4. Kaur, G., & Aggarwal, E. N. (2016). Supervised Classification of Dermoscopic Images Using Gaussian Mixture Model and Artificial Neural Network. Imperial Journal of Interdisciplinary Research, 2(8).
5. Yuan, X., Yang, Z., Zouridakis, G., & Mullani, N. (2006, August). SVM-based texture classification and application to early melanoma detection. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE (pp. 4775-4778). IEEE.
6. Wahba, M. A., Ashour, A. S., Napoleon, S. A., Elnaby, M. M. A., & Guo, Y. (2017). Combined empirical mode decomposition and texture features for skin lesion classification using quadratic support vector machine. Health information science and systems, 5(1), 10.
7. Barata, C., Marques, J. S., & Rozeira, J. (2013, July). Evaluation of color based keypoints and features for the classification of melanomas using the bag-of-features model. In International Symposium on Visual Computing (pp. 40-49). Springer, Berlin, Heidelberg.

8. Ferris, L. K., Harkes, J. A., Gilbert, B., Winger, D. G., Golubets, K., Akilov, O., & Satyanarayanan, M. (2015). Computer-aided classification of melanocytic lesions using dermoscopic images. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 73(5), 769-776.
9. Xie, F., Fan, H., Li, Y., Jiang, Z., Meng, R., & Bovik, A. (2017). Melanoma classification on dermoscopy images using a neural network ensemble model. *IEEE transactions on medical imaging*, 36(3), 849-858.
10. Salah, B., Alshraideh, M., Beidas, R., & Hayajneh, F. (2011). Skin cancer recognition by using a neuro-fuzzy system. *Cancer informatics*, 10, CIN-S5950.
11. Burke, H. B. (1994, January). Artificial neural networks for cancer research: outcome prediction. In *Seminars in Surgical Oncology* (Vol. 10, No. 1, pp. 73-79). New York: John Wiley & Sons, Inc.
12. Haenssle H.A., Fink C., Schneiderbauer R., Toberer F., Buhl T., Blum A., Kalloo A., Hassen A. B. H., Thomas L., Enk A., UhlmaHM L. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists // *AHMals of Oncology*. 2018. № 8 (29). С. 1836–1842.
13. Pieter Van Molle, Miguel De Strooper, Tim Verbelen, Bert Vankeirsbilck, Pieter Simoens, and Bart Dhoedt. Visualizing Convolutional Neural Networks to Improve Decision Support for Skin Lesion Classification, arXiv:1809.03851v1 [cs.CV] 11 Sep 2018, pp. 1-8.
14. Hao Chang. Skin cancer reorganization and classification with deep neural network // [arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1703/1703.00534.pdf](http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1703/1703.00534.pdf)
15. Гаврилов Д.А. и др. Автоматизированная диагностика меланомы кожи на основе математической модели искусственной сверточной нейронной сети // *Исследования и практика в медицине* 2018, т.5, №3, с. 110-116.
16. Гаврилов Д.А. и др. Диагностика меланомы с использованием нейронной сети Inception v3 // *Biomedical Image Processing and Analysis GraphiCon 2018*. – С. 266-269.
17. GavriloV D.A., Shchelkunov N.N., Melerzanov A.V. Deep learning based skin lesions diagnosis . *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W12, 2019 Int. Worksh. on "Photogrammetric & Computer Vision Techniques for Video Surveillance, Biometrics and Biomedicine"*, 13-15 May 2019, Moscow, Russia, 81-85.
18. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M., Thrun, S.: Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 542(7639), 115 (2017), 115-118.
19. Michał Grochowski, Agnieszka Mikołajczyk, Arkadiusz Kwasigroch. Diagnosis of malignant melanoma by neural network ensemble-based system utilising hand-crafted skin lesion features. *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 26 (2019) No. 1, pp. 65-80.
20. Kwasigroch, A., Mikołajczyk, A., Grochowski, M. (2017). Deep neural networks approach to skin lesions classification – A comparative analysis. *Methods Models Autom. Robot. MMAR 2017 22nd Int. Conf. On, IEEE*, 1069–1074.
21. Kwasigroch, A., Mikołajczyk, A., Grochowski, M. (2017). Deep convolutional neural networks as a decision support tool in medical problems – malignant melanoma case study. *Pol. Control Conf., Springer*, 848–856.
22. Yu, Z., Jiang, X., Zhou, F., Qin, J., Ni, D., Chen, S., Lei, B., Wang, T. (2018). Melanoma Recognition in Dermoscopy Images via Aggregated Deep Convolutional Features. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
23. Christoph Baur, Salma Farag, Navdar Karabulut, Gurudeep Parala, Abhishek Rana, Shadi Albarqouni, and Nassir Navab. Cascaded DenseNets for Multi-Class Skin Lesion Classification, (2018), 7.
24. Jack Burdick, Florida Atlantic University; Oge Marques, PhD (Presenter); Adrià Romero López; Xavier Giró-i-Nieto; Janet Weinthal. The Impact of Segmentation on the Accuracy and Sensitivity of a Melanoma Classifier Based on Skin Lesion Images // *SIIM 2017 Scientific Session Analytics & Deep Learning Part 3*, (2017), 6.
25. Yosinski J, Clune J, Bengio Y, Lipson H: How transferable are features in deep neural networks? *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3320-3328, 2014.
26. Simonyan K, Zisserman A: Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
27. Russakovsky O, Deng J, Su H, Krause J, Satheesh S, Ma S, Huang Z, Karpathy A, Khosla A, Bernstein M, Berg AC: ImageNet large scale visual recognition challenge. *International Journal of Computer Vision* 115(3):211-52, 2015.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-5

УДК 004.056.5

Здолбівська Н.В., к.т.н., доц., Здолбівський А.П., Семенко О.О.

Луцький національний технічний університет

## СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ КОРИСТУВАЧІВ

**Здолбівська Н.В., Здолбівський А.П., Семенко О.О. Системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів.** У статті розглянуто сучасні засоби системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів. Проведено порівняльний аналіз засобів безпеки. Проаналізовано особливості функціонування, основні характеристики та параметри, які необхідно враховувати при проектуванні систем доступу, виборі режиму роботи і конкретної апаратури для реалізації. Розроблено програмно-апаратний комплекс для тестування роботи найпоширеніших сьогодні на ринку засобів автентифікації. Комплекс використовує платформу Arduino, як найбільш недороге та водночас гнучке рішення із великою кількістю модульних давачів та засобів фізичної ідентифікації та контролю.

**Ключові слова:** системи електронної ідентифікації, системи контролю та управління доступом, електронні замки, електронні ключі.

**Zdolbitska N.V., Zdolbitsky A.P., Semenko O.O. Системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів.** В статье рассмотрены современные средства системы электронной идентификации и управления доступом пользователей. Проведен сравнительный анализ средств безопасности. Проанализированы особенности функционирования, основные характеристики и параметры, которые необходимо учитывать при проектировании систем доступа, выборе режима работы и конкретной аппаратуры для реализации. Разработан программно-аппаратный комплекс для тестирования работы самых распространенных сегодня на рынке средств аутентификации. Комплекс использует платформу Arduino, как наиболее недорогое и одновременно гибкое решение с большим количеством модульных датчиков и средств физической идентификации и контроля.

**Ключевые слова:** системы электронной идентификации, системы контроля и управления доступом, электронные замки, электронные ключи.

**Zdolbitska N.V., Zdolbitsky A.P., Semenko O.O. Electronic identification and access control systems for users.** The article deals with modern means of electronic identification and access control system. A comparative analysis of security measures has been carried out. Functional features, main characteristics and parameters to be considered in the design of access systems, the choice of operating mode and specific equipment for implementation are analyzed. A hardware and software complex has been developed to test the most common authentication tools on the market today. The complex uses the Arduino platform as the most inexpensive yet flexible solution with many modular sensors and physical identification and control tools.

**Keywords:** electronic identification systems, access control and management systems, electronic locks, electronic keys.

### Постановка проблеми.

Одна з основних проблем, яка актуальна сьогодні для підприємств – це забезпечення безпеки громадян та збереження їх матеріальних та особистих цінностей. Системи контролю й керування доступом створюються, як правило, на промислових підприємствах, складських комплексах, в офісах і гаражах з метою обмеження доступу в різні зони з підвищеними вимогами до безпеки, тарифікації послуг, контролю робочого часу.

Впровадження систем контролю і управління доступом, безумовно, створює для компанії додатковий технологічний і сучасний імідж. Тому такі системи встановлюються як у банківській сфері, на об'єктах середнього і малого бізнесу (супермаркети, торговельні комплекси, готелі, приватний сектор), так і на об'єктах державного та загальносуспільного призначення (аеропорти, вокзали, прикордонні території). Незаперечною перевагою даних систем є зручність для користувача – можливість отримати доступ до різних приміщень (об'єктів), використовуючи один носій кодової інформації (у більшості випадків – картка). Різні системи електронної ідентифікації дозволяють чітко розмежувати доступ і проконтролювати дії персоналу та інших відвідувачів. Основні пристрої доступу: турнікети, електромеханічні та електромагнітні замки, засувки, шлагбауми, паркомати, веб-камери. Сучасний ринок пропонує комплекс різноманітних рішень від різних компаній-виробників, тому у покупця є широкий вибір апаратних засобів безпеки і програмне забезпечення для управління ними [1].

Питанням системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів присвячено багато досліджень [3-9,13]. Зокрема використання методу біометричних технологій ідентифікації спрощує процедуру автентифікації особи та піднімає надійність системи [2,11,12]. Підсилити системи контролю можна з допомогою веб-камер, вивівши зображення в режимі реального часу [7], online пристроїв доступу або мобільних ідентифікаторів [10].

Система контролю і управління доступом – це комплекс технічних та програмних засобів безпеки, що здійснює регулювання входу / виходу та переміщень людей чи транспортних засобів на

територіях, які знаходяться під охороною, для адміністративного моніторингу та попереджень несанкціонованого проникнення.

За допомогою системи контролю доступу досягається:

- електронна ідентифікація осіб, що мають право доступу;
- забезпечення можливості дистанційної візуальної ідентифікації власників перепусток;
- аудит робочого часу;
- розмежування доступу до різних приміщень;
- керування автоматичними режимами;
- реєстрація часу перебування особи на об'єкті;
- обробка інформації та ведення статистики.

Основні функції системи можна назвати такі:

- організація пропуску на об'єкті;
- введення електронного обліку відвідувачів і їх реєстрація в базі;
- контроль периметра;
- формування протоколу подій;
- забезпечення дисципліни на об'єкті;
- контроль приходу / відходу співробітників підприємства, дотримання ними трудового порядку;
- контроль дій співробітників охорони, операторів;
- запобігання проникнення осіб, допуск яких до будівлі заборонений;
- запобігання проникнення на склад, у виробничий відділ або офіс осіб, доступ яким туди заборонений,
- системи відеоспостереження.

Системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів дають можливість забезпечити безпеку підприємства шляхом обмеження доступу в різні зони об'єкта або на весь об'єкт в цілому.

На об'єктах системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів здійснюються незалежно з іншими інформаційними мережами, а також може інтегруватися в чинні системи.

#### **Викладення основного матеріалу і обґрунтування отриманих результатів.**

Розрізняють централізовані та автономні системи електронної ідентифікації і управління доступом користувачів.

Централізовані системи, в яких контролери об'єднано в єдину мережу та підключено до комп'ютера, що здійснює загальне керування, що входять до складу вже наявних систем: відеоспостереження, пожежної та охоронної сигналізації. Їх встановлюють на великих офісних та промислових об'єктах з великою кількістю співробітників та відвідувачів. Система дозволяє одночасно керувати значним числом пунктів пропуску, оперативно вводити зміни до програми та додавати нові функції.

Автономні – самостійно керують роботою периферійних елементів та контролюють точки доступу. Використовуються в адміністративних, суспільних та освітніх закладах, приватних будівлях тощо. Безпосередньою перевагою автономних систем є помірна вартість та простота установлення, легке керування та надійність в експлуатації.

Автономна система – управління розрахована на незначну кількість дверей (до 20 шт.) та користувачів (не більше 50 осіб). Це ідеальне рішення для таких об'єктів, як невеличкі магазини, офісні та житлові приміщення. Програмування системи відбувається за допомогою карток.

Бездротова система – найскладніша та найуніверсальніша серед усіх. Вона передбачає і віддалене управління доступом у режимі реального часу, коли кількість користувачів у системі велика і права доступу постійно змінюються. Широко застосовується в офісах, агенціях, школах, університетах, культурних і спортивних центрах, виробничих приміщеннях тощо.

#### **Принцип роботи**

Ідентифікатор – ключовий елемент, що встановлює право доступу особи на контрольну територію. Цю функцію можуть виконувати:

- картка з магнітною смужкою;
- безконтактна картка;
- спеціальний брелок;
- цифровий код, що безпосередньо вводиться на клавіатурі;

- біометричні системи аутентифікації.

Інформація зчитується спеціальним пристроєм та передається на контролер для подальшої обробки. Зазвичай, зчитувальні пристрої виконують з урахуванням вимог підвищеного опору механічним впливам.

Контролер. На основі отриманих даних саме він приймає рішення щодо надання чи заборони доступу. Залежно від типу системи, контролер може працювати автономно чи в об'єднанні з іншими під керуванням головного комп'ютера. Для гарантованої безперервної роботи контролер забезпечено блоком резервного живлення або власним акумулятором.

Отримана інформація зберігається в пам'яті системи для подальшого використання: складання звітів, статистики, обліку робочого часу.

Додаткове обладнання: конвертори, давачі, кнопки виходу, турнікети, електронні замки, механізми доведення дверей, аларми тощо.

За потреби, до системи контролю і управління доступом може бути встановлене програмне забезпечення. Програмне забезпечення дає змогу формувати різноманітні звіти щодо користувачів, ключів, подій тощо. Поряд з цим існують і слабкі сторони таких систем, а саме – залежність від енергоживлення і необхідність проводити постійне сервісне обслуговування як апаратних, так і програмних компонентів даних систем.

Вартість обладнання та монтажу систем контролю і управління доступом залежить від конфігурації системи, кількості точок доступу, а також типів і марок використовуваного обладнання. У наведеній таблиці вказані ціни на різні системи контролю і управління доступом при реалізації їх через інтернет-компанії. Як видно з таблиці 1, в якій наведена лише мала частина комплектів систем контролю і управління доступом, використовуваних для невеликих об'єктів захисту, на ринку подібного обладнання можна вибрати модель, необхідну по функціональності, надійності і відповідно до фінансових можливостей покупця.

Таблиця 1. Тип системи контролю і управління доступом

Тип системи контролю і управління доступом	Середня вартість, грн
З доступом по електронному ТМ (TouchMemory) ключу з електромеханічним накладним замком для установки в приміщенні	1798
З доступом по телефону через інтернет з електромагнітним замком для установки на вуличні вхідні двері	3265
З відеодомофоном і викличною панеллю з доступом по електронному ТМ (TouchMemory) ключу з електромагнітним замком	5787
З доступом за відбитком пальця і карти з вологостійким електромагнітним замком для установки на ворота	10459
З онлайн-урахуванням робочого часу та доступом за відбитком пальця і карти з електромагнітним замком для установки в приміщенні	13146

Переваги використання:

- зручність і простота використання;
- забезпечення можливості дистанційної візуальної ідентифікації власників перепусток;
- доступна ціна;

Загрози і ризики:

- матеріальні втрати;
- зміна профілю доступу;
- клонування – створення нових пропусків;
- саботаж або відмова в доступі;
- правка співробітниками логів свого робочого часу;

Дослідження показали, що найбільш використовуваним з усіх біометричних методів для ідентифікації особистості (голосова ідентифікація, сітківка ока, геометрія обличчя і т.ін.) є використання відбитка пальця, оскільки ймовірність помилки при ідентифікації користувача набагато менша у порівнянні з іншими біометричними методами та сам пристрій потребує небагато місця. Використання цього методу спрощує процедуру аутентифікації особи та піднімає надійність системи в цілому.

Пропуск до приміщення працівників, допуск яких не передбачає надання чи використання тимчасової перепустки, здійснюється виключно за допомогою пластикової перепустки, що є одночасно службовим посвідченням

Таблиця 2. Порівняльна характеристика використання ідентифікаторів

Ідентифікатор	Переваги використання:	Недоліки
<p>Мобільний ідентифікатор U-Prox BLE ID</p> 	<p>Зручність (смартфон завжди з Вами); Доступ в приміщення без карт; Відкривання дверей і шлагбаумів зі смартфона; Регульована дальність читання; Безпечна ідентифікація. Ціна: 0.8 \$.</p>	<p>Періодичне оновлення ПЗ.</p>
<p>Ключ-брелок з вбудованим чіпом</p> 	<p>Тонкий корпус, вибір кольорів; Привабливий зовнішній вигляд, Друк ID: так Можливість нанесення логотипу; Робоча температура: -30 ° С ... + 50 ° С; Температура зберігання: -40°С ... + 75°С; Розміри (мм): 37х30х3. Ціна: 0.5 \$. Носії даних (брелоки) також можна прикріпити до механічних ключів.</p>	<p>Проблема втрати безпеки виникає при втраті ключ-брелока.</p>
<p>Карта доступу IL-06M 1K</p> 	<p>Друк ID: немає; Кольоровий друк: так; Робоча температура: -30 ° С ... + 75 ° С; Температура зберігання: -40°С...+ 85°С; Обсяг пам'яті: 1024 байт, EEPROM; Розміри (мм): 86 x 54 x 0.76. Габаритні розміри (мм) 86 x 54 x 0.76 Вага (г) 6 Ціна: 0.5 \$.</p>	<p>Малий термін служби, необхідність чіткого позиціонування. Проблема втрати безпеки виникає при втраті самої картки. Тобто, залишається проблема ідентифікації самого власника картки.</p>
<p>Браслет для доступу IL-11ER</p> 	<p>Розбірний корпус; Дозволяє нанести логотип; Можливість наносити персоналізацію; Вологозахисний; Еластичний і міцний; Розмір (мм): діаметр 60; Колір: червоний, синій; Матеріал: пластик, силікон. Ціна: 2 \$.</p>	<p>Робітникам, які працюють на підприємстві біля станків, забороняється працювати зручним годинником або браслетом.</p>
<p>Сканер відбитків пальців</p> 	<p>Температура: -20 ° - +50 ° Розміри: 56 x 20 x 21,5 мм Ціна: 5 \$. Його зручно використовувати і не можна забути.</p>	<p>При механічному пошкодженні – доступ неможливий.</p>

Авторами розроблено програмно-апаратний комплекс для тестування роботи найпоширеніших сьогодні на ринку засобів автентифікації. Комплекс використовує платформу Arduino, як найбільш недороге та водночас гнучке рішення із великою кількістю модульних датчиків та засобів фізичної ідентифікації та контролю.

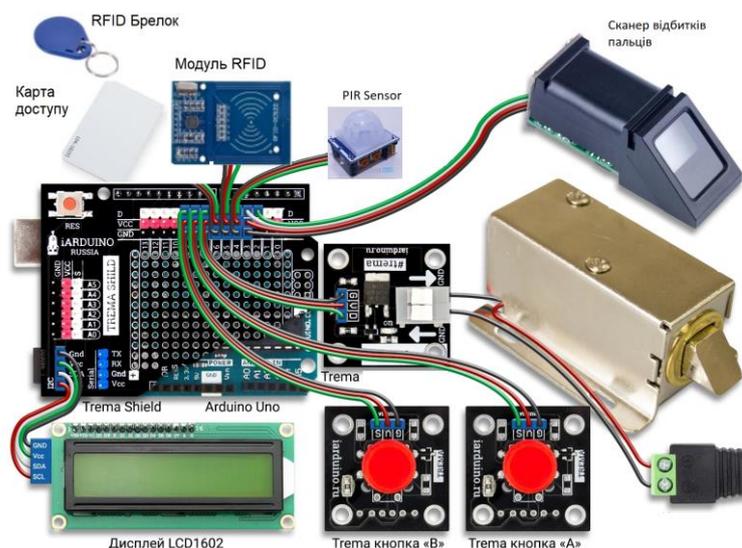


Рисунок 1. – Система контролю доступу на базі Arduino

У даному випадку розглянуто проект, що стосується системи автоматичного відкривання та закривання дверей. Система керується мікроконтролером ATmega328P та включає електромагнітний замок, який відкриває двері, ідентифікатори, РК-дисплей для відображення інформації про стан дверей, аудіо-зумер для подачі звуку протягом тривалості відкритих дверей і контролер для контролю відкривання і закривання дверей, якщо людина або предмет, виявлені датчиком. Розглянуто випадок, коли унікальний ідентифікатор ключа попередньо задається в кодї програми. Можна доопрацювати і розширити функціонал контролера. Наприклад, додати функцію додавання нових ключів і видалення їх з пам'яті.

#### Висновки

Система електронної ідентифікації і управління доступом користувачів – це один з важливих факторів питання комплексного забезпечення безпеки підприємства. Вона призначена для санкціонованого доступу співробітників і транспорту в дозволєну зону об'єкта, ведення обліку робочого часу. Система контролю доступу фіксує і обробляє інформацію про кожне проходження користувача через елемент обмеження доступу, а також захищає приміщення від несанкціонованого проникнення.

Основний спосіб покращення захищеності: поєднання декількох методів ідентифікації.

Усі фактори аутентифікації мають свої недоліки і кожен окремо взятий фактор не завжди може забезпечити належний рівень захисту. Якщо виникає необхідність організувати сильний захист, стає очевидно, що потрібно комбінувати кілька факторів і використовувати їх разом.

#### Список бібліографічних посилань

1. Безопасность средств безопасности:СКУД [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/277279/>. – Назва з екрану.
2. Бєсєдїна С.В., Литвин Ю.В. Особенности разработки информационной системы идентификации особи за відбитками пальців Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції, 20-22 квітня 2017 року, м. Кропивницький: ЦНТУ, 2017.– С. 23-24.
3. Волхонский В.В. Системы контроля и управления доступом - Санкт-Петербург: СПб: Университет ИТМО. 2015. – 105 с.
4. Гадецька З.М. Створення системи безпеки в готелях України та Черкаського регіону. –Молодий вчений – № 2 (05) – лютий, 2014 р. – С. 8-11.
5. Здолбіцька Н.В., Здолбіцький А.П., Брей В.Ю. Електронний замок на базі AT89C2051 з ідентифікатором I-Button // Тези Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції Сучасні методи, інформаційне та програмне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами, 28 квітня 2015 р. – Луцьк, 2015. – С. 48-49.
6. Литвинов В. А., Ніколаєв В. В., Голубєв Л. П. Аудентифікація користувача в автоматизованих мікропроцесорних системах // Технології та дизайн. Мехатроніка, комп'ютерна інженерія та метрологія 2304-2605 № 1 (26) 2018 р. –с. 1 - 9.
7. Монашко С.Ю., Здолбіцька Н.В., Здолбіцький А.П. Arduino – проект рухомої веб-камери // Міжвузівський збірник Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 15. – 2014. – С. 32–36.

8. Невлюдов И.Ш., Пономарева А.В, Бортникова В.О., Мордик А.А. Интеллектуальная система контроля и управления доступом на основе интегральных параметров. Технология приборостроения 3' 2016. - С. 3-6.
  9. Резанов Б.М., Бульба С.С., Шокотко Д.В. Факторы аутентификации системы контроля та управління доступом // Кібернетична безпека. Системи управління, навігації та зв'язку, 2017, випуск 3(43) – 63-65 с.
  10. Современные Системы контроля доступа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://iseoua.com/kupit/sca?gclid=CjwKCAjwsIbpBRBNEiwAZF8-z466c51YuyKs6uj\\_fQyGQN2G\\_I3JB2JdGZXB84i3PsmynC3vMPmWDBoC2PIQAvD\\_BwE](http://iseoua.com/kupit/sca?gclid=CjwKCAjwsIbpBRBNEiwAZF8-z466c51YuyKs6uj_fQyGQN2G_I3JB2JdGZXB84i3PsmynC3vMPmWDBoC2PIQAvD_BwE). – Назва з екрану.
  11. Столяров В.Г., Голубев Л.П. Автоматизированное удаленное управление устройствами при помощи Ардуино // Технології та дизайн. Мехатронні системи та комп'ютерні технології. – № 4 (21). – 2016 год. – 1-12 с.
  12. Фам Зуй Тхай Некоторые вопросы применения методов сравнения отпечатков пальцев для биометрических систем идентификации личности / Зуй Тхай Фам // Международный научно-исследовательский журнал, №7 (38). Часть 1. – 2015. – С.127-130 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://research-journal.org/technical/nekotorye-voprosy-primeneniya-metodovsravneniya-otpechatkov-palcev-dlya-biometricheskix-sistem-identifikaciiichnosti>.
  13. Marco Schwartz. Arduino Home Automation Projects. – 2014. – 120 p.
  14. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Система\\_контролю\\_i\\_управління\\_доступом](https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_контролю_i_управління_доступом)
1. Security of safety means: SKUD [Electronic resource]. - Access mode: <https://habr.com/post/277279/>. - The name from the screen.
  2. Besedina SV, Litvin YV Features of development of the information system of identification of the person by fingerprints Information security and computer technologies: Proceedings of the reports of the II International scientific-practical conference, April 20-22, 2017, Kropyvnytskyi: TsNTU, 2017. - P. 23-24.
  3. Volkhonsky VV Access control and management systems - St. Petersburg: St. Petersburg: ITMO University. 2015. - 105 p.
  4. Gadets'ka Z.M. Creation of security system in hotels of Ukraine and Cherkasy region. - Young Scientist - No. 2 (05) - February, 2014 - P. 8-11.
  5. Zdolbitska NV, Zdolbitsky AP, Bray V.Yu. Electronic lock based on AT89C2051 with I-Button ID // Abstracts of All-Ukrainian scientific-practical Internet conference Modern methods, information and software of management systems of organizational and technological complexes, April 28, 2015 - Lutsk, 2015. - P. 48-49 .
  6. Litvinov VA, Nikolaev VV, Golubev LP User authentication in automated microprocessor systems // Technology and design. Mechatronics, Computer Engineering and Metrology 2304-2605 # 1 (26) 2018 - p. 1 - 9.
  7. Monashko S.Yu., Zdolbitka NV, Zdolbitsky AP Arduino - Mobile Web Camera Project // Intercollegiate Collection of Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production - Lutsk: LNTU Publishing House. - No. 15. - 2014. - P. 32–36.
  8. Nevlyudov I.Sh., Ponomareva AV, Bortnikova VA, Mordik AA Intelligent access control and control system based on integral parameters. Instrumentation Technology 3 '2016. - P. 3-6.
  9. BM Rezanov, SS Bulba, DV Shokotko. Factors for authentication of access control and management system // Cyber security. Control, Navigation and Communication Systems, 2017, Issue 3 (43) - 63-65 p.
  10. Modern Access Control Systems [Electronic resource]. - Access Mode: [http://iseoua.com/kupit/sca?gclid=CjwKCAjwsIbpBRBNEiwAZF8-z466c51YuyKs6uj\\_fQyGQN2G\\_I3JB2JdGZXB84i3PsmynC3vMPmWDBoC2PIw](http://iseoua.com/kupit/sca?gclid=CjwKCAjwsIbpBRBNEiwAZF8-z466c51YuyKs6uj_fQyGQN2G_I3JB2JdGZXB84i3PsmynC3vMPmWDBoC2PIw) - The name from the screen.
  11. VG Stolyarov, LP Golubev Automated remote control of devices using Arduino // Technology and design. Mechatronic systems and computer technologies. - No. 4 (21). - 2016. - 1-12 sec.
  12. Pham Zui Thai Some Issues in the Application of Fingerprint Comparison Methods for Biometric Personality Identification Systems / Zui Thai Pham // International Journal of Research, No. 7 (38). Part 1. - 2015. - P.127-130 [Electronic resource]. - Access mode: <http://research-journal.org/technical/nekotorye-voprosy-primeneniya-metodovsravneniya-otpechatkov-palcev-dlya-biometricheskix-sistem-identifikaciiichnosti>.
  13. Marco Schwartz. Arduino Home Automation Projects. - 2014. - 120 p.
  14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Control\\_And\\_Access\\_Management](https://en.wikipedia.org/wiki/Control_And_Access_Management)

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-11

УДК 004.896

В.М. Мельник, К.В. Мельник, Б.В. Шульга

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ІДЕНТИФІКАТОРА ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ KERAS

**Мельник В.М., Мельник К.В., Шульга Б.В. Ідентифікація емоцій людини за допомогою нейронної мережі на основі Keras та TensorFlow.** В даній статті наведено результати досліджень визначення емоцій людини за допомогою нейронних мереж. Розробка моделі для аналізу зображень проводилась за допомогою TensorFlow, а тренування реалізовувалось з використанням Keras. Вхідні дані використано з архіву kaggle.com - FER2013. Для аналізу зображень використано бібліотеку OpenCV. Мова програмування – Python 3.

Даний набір інструментів вважається найпопулярнішим і найзручнішим для побудови нейронних мереж, а також систем глибокого навчання. Нейронні мережі і машинне навчання - найпопулярніші технології на даний момент. Особливо великих результатів можна досягнути поєднуючи цю технологію з іншими відомими – наприклад, з технологією об'єктно-орієнтованого програмування. Це поєднання технологій має широкий спектр застосування в різних областях, починаючи від звичайних фотосвітлин викладених в соціальних мережах, і закінчуючи контролем поведінки громадян держави або навіть планети. Аналіз емоцій дає можливість продуктивним і рекламним компаніям значно збільшити об'єм продаж, що в свою чергу збільшить прибутки [12]. Бути геніальним співбесідником, маючи можливість маніпулювати людьми знаючи що вони думають, проводити стрес-тести співробітників та оцінювати їхню реакцію, визначати реакцію людини на рекламу, оголошення, промову збирати обробляти і робити висновки. Список сфер використання обмежений лише фантазією і очікуємым результатом, тому тема цієї наукової роботи є актуальною.

**Ключові слова:** моделювання, ідентифікація, емоції людини, згорткова нейронна мережа, KERAS

**Мельник В.М., Мельник К.В., Шульга Б.В. Идентификация эмоций человека с помощью нейронной сети на основе Keras и TensorFlow.** В данной статье приведены результаты исследований определения эмоций человека с помощью нейронных сетей. Разработка модели для анализа изображений проводилась с помощью TensorFlow, а тренировки реализовывалось с использованием Keras. Входные данные использовано из архива kaggle.com - FER2013. Для анализа изображений использовано библиотеку OpenCV. Язык программирования - Python 3.

Данный набор инструментов считается самым популярным и удобным для построения нейронных сетей, а также систем глубокого обучения. Нейронные сети и машинное обучение - самые популярные технологии на данный момент. Особенно больших результатов можно достичь сочетая эту технологию с другими известными - например, с технологией объектно-ориентированного программирования. Это сочетание технологий имеет широкий спектр применения в различных областях, начиная от обычных фотосветлин изложенных в социальных сетях, и заканчивая контролем поведения граждан государства или даже планеты. Анализ эмоций дает возможность продуктивным и рекламным компаниям значительно увеличить объем продаж, что в свою очередь увеличит доходы [12]. Быть гениальным собеседником, имея возможность манипулировать людьми зная что они думают, проводить стресс-тесты сотрудников и оценивать их реакцию, определять реакцию человека на рекламу, объявления, речь собирать обрабатывать и делать выводы. Список сфер использования ограничен только фантазией и ожидаемый результат, поэтому тема этой научной работы является актуальной.

**Ключевые слова:** моделирование, идентификация, эмоции человека, згортковая нейронная сеть, KERAS

**Melnyk V.M., Melnyk K.V., Shulga B.V. Identification of human emotions using the Keras and TensorFlow neural Network.** This article presents the results of research on the determination of human emotions through neural networks. The development of the model for image analysis was carried out using TensorFlow, and the training was implemented using Keras. The input was used from the kaggle.com - FER2013 archive. The OpenCV library was used to analyze the images. Programming language - Python 3.

This toolkit is considered the most popular and most convenient for building neural networks, as well as systems of deep learning. Neural networks and machine learning are the most popular technologies at the moment. Particularly great results can be achieved by combining this technology with other known - for example, technology object-oriented programming. This combination of technologies has a wide range of applications in various fields, ranging from ordinary photo luminaries outlined in social networks, and ending with the control of the behavior of citizens of the state or even the planet. The analysis of emotions allows grocery and advertising companies to significantly increase sales, which in turn will increase profits [12]. Being a brilliant interlocutor, having the ability to manipulate people knowing what they think, conduct stress tests of employees and evaluate their reactions, determine the human reaction to advertising, announcement, speech to collect, process and draw conclusions. The list of areas of use is limited only by fantasy and the expected result, therefore the subject of this scientific work is relevant.

**Key words:** modeling, identification, human emotions, convolutional neural network, KERAS

**Постановка проблеми.** Однією з найактуальніших технологій сьогодні виступає навчання, організоване за допомогою нейронних мереж. Практикою використання доведено, що особливо великих результатів було досягнуто в ході поєднання запропонованої технології з іншими відомими технологіями. Наприклад, отримання та документування результатів досліджень за допомогою згорткової мережі досить добре інтегрується з технологією об'єктно-орієнтованого програмування. Таке поєднання має

широкий спектр застосування в різних областях, починаючи від звичайних фотосвітлин, викладених в соціальних мережах, а також в проведенні контролю поведінки людей різного спрямування та професійного профілю в залежності від факторів, які активно впливають на емоції людини в цілому чи на конкретну емоційну характеристику.

Зі сторони ведення бізнесу аналіз емоцій дає можливість продуктивним і рекламним компаніям значно збільшити об'єм товарообороту, що, в свою чергу, веде до збільшення прибутків [12]. Бути геніальним спікером чи співбесідником, маючи можливість підсвідомо впливати та маніпулювати людьми, враховуючи наперед що вони думають, проводити стрес-тести співробітників та оцінювати їхню реакцію, визначати реакцію людини на рекламу оголошення чи промову, збирати й обробляти дані та робити відповідні висновки. Список сфер використання не обмежений фантазією та результатом очікування, тому дана наукова робота на сьогодні є досить актуальною.

**Аналіз останніх досліджень.** Задіявання інтелектуальних технологій для розв'язання задач класифікації нині пов'язують з застосуванням обчислювального інтелекту, який, в свою чергу, пов'язують з теорією нечітких множин та нейрокомп'ютигом. З літератури відомо, що одним з ефективних методів класифікації об'єктів є кластеризація, яка може вмещувати ієрархічні та нечіткі методи дослідження [30-32]. Наявність кластерів, які найчастіше представляються ієрархічним деревом, дає змогу створити систему правил, на основі якої з уже сформованої множини даних береться знання про певні приховані закономірності, що притаманні об'єкту дослідження. Кожен з таких методів має свої переваги та недоліки. Однак діючі алгоритми досить часто мають прогресивний творчий характер дії, але, як згадано уже у зазначеній літературі, в непоодиноких випадках задачу класифікації розв'язати все-таки вдається. Надзвичайно важливим завданням як для даного кола робіт так і для нашого завдання дослідження виступає визначення системи ознак, які до того ж можуть бути зашумленими, або нечітко визначеними, тобто у вигляді інтервалів, перервностей і т. ін.

В роботі [33], досить спорідненій з даною темою, наведено огляд існуючих підходів до можливості розпізнавання зображень засобами нейронних мереж. Концентрація думки проходить на основних методах, що використовуються в задачі розпізнавання зображень, а також визначено основні етапи самого процесу розпізнавання зображень. В роботі також розкрито особливості використання описаних підходів, переваги та недоліки зазначених методів. Зроблено висновок щодо необхідності подальшого розроблення алгоритмів розпізнавання на основі зазначених методів, що були б простими в реалізації, ефективними, мали низькі обчислювальні затрати під час навчання та високу якість класифікації в реальних практичних завданнях.

В результаті пророблених в роботі досліджень [33] було побудовано декілька різних нейронних мереж на розпізнавання зображень та досліджено їхню продуктивність. Автори роботи сподіваються в майбутньому отримати дані проведеного дослідження можна використати для розробки програм машинного розпізнавання тексту, полегшеного введення тексту за допомогою сенсорних технологій. Перспективним є дослідження продуктивності різних топологій нейронних мереж для виконання даного завдання. Однак, при всій спорідненості, питання розпізнавання емоцій людини зовсім розкривалося.

В роботі [34] досліджувалося розпізнавання акустичних коливань у вигляді звуку з використанням згорткових нейронних мереж та підходу transfer learning. Тут в деталях розглянута структура згорткових нейронних мереж та наведені їх особливості, а також викладені біологічні особливості кори головного мозку тварин, що підштовхнули до розвитку саме даний тип нейронних мереж. Також наведена інформація про підхід перенесення навчання в загальному. Окрім цього також викладена логіка вибору методики перенесення навчання в залежності від даних, яка використовується в дослідженнях подібного напрямку найчастіше. Описано особливості набору даних та загальна інформація про вибрану методику перенесення навчання.

Робота [35] демонструє дослідження системи аналізу біомедичних сигналів для контролю стану водіїв також за допомогою згорткових нейронних мереж. В даній роботі також проаналізовано та оцінено роботу побудованої системи на базі нейронних мереж. Зокрема розроблений додаток для ОС Android, який об'єднує в собі функціонал з визначення емоційних станів людини. Тут також розроблений та додатковий функціонал для використання користувачами. Основний функціонал, призначений для визначення, було створено та проведено аналіз якості роботи модуля емоційних станів відповідно до відповідно наведених критеріїв. Результати оцінювання свідчать про те, що система є досить якісною для

проведення масштабних тестів, однак в перспективі вимагає удосконалення. Були також визначені недоліки поточної імплементації системи, які мають і вплив на визначення критеріїв емоцій.

Автори роботи [36] направили своє дослідження на розпізнавання мімичних мікровиразів обличчя людини також використовуючи згорткову нейронну мережу як засіб для дослідження. Метою цієї роботи послужило підвищення точності розпізнавання динамічних зображень шляхом комбінування Time Delay Neural Network та Deep Belief Networks, а також реалізація інтелектуальної системи нейромережевого розпізнавання мімичних мікровиразів обличчя людини. В основу дослідження було взято модифікований алгоритм навчання deep belief network та алгоритм time delay neural network. На їх основі в роботі створено інтелектуальну систему нейромережевого розпізнавання динамічних зображень для підвищення точності розпізнавання мімичних мікровиразів обличчя людини, а саме, розпізнавання статичних і динамічних зображень. У другій роботі запропоновано модифікацію алгоритму навчання глибоких нейронних мереж для розпізнавання статичних зображень мімичних мікровиразів обличчя людини, що дозволило покращити точність розпізнавання із 72-79%.

Відзначається, що точність розпізнавання за допомогою Time Delay Neural Network є вищою порівняно із роботою Т. McLaughlin – існуючим методом розпізнавання мімичних мікровиразів на статичних зображеннях із тієї самої бази даних. Наступне покращення точності уже отримувалося у комбінації розпізнавання на динамічних зображеннях за допомогою Time Delay Neural Network із розпізнаванням на статичних зображеннях за допомогою глибоких нейромереж. В цьому випадку за допомогою комбінованого підходу точність розпізнавання складає 98 %. Отриманий результат підтверджує актуальність проведених досліджень у порівнянні з найкращим із розглянутих методів нейромережевого розпізнавання зображень у статистиці, тобто з застосуванням квантових нейромереж, де досягається точність до 96,5 %. Однак пряме порівняння вказаних методів є недоцільним у зв'язку із використанням різних наборів навчальних та тестових даних.

В роботі також зазначається, що використання Time Delay Neural Network для розпізнавання мімичних мікровиразів обличчя людини на динамічних зображеннях дозволяє підвищити точність розпізнавання порівняно із кадровим розпізнаванням виразів на статичних зображеннях. Використання комбінованого підходу із застосуванням Time Delay Neural Network та глибокої нерійронної мережі для покадрової обробки дозволяє ще більше підвищити точність розпізнавання порівняно із двома вищезазначеними методами. Однак в жодній із наведених робіт, особливо в останній, питання визначення ідентифікатора емоцій людини не було поставлене як завдання для дослідження, хоча остання робота досить наблизилася тематикою своїх дослідницьких завдань до теми нашого дослідження.

#### **Аналіз найпопулярніших каркасів для побудови нейронних мереж.**

*TensorFlow* – це бібліотека програмного забезпечення з відкритим кодом для чисельного обчислення з використанням графів потоку даних. Вузли на графі являють собою математичні операції, а грані графа представляють собою багатовимірні масиви даних (тензори), що передаються між ними. Гнучка архітектура дозволяє розгорнути обчислення для одного або декількох CPU або GPU на настільному комп'ютері, сервері або мобільному пристрої за допомогою одного API. TensorFlow був спочатку розроблений дослідниками та інженерами, що працюють у групі Google Brain Team в дослідницькій організації Google Machine Intelligence з метою проведення машинного навчання та дослідження глибоких нейронних мереж. Однак ця система є достатньо загальною, щоб бути застосованою у багатьох інших областях.

Keras – це високорівневий інтерфейс для розробки нейронних мереж, написаний на Python, і здатний працювати, використовуючи в якості бекенд – TensorFlow, CNTK або Theano. Він був розроблений з урахуванням можливості швидкого експерименту. Можливість перейти від ідеї до результату з мінімальною затримкою – це ключ до успішного дослідження.

Використовуйте Keras, якщо вам потрібна бібліотека глибокого навчання, яка:

- Дозволяє легко і швидко створювати прототипи (за рахунок зручності, модульності та розширюваності).

- Підтримує як згорткові мережі, так і періодичні мережі, а також комбінації обох.

- Працює без проблем на CPU та GPU.

Керівні принципи:

- Зручність у використанні. Keras – API, призначений для людей, а не машин, що дотримується найкращих практик зменшення когнітивного навантаження та пропонує послідовні та прості API, мінімізує кількість дій користувача, необхідних для звичайних випадків використання, і забезпечує чіткий та дієвий відгук щодо помилок користувача.

- Модульність, що розуміється як послідовність автономних модулів, повністю готових до налаштування, які можна підключити разом із якомога меншими обмеженнями. Зокрема, нервові шари, функції витрат, оптимізатори, схеми ініціалізації, функції активації, схеми регуляції. Схеми регуляції – це автономні модулі, які можна поєднати для створення нових моделей.

- Легко розширювана. Нові модулі легко додавати як нові класи та функції, а існуючі модулі наводять достатньо прикладів. Можливість легко створювати нові модулі дозволяє тотальну виразність, що робить Keras придатним для передових досліджень.

- Робота з середовищем Python. Keras немає окремих файлів конфігурації моделей у декларативному форматі. Моделі, описані в коді Python – компактному, легко розширюваному, простому у налагодженні.

Іншим інструментом є *Caffe*. Основні його характеристики: виразна архітектура для заохочення інновацій, моделі та оптимізація визначаються конфігурацією без жорсткого кодування, можливість перемикання між процесором і графічним процесором, встановивши єдиний прапорець для тренувань на машині графічного процесора, а потім розгортання на товарні кластери чи мобільні пристрої та розширюваний код для сприяння активного розвитку.

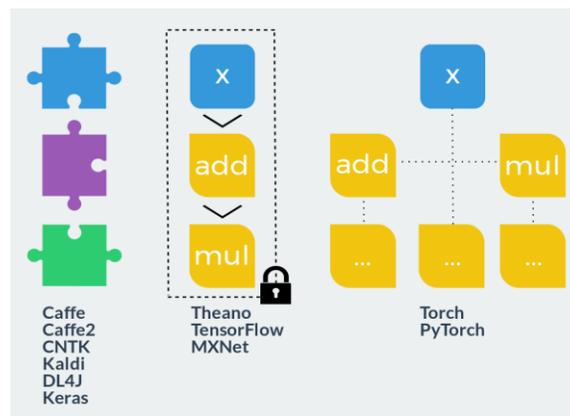
У перший рік *Caffe* був розширений більш ніж 1000 розробниками. Завдяки цим авторам система підтримує найсучасніші технології в коді та моделях.

Швидкість робить *Caffe* ідеальним інструментом для дослідницьких експериментів та розгортання різних напрямків промисловості. *Caffe* може обробляти понад 60М зображень на день за допомогою одного NVIDIA K40 GPU \*. Це 1 мс/зображення для виводу та 4 мс/зображення для навчання, а останні версії бібліотеки та апаратні засоби ще швидшими.

*Theano* – це бібліотека Python, яка дозволяє ефективно визначати, оптимізувати та оцінювати математичні вирази з використанням багатомірних масивів. Особливості *Theano*:

- Тісна інтеграція з NumPy. Використовуйте numpy.ndarray у скопійованих *Theano*-функціях.
- Прозоре використання GPU для виконання обчислення та великої кількості даних, набагато швидше, ніж на центральному процесорі.
- Ефективна символна диференціація. *Theano* робить похідні для функцій з одним або багатьма входами.
- Оптимізація швидкості та стабільності. Отримайте правильну відповідь для журналу  $(1 + x)$ , навіть коли  $x$  дійсно крихітний.
- Динамічне створення коду C – швидше для оцінювання виразів.
- Одиначне тестування та самопідтвердження для виявлення та діагностики багатьох видів помилок.

*PyTorch* являє собою бібліотеку для машинного навчання з відкритим кодом для Python, що використовується для створення таких додатків, як обробка природної мови, розпізнавання лиць, тощо. В основному розроблена вона дослідницькою групою із штучної інтелектуальної роботи Facebook, на основі якої побудовано програмне забезпечення Uber's "Pyro" для імовірнісного програмування.



Таблиця 1. Порівняння внутрішньої архітектури бібліотек.

Як уже було сказано вище, в ході розробки нейронних мереж за допомогою Python варто звернути увагу на вісім каркасів: TensorFlow, Caffe, The Microsoft Cognitive Toolkit/CNTK, PyTorch, MXNet, Chainer, Keras, DeepLearning4j та їхні характеристики. TensorFlow – найпопулярніший інструмент, на даний момент, який може застосовуватись будь-де як проект з відкритим кодом від Google. Caffe – це швидкий в роботі, але повільний в розробці. CNTK – це продукт від Microsoft. PyTorch – це другий за популярністю каркас з відкритим кодом від Facebook, за короткий період (1 рік) він набрав більшої популярності за всі інші каркаси в сумі, окрім TensorFlow та Keras. MXNet розроблявся як недефективний інструмент, щоправда таким він не став, можливо в майбутньому будуть здійснюватися над ним серйозні зміни. Chainer – це потужний динамічний інструмент, що дозволяє змінювати мережі під час виконання. Keras – мінімалістична бібліотека для побудови нейронних мереж, що найчастіше використовується в парі з TensorFlow або PyTorch в якості інструменту для навчання мережі. DeepLearning4j зазвичай використовується на великих підприємствах, для якого основною мовою є Java, але існують реалізації і на інших мовах високого рівня, в тому числі і на Python.

Отже серед даного набору, обрано найпопулярніший TensorFlow + Keras. Перевагою їх вибору є документованість і підтримка з боку інших розробників. Також можливий варіант PyTorch, замість TensorFlow, але популярність останнього більша. Інші каркаси не підходять у зв'язку зі складністю вихідного коду, а також недостатньо сформованою документацією, складністю використання або помилками при роботі з GPU. У 2013 році проходив конкурс з визначення емоцій людини за допомогою нейронних мереж. На сайті kaggle.com можна знайти більш детальну інформацію, а також скористатись архівом для тренування власної мережі.

#### *Аналіз інструментів та підходів втілення.*

TensorFlow – це одна з найкращих систем глибокого навчання, яку нині використовують такі гіганти як Airbus, Twitter, IBM, Google, головним чином завдяки високій гнучкості цієї системи [8].

Найбільш відомим випадком використання TensorFlow є Google Translate у поєднанні з такими можливостями, як обробка природної мови, класифікація тексту, узагальнення, розпізнавання мови, зображення, рукописного тексту, прогнозування та позначення [4, 8].

TensorFlow доступний як на настільних, так і на мобільних пристроях, а також він підтримує такі мови програмування, як Python, C++ і R для створення глибоких моделей навчання, бібліотек та обгортки. TensorFlow поставляється з двома інструментами, які широко використовуються на практиці застосування нейронних мереж.

TensorBoard, використовується для ефективною візуалізації даних мережевого моделювання та продуктивності TensorFlow-обслуговування для швидкого розгортання нових алгоритмів та експериментів при збереженні тієї ж архітектури сервера.

API [8] також забезпечує інтеграцію з іншими моделями TensorFlow, які відрізняються від традиційних і можуть бути розширені, щоб обслуговувати інші типи моделей і даних. Він ідеально підходить для новачків, зважаючи на можливість використання Python-підтримки від Google з документацією і покроковими поясненнями для розробників [4].

Caffe – це система глибинного навчання, яка підтримує мови програмування такі як C, C++, Python, MATLAB, а також інтерфейс командного рядка. Він добре відомий своєю швидкістю і придатністю для моделювання згорткових нейронних мереж (CNN) [10]. Найбільшою перевагою використання бібліотеки Caffe C++ (поставляється з інтерфейсом Python) є доступ до мереж з глибокого сховища «Caffe Model Zoo», які попередньо тренувалися і можуть бути використані повторно в будь-який момент часу. Незалежно від того, чи це моделювання CNN або вирішення проблем обробки зображень, ця бібліотека може стати остаточною для вирішення подібних задач [10].

Найбільша перевага Caffe – це швидкість. Він може обробляти більше шістдесяти мільйонів зображень на щоденній основі з однією відео-картою Nvidia K40. Це 1 мс/зображення для виведення і 4 мс/зображення для навчання, а новіші версії бібліотеки можуть працювати набагато швидше.

Caffe – це популярна мережа глибокого навчання для комп'ютерного бачення. Тим не менш, Caffe не підтримує точні шари мережевої деталізації, на відміну від TensorFlow або CNTK [10]. Враховуючи архітектуру, загальна підтримка повторюваних мереж та мовного моделювання є досить поганою, а створення складних типів шарів має здійснюватися на мові низького рівня.

Найвідоміший для легкої підготовки та поєднання популярних типів моделей на серверах Microsoft Cognitive Toolkit (раніше відомий як CNTK) – це фреймворк для глибокого навчання моделей з відкритим вихідним кодом. Він виконує ефективні нейронні мережі Convolution і навчає даних на основі зображень, мови та тексту. Подібно до Caffe, він підтримується такими інтерфейсами, як Python, C++ та інтерфейс командного рядка.

Враховуючи її послідовне використання ресурсів, впровадження моделей зміцнення навчання або генеративних змагальних мереж (GAN) можна легко здійснити за допомогою інструментарію. Відомо, що вона забезпечує більш високу продуктивність і масштабованість у порівнянні з інструментами, такими як Theano або TensorFlow під час роботи на декількох машинах.

У порівнянні з Caffe, коли йдеться про винайдення нових складних типів шарів, користувачам чи розробникам не потрібно реалізовувати їх на мові низького рівня через тонку зернистість будівельних блоків. Microsoft Cognitive Toolkit підтримує типи нейронних моделей RNN та CNN і, таким чином, здатний керувати проблемами зображення, рукописного тексту та розпізнавання мови. В даний час, через відсутність підтримки архітектури ARM та можливості представлення його на мобільному телефоні досить обмежені [10].

Torch є науковою обчислювальною базою, яка пропонує широку підтримку алгоритмів машинного навчання. Це глибока основа для навчання Lua, що широко використовується серед таких гігантів, як Facebook, Twitter і Google. Він використовує CUDA разом з бібліотеками C/C++ для обробки даних. Основною метою створення Torch було масштабне виробництво будівельних моделей. Каркас PyTorch з радістю був прийнятий спільнотою глибокого навчання і вважається цілком конкурентом TensorFlow [11].

PyTorch – це версія каркаса, спрямована для використання в поєднанні з Python. Використовуються вона для побудови глибоких нейронних мереж і виконання тензорних обчислень, які є високими з точки зору складності [11].

На відміну від Torch, PyTorch працює на Python, що означає, що будь-хто з базовим розумінням Python може почати роботу над створенням власних моделей глибокого навчання. Враховуючи архітектурний стиль PyTorch, весь процес глибокого моделювання набагато простіший і прозоріший у порівнянні з Torch.

Розроблений спеціально для високої ефективності, продуктивності та гнучкості MXNet – це каркас глибокого навчання, який підтримує Python, R, C++ та Julia [9]. Суть краса MXNet полягає в тому, що він надає користувачеві можливість програмувати на різних мовах програмування (Python, C++, R, Julia і Scala та ін.). Це означає, що в ньому можна тренувати свої моделі глибокого навчання, незалежно від того, якою мовою зручно програмувати без необхідності вивчати щось нове з нуля. З сервером, написаним на C++ і CUDA MXNet здатний масштабувати і працювати з безліччю GPU, що робить його незамінним для підприємств. В простому випадку Amazon використовує MXNet як свою довідкову бібліотеку для глибокого навчання [9, 11].

MXNet підтримує довгу короткочасну пам'ять (LSTM) [1] разом з RNN і CNN. Ця структура глибокого навчання відома своїми можливостями у візуалізації, розпізнаванні рукописного тексту чи мовлення, прогнозуванні, а також обробці людської мови (NLP).

Високо-потужний, динамічний і інтуїтивно зрозумілий Chainer – це глибоке навчання на основі Python. У порівнянні з іншими фреймворками, які використовують одну і ту ж стратегію, Chainer дозволяє змінювати мережі під час виконання, що дозволяє виконувати довільні операції керування потоком.

Chainer підтримує обчислення як CUDA, так і мульти-GPU. Ця система глибокого навчання використовується в основному для аналізу настроїв, машинного перекладу, розпізнавання мови і т.д., також з використанням RNN і CNN.

Keras добре відома як мінімалістична бібліотека для побудови нейронних мереж з підтримкою інтерфейсу в Python. Keras підтримує як згорткові, так і повторювані мережі, які здатні працювати на TensorFlow або Theano. Бібліотека, написана на Python, була розроблена, зберігаючи швидке експериментування як USP [2, 3].

Через те, що інтерфейс TensorFlow є трохи складним, а також тим, що це бібліотека низького рівня, яка може бути складною для нових користувачів. Keras був побудований, щоб забезпечити спрощений інтерфейс для швидкого прототипування шляхом побудови ефективних нейронних мереж, які можуть

працювати з TensorFlow [5]. Він є легкий, простий у використанні і дуже доступний, коли справа доходить до побудови моделі глибокого навчання шляхом укладання декількох шарів – це Keras в двох словах. Саме з цих причин Keras є частиною основного API TensorFlow [2, 3].

Первинне використання Keras полягає в класифікації, генерації та узагальненні тексту, маркування, перекладі разом з розпізнаванням мови та ін. Якщо ви виявилися розробником з певним досвідом роботи на Python і бажаєте заглибитися в глибоке навчання, то Keras – це те, що ви обов'язково повинні перевірити.

Паралельне навчання через ітеративне зменшення, адаптація архітектури мікро-сервісу в поєднанні з розподіленими процесорами та графічними процесорами – це лише деякі з найбільш явних особливостей, коли мова йде про структуру глибокого навчання *Deeplearning4j*. Він розроблений на Java, а також Scala і підтримує теж інші мови JVM [14]. Це широко прийнята як комерційна, орієнтована на промисловість платформа для глибокого навчання, найбільшою перевагою цього каркасу є те, що ви можете об'єднати всю екосистему Java, щоб виконати навчання моделі і щоб її можна було керувати поверх Hadoop і Spark для оркестрування кількох потоків вузла. *DL4J* використовує карту зменшення, щоб навчити мережу в залежності від інших бібліотек для виконання великих матричних операцій.

*Deeplearning4j* постачається з мережевою підтримкою через RBM, DBN, згорткові нейронні мережі (CNN), повторювані нейронні мережі (RNN), рекурсивну мережу нейронних тензорів (RNTN) і довгу короткочасну пам'ять [1] (LSTM). Оскільки ця система глибокого навчання реалізована на Java, вона набагато ефективніша в порівнянні з Python. Коли йдеться про завдання розпізнавання зображень за допомогою декількох графічних процесорів, вона працює так само швидко, як і Caffe. Ця структура показує незрівнянний потенціал для розпізнавання зображень, виявлення шахрайства, видобування тексту, частин тегування мови та обробки людської мови. Завдяки Java як основній мові програмування, слід обрати даний фреймворк обов'язково, якщо ви шукаєте надійний і ефективний метод впровадження ваших моделей у виробництво [14].

Досить очевидно, що поява глибокого навчання ініціювала багато випадків практичного використання машинного навчання та штучного інтелекту в цілому. Розділення завдань найпростішими способами для того, щоб допомогти машинам найефективнішим способом, було зроблено, ймовірно, за допомогою Deep Learning. Це, як кажуть, є ті глибокі рамки навчання з вищенаведеного списку, які найкраще підходять вашим вимогам? Відповідь на це питання лежить на ряді факторів, однак, потрібно просто почати роботу, то глибокі основи навчання на основі Python, такі як TensorFlow або Chainer, повинні бути вашим вибором. Якщо вам доведеться впоратися, потрібно враховувати швидкість, вимоги до ресурсів і використання разом з узгодженістю підготовленої моделі, перш ніж вибрати найкращу глибоку структуру навчання [14].

*Оцінка актуальності використання.* Порівняльна характеристика враховує документацію, вихідний код, архітектуру та тяжкість встановлення. Також в дослідженні не брав участь *Deeplearning4j*, але зважаючи на повільнішу розробку на Java у порівнянні з Python, можна зробити висновок, що уповільнення розробки перевищить в 10 разів

Для швидкого тренування моделі варто обрати PyTorch та Keras. При даній комбінації відбувається пришвидшення розробки на 41% порівняно з Caffe, і на 18% швидше у порівнянні з TensorFlow.

#### **Розробка та тренування моделі для аналізу зображень за допомогою Python**

В дослідженні застосовувався стек технологій *CPython 3.6.6, TensorFlow, Keras*. В якості апаратного забезпечення для тренування нейронної мережі використано сервіс Google Colaboratory, який надає відеоприскорювач Tesla K80 для навчальних цілей. Для тренування мережі також використано архів від [kaggle.com](https://www.kaggle.com) – *fer2013* [6].

Створення збірної нейронної мережі має змогу визначати сім різних емоцій: злість, огиду, страх, радість, сум, здивування і нейтральний стан. Тренування відбувалось для 60 епох.

Реалізація коду:

```
# -*- coding: utf-8 -*-  
import sys  
import os  
  
import pandas as pd
```

```
import numpy as np
from google.colab import drive
from sklearn.model_selection import train_test_split
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout, Activation, Flatten
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, BatchNormalization
from keras.losses import categorical_crossentropy
from keras.optimizers import Adam
from keras.regularizers import l2
from keras.callbacks import ReduceLROnPlateau, TensorBoard, EarlyStopping, ModelCheckpoint

# Монтуємо GDrive
drive.mount("/content/gdrive")

WORKDIR = "/content/gdrive/My Drive/Colab Notebooks"
MODEL_PATH = './model.h5' # Шлях збереження моделі

NUM_FEATURES = 64
NUM_LABELS = 7
BATCH_SIZE = 64
EPOCHS = 60
WIDTH, HEIGHT = 48, 48

sys.path.insert(0, WORKDIR)
os.chdir(WORKDIR)

data = pd.read_csv('./fer2013.csv')

pixels = data['pixels'].tolist()

faces = []
for pixel_sequence in pixels:
    face = [int(pixel) for pixel in pixel_sequence.split(' ')]
    face = np.asarray(face).reshape(WIDTH, HEIGHT)
    faces.append(face.astype('float32'))

faces = np.asarray(faces)
faces = np.expand_dims(faces, -1)

emotions = pd.get_dummies(data['emotion']).as_matrix()

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(faces, emotions, test_size=0.1, random_state=42)
X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(X_train, y_train, test_size=0.1, random_state=41)

model = Sequential()

model.add(Conv2D(NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', input_shape=(WIDTH, HEIGHT,
    1), data_format='channels_last', kernel_regularizer=l2(0.01)))
model.add(Conv2D(NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))
```

```
model.add(Conv2D(2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(Conv2D(2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Conv2D(2 * 2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(Conv2D(2 * 2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Conv2D(2 * 2 * 2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(Conv2D(2 * 2 * 2 * NUM_FEATURES, kernel_size=(3, 3), activation='relu', padding='same'))
model.add(BatchNormalization())
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=(2, 2)))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Flatten())

model.add(Dense(2 * 2 * 2 * NUM_FEATURES, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.4))
model.add(Dense(2 * 2 * NUM_FEATURES, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.4))
model.add(Dense(2 * NUM_FEATURES, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.5))

model.add(Dense(NUM_LABELS, activation='softmax'))

model.summary()

model.compile(loss=categorical_crossentropy,
              optimizer=Adam(lr=0.001, beta_1=0.9, beta_2=0.999, epsilon=1e-7),
              metrics=['accuracy'])

lr_reducer = ReduceLROnPlateau(monitor='val_loss', factor=0.9, patience=3, verbose=1)

tensorboard = TensorBoard(log_dir='./fer.log')

early_stopper = EarlyStopping(monitor='val_loss', min_delta=0, patience=8, verbose=1, mode='auto')

checkpointer = ModelCheckpoint(MODELPATH, monitor='val_loss', verbose=1, save_best_only=True)

Створення додутку на основі тренованої моделі
В якості алгоритму класифікації використано каскад Хаара, а для аналізу зображень – OpenCV [7, 13].

import cv2
import numpy as np
from keras.models import load_model
```

```
emotion_dict = {0: "Angry", 1: "Disgust", 2: "Fear", 3: "Happy", 4: "Sad", 5: "Surprise", 6: "Neutral"}
# Завантаження моделі
model = load_model("./model.h5")

cap = cv2.VideoCapture(0)

while True:
    ret, frame = cap.read()

    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')
    faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)

    for (x, y, w, h) in faces:
        cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 1)
        roi_gray = gray[y:y + h, x:x + w]
        cropped_img = np.expand_dims(np.expand_dims(cv2.resize(roi_gray, (48, 48)), -1), 0)
        cv2.normalize(cropped_img, cropped_img, alpha=0, beta=1, norm_type=cv2.NORM_L2,
            dtype=cv2.CV_32F)
        prediction = model.predict(cropped_img)
        cv2.putText(
            frame,
            emotion_dict[int(np.argmax(prediction))],
            (x, y),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
            0.8,
            (0, 0, 255),
            1,
            cv2.LINE_AA
        )

    cv2.imshow('frame', frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Додаток стартує за допомогою інтерпретатора Python і використовує WEB-камеру в якості пристрою зчитування інформації.

**Постановка наукової проблеми.** Розроблений продукт повинен визначати емоції людини за фото чи відео-матеріалами у вигляді портретних чи художніх фотографій. Для проведення дослідження подібна система повинна мати можливість використовувати камеру, підключену до пристрою на якому запущений додаток з підключеною нейронною мережею та можливістю обробляти отримані дані, а також видавати результат-висновок.

Ставилося завдання підтримки та розповсюдження результатів в трьох форматах: відкритого вихідного коду, тренованої моделі та отримання готового додатка з можливістю використання його на системах Linux, Mac OS, Windows чи в Web. Для останнього варіанту можливість документування та оновлення документації повинна бути відкрита для розробників програмного продукту та інтегрована з системами контролю версій для забезпечення підтримки і аналізу помилок розробки.

### Результати моделі, їх реалізація та обговорення

Для аналізу зображень нами було обрано згорткову нейронну мережу, яка мала перевагу в ефективності для задач класифікації. В якості алгоритму для градієнтного спуску було обрано спеціальний алгоритм Adam, опублікований в 2015 для застосування його в подібних задачах. Згідно з нашими дослідженнями алгоритм показав досить невисоку зайнятість пам'яті та відзначився в швидкодії виконання задач.

Для проведення експерименту також обрано fer2013 – спеціально сформовану базу даних обличчя як еталонних для порівняльних цілей. Всі наведені дані в цій базі представлені таблицею чорно-білих двовимірних масивів. Зазвичай, в ході створення нейронної мережі необхідно власноруч підготувати тренувальний сет, процес підготовки якого займає біля 70% часу дослідження.

Обирати нейронну мережу прямого поширення в нашому випадку не має сенсу, тому що не зважаючи на простоту, аналіз зображень обійдеться надто дорогим. Якщо ми вважатимемо кожен канал кожного пікселя незалежним вхідним параметром для пересептрона, тоді кожен нейрон буде додавати  $H \times W \times D$  нових параметрів до моделі, де:  $W$  – ширина зображення,  $H$  – висота і  $D$  – глибина. Одне з найпоширеніших для нашого дослідження рішень – це знизити роздільну здатність зображень, поки не з'явиться можливість використати пересептрон. Відповідно, в ході обробки даних, що потребують високої точності, дане рішення все ж не підходить.

#### Функції згортки.

Припустимо, що пікселі, які розташовані близько один до одного, тісніше взаємодіють під час формування необхідної нам ознаки. В даному випадку також буде відсутній вплив розміщення при умові, якщо взяти до уваги невелику характеристику, яка є важливою в процесі класифікації.

#### Оператор згортки.

У нас є двовимірне зображення  $I$  і не велика матриця  $K$ , з розмірами  $H \times W$ , яка являє собою ядро згортки, і побудована таким чином, щоб графічно здійснювати кодування якої небудь ознаки (рис. 1). В такому разі ми можемо обчислити згорнуте зображення  $I * K$ , наклавши ядро на нього всіма можливими способами і записати суму добутків елементів вихідного зображення і ядра.

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} \cdot I_{x+i-1, y+j-1};$$

Для більш точних розрахунків можна транспонувати матрицю, але в машинному навчальному варіанті це не має значення.

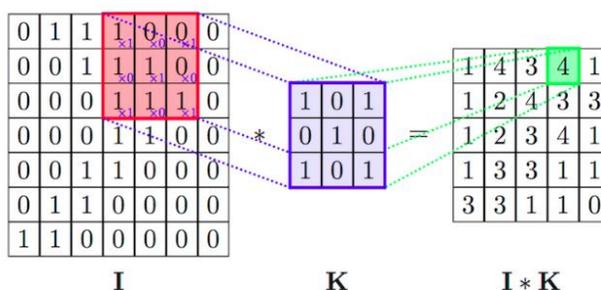


Рис. 1. – Вигляд представлення згорткових шарів.

Оператор згортки являє собою основу згорткового шару в згорткових нейронних мережах. Шар складається з певної кількості ядер  $K$  з адаптивними складовими зміщення для кожного ядра і визначає згортку вихідного зображення попереднього шару, кожен раз додаючи складову зміщення. В результаті, до всього вихідного зображення може бути застосована функція активації  $\sigma$ . Зазвичай вхідний потік для згорткового шару складається з каналів (d), наприклад, RGB для вхідного шару. В такому випадку ядра також розширюють таким чином, щоб вони склались з каналів. Тому для одного каналу вихідного зображення застосовується наступна формула:

$$\text{conv}(I, K)_{x,y} = \sigma \left( b + \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w \sum_{k=1}^d K_{ijk} \cdot I_{x+i-1, y+j-1, k} \right)$$

де  $K$  – ядро,  $a$  і  $b$  – складові зміщення.

Ядра також можна отримати методом градієнтного спуску, подібно до визначення ваг в багат шаровому перцептроні.

Оперції згортки не єдині в мережах даного типу. Ми використали агрегування, а саме шар субвибірки (pooling layer), що отримує на вхід окремі частинки зображення і об'єднує кожен фрагмент в єдине значення.

В ході дослідження також застосований шаблон побудови CNN для класифікації зображень (рис. 2). Даний шаблон можна розділити на дві частини: ланцюг послідовних згорткових шарів: *Conv -> Pool*, для якого можливі варіації з декількома шарами згортки підряд, і декілька повнозв'язних шарів, що приймають кожен піксель як незалежне значення з шаром *softmax* в якості канцевого. Також після кожного згорткового шару застосовується функція активації, а в нашому випадку ReLU.

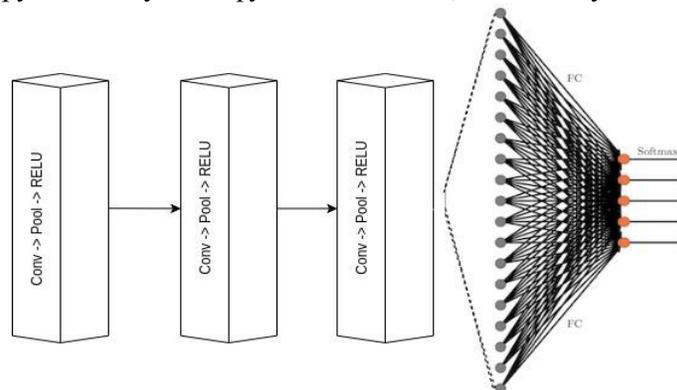


Рис. 2 – Схема шаблону побудови CNN для класифікації зображень

Один прохід *Conv -> Pool* впливає на зображення таким чином, що скорочує довжину і ширину певного каналу, однак при цьому збільшує його значення глибини.

Застосована функція *Softmax* перетворює вектор дійсних чисел у вектор імовірностей (представлення дійсними числами в інтервалі  $[0,1]$ ). В нашому випадку в якості вихідних значень застосовувались імовірності потрапляння зображення в певний клас, який представляв відповідну емоцію.

#### Перенавчання

Перенавчання представляє собою відповідність нейронної мережі конкретному набору навчальних прикладів, для яких мережа втрачає здібність до узагальнення. В шаблоні CNN наявні багато різноманітних параметрів. Перенавчання може проявитись у наступному. Припустимо що у нас мало навчальних прикладів. В цьому випадку відповідно невелика група нейронів бере на себе більшу кількість обчислень, а інші нейрони стануть надлишковими. Або, навпаки, певні нейрони зашкодять продуктивності, проте інші нейрони з їхнього шару будуть тільки виправляти їх помилки.

Для того щоб не дозволити нейронам вивчати шуми навчальних даних, нами введено методи регулювання: замість зменшення кількості параметрів ми накладаємо умову на параметри моделі під час навчання. Одним з методів зниження є метод виключення (dropout).

В цілому виключення з параметром  $p$  за одну ітерацію навчання проходить до всіх нейронів певного шару  $I$  з імовірністю  $p$  і повністю виключає їх з мережі на час ітерації. Це змушує мережу опрацьовувати помилки і не покладатись на існування певного нейрона, або групи нейронів, а покладатись на "спільну думку" нейронів всередині одного і того шару.

Нами отримано наступні ID-емоцій, які представлені нижче відповідними рисунками. Першою отримано емоцію «Щастя» (рис. 3), представлену в робочому фреймі. На рисунку 4 визначено емоцію «Здивування», а на рисунку 5 – емоцію «Сум».

**Висновки і перспективи.** В даному параграфі наведено результати досліджень методів та особливостей для визначення емоцій людини за допомогою нейронних мереж. Розробка моделі для

аналізу зображень проводилась за допомогою TensorFlow, а тренування реалізовувалось з використанням Keras. Вхідні дані використано з архіву kaggle.com – FER2013. Для аналізу зображень використано бібліотеку OpenCV та мову програмування Python 3.

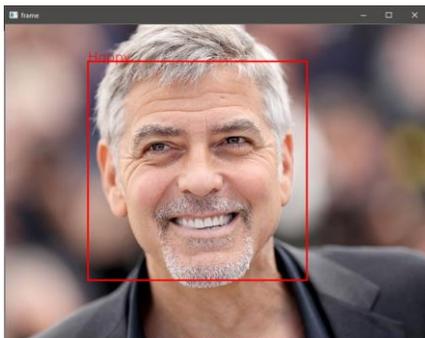


Рис. 3 – Визначення емоції щастя [21]

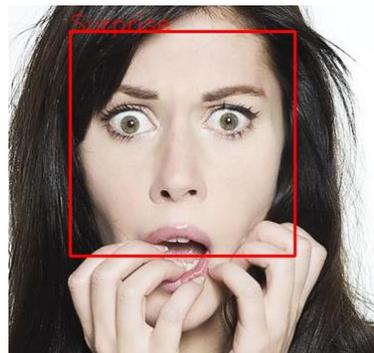


Рис. 4 – Визначення емоції здивування



Рис. 5 – Визначення емоції сум

Проведено аналіз інструментів для розробки нейронної мережі з метою розпізнавання емоцій людини з фото, відео, або зображення веб-камери. З'ясовано основні підходи та особливості дослідження алгоритмів обробки та класифікаторів зображень, що дозволило створити конфігурацію для навчання нейронної мережі і демонстрації програмного продукту. На основі проробленого дослідження можна зробити висновок, що додаток має як переваги так і недоліки. До переваг можна віднести: зрозумілість коду, можливість його переносу на іншу машину для подальших обчислень, розширюваність для використання сумісно з іншими інструментами. До недоліків можна відмітити те, що сама по собі нейронна мережа не несе високої цінності науковцям-дослідникам, яким цікаво просто розпізнати емоції людини за фото або відео-ілюстраціями. Однак, вона націлена на розробників і науковців. Для більш практичного застосування її потрібно використовувати сумісно з іншими модулями. Наприклад, у поєднанні з OpenCV [21, 27] дана мережа може визначати емоції не однієї людини, а кількох одночасно з одного фото або відео.

Слід відмітити, що особливо великих результатів можна досягнути у випадку, поєднуючи цю технологію з іншими відомими технологіями, наприклад, такими як технологія об'єктно-орієнтованого програмування. Таке поєднання технологій мало б більш широкий спектр застосування в різних областях, починаючи від звичайних фото-світлин, викладених в соціальних мережах і закінчуючи контролем поведінки громадян держави або навіть планети. Аналіз емоцій дає можливість продуктивним і рекламним компаніям значно збільшити об'єм продаж, що в свою чергу збільшить прибутки [26]. Бути геніальним співбесідником, маючи можливість маніпулювати людьми знаючи що вони думають, проводити стресс тести співробітників та оцінювати їхню реакцію, визначати реакцію людини на рекламу, оголошення, промову збирати обробляти і робити висновки. Список сфер використання обмежений лише фантазією і очікуючим результатом.

## Список бібліографічних посилань

1. Вікіпедія. Довга короткочасна пам'ять // Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Довга короткочасна пам'ять](https://uk.wikipedia.org/wiki/Довга_короткочасна_пам'ять) (дата звернення: 18.03.2018).
2. Вікіпедія. Keras – відкрита нейромережева бібліотека. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Keras> (дата звернення: 18.03.2018).
3. Quora Contributor. This Is What Makes Keras Different, According To Its Author/ Electron resource. URL: <https://www.forbes.com/sites/quora/2016/08/25/this-is-what-makes-keras-different-according-to-its-author/#556b58ba66cf>. (дата звернення: 18.03.2018).
4. An end-to-end open source machine learning platform. Electron resource. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення: 18.03.2018).
5. Keras: The Python Deep Learning library. Electron resource. URL: <https://keras.io/>. (date of issue: 18.03.2018).
6. We use cookies on kaggle to deliver our services, analyze web traffic, and improve your experience on the site. Start with more than a blinking cursor. Electron resource. URL: <https://www.kaggle.com/> (date of issue: 18.03.2018).
7. AL Sources by OpenCV. Electron resource. URL: <https://opencv.org/courses/> (date of issue: 18.03.2018).
8. Вікіпедія. TensorFlow. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/TensorFlow>. (date of issue: 18.03.2018).
9. Вікіпедія. Apache MXNet. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Apache\\_MXNet](https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_MXNet). (date of issue: 18.03.2018).
10. Вікіпедія. Згорткова нейронна мережа. Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Згорткова\\_нейронна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Згорткова_нейронна_мережа). (дата звернення: 18.03.2018).
11. Вікіпедія. Глибинне навчання. Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Глибинне\\_навчання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Глибинне_навчання). (дата звернення: 18.03.2018).
12. Вікіпедія. Застосування штучного інтелекту. Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Застосування\\_штучного\\_інтелекту](https://uk.wikipedia.org/wiki/Застосування_штучного_інтелекту). (дата звернення: 18.03.2018).
13. Вікіпедія. Розпізнавання рукописного введення. Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Розпізнавання\\_рукописного\\_введення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Розпізнавання_рукописного_введення). (дата звернення: 18.03.2018).
14. Вікіпедія. Комп'ютерний зір. Електронний ресурс. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Комп%27\\_ютерний\\_зір](https://uk.wikipedia.org/wiki/Комп%27_ютерний_зір). (дата звернення: 18.03.2018).
15. Нейронні мережі і генетичні алгоритми – К.: «Корнійчук», . 2008. – 446 с.
16. Глубокое обучение на Python – СПб.:«Питер», . 2018. – 400 с.
17. Нейронные сети: полный курс – М.:«Диалектика-Вильямс», . 2017. – 1104 с.
18. Офіційна документація TensorFlow. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення: 18.03.2018)
19. Офіційна документація Keras. URL: <https://keras.io/> (дата звернення: 18.03.2018)
20. Платформа для змагань з машинного навчання і передбачуваного моделювання. URL: <https://www.kaggle.com/> (дата звернення: 18.03.2018)
21. Офіційна документація OpenCV. URL: <https://opencv.org/> (дата звернення: 18.03.2018)
22. Программирование искусственного интеллекта в приложениях – ДМК пресс, «М.: Тим Джонс», . 2006. – 312 с.
23. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений – М.:«Финансы и статистика», . 2004. – 176 с.
24. Основные концепции нейронных сетей – М.:«Вильямс», . 2003. – 288 с.
25. Основы Data Science и Big Data. Python и наука о данных – СПб : «Питер», 2016. – 336 с.
26. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение – СПб. : «Питер», . 2016. – 576 с.
27. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. / Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова; Под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е издание. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.
28. Галешук С. Штучні нейронні мережі у прогнозуванні валютного ринку. URL: <http://visnik.knteu.kiev.ua/files/2016/03/9.pdf> (дата звернення: 18.03.2018)
29. Седай А.В. Використання нейронних мереж для моделювання та прогнозування фінансової діяльності транспортного підприємства. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2015-02/115-120.pdf> (дата звернення: 18.03.2018).
30. Traffic from January 2014 to September 2017, by month [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/420391/spam-email-traffic-share/> (дата звернення: 10.06.2019).
31. Vikas P. Deshpand. An Evaluation of Naive Bayesian Anti-Spam Filtering Techniques / Vikas P. Deshpande, Robert F. Erbacher, Chris Harris // Proceedings of the 2007 IEEE Workshop on n Information Assurance United States Military Academy, West Point, 2007. – NY 20-22 June. – Режим доступу: <http://digital.cs.usu.edu/~erbacher/publications/Bayes-Vikas2.pdf>. (дата звернення: 10.06.2019).
32. Graham P. A Plan for Spam / P. Graham, 2002. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.paulgraham.com/spam.html>. (дата звернення: 10.06.2019).
33. Мельник К.В., Мельник В.М., Коптюк Ю.Ю. Дослідження методів розпізнавання зображень на основі нейронних мереж. Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво", Луцьк, 2019. Вип. № 35. – с. 161-165.
34. Гончаров Д.А. Програмні засоби розпізнавання акустичної інформації в сенсорних мережах / Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 123 “Комп'ютерна інженерія” спеціалізації “Спеціалізовані комп'ютерні системи”. Київ, КПІ. 2018. – 122 с. URL: [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25805/1/Matvii\\_magistr.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25805/1/Matvii_magistr.pdf).
35. Саган В.Ю. Система аналізу біомедичних сигналів для контролю стану водіїв. / Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології. // Київ, КПІ. 2018. – 122 с. URL: [http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24036/1/Sagan\\_magistr.pdf](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24036/1/Sagan_magistr.pdf)
36. А.А. Яровий, С.Г. Кашубін, О.О. Кулик. Розпізнавання мімічних мікровиразів обличчя людини. / Системи технічного зору та штучного інтелекту з обробкою та розшаруванням зображень. Вінниця. – ВНТУ, 2015. – с.76-83.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-12

УДК 004.056

В.М. Мельник, А.І. Нагорнюк, К.Я. Бортник

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОДІ ВИКОНАННЯ ЗАПИТУ В СУБД MYSQL ТА MARIADB ЗАСОБАМИ PYTHON ТА PHP

**Мельник В.М., Нагорнюк А.І., Бортник К.Я.** Дослідження швидкодії виконання запиту в СУБД MySQL та MariaDB засобами Python та PHP. В даній роботі проведено дослідження швидкодії виконання запитів для баз даних MySQL та MariaDB з виконанням базових операцій у середовищах Python та PHP. Проведено теоретичний огляд основних характеристик вищезгаданих баз даних, а також здійснено огляд особливостей підключення та взаємодії з ними в мовах підтримки Python та PHP, а саме, організація роботи з об'єктами підключення та курсорами. Встановлено залежність між кількістю виконання запитів та їх швидкодією виконання.

**Ключові слова:** СУБД, MySQL, MariaDB, Python, PHP, швидкодія виконання, запит.

**Мельник В.М., Нагорнюк А.І., Бортник Е.Я.** ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАПРОСОВ В СУБД MYSQL И MARIADB СРЕДСТВАМИ PYTHON И PHP. В данной работе проведено исследование быстродействия выполнения запросов для баз данных MySQL и MariaDB с выполнением базовых операций в средах Python и PHP. Проведен теоретический обзор основных характеристик вышеуказанных баз данных, а также осуществлен обзор особенностей подключения и взаимодействия с ними в языках поддержки Python и PHP, а именно, организация работы с объектами подключения и курсорами. Установлена зависимость между количеством выполнения запросов и их быстродействием выполнения.

**Ключевые слова:** СУБД, MySQL, MariaDB, Python, PHP, быстродействие выполнения, запрос.

**Melnyk V., Nahorniuk A., Bortnik K.** RESEARCH OF PERFORMANCE REQUESTS IN MYSQL AND MARIADB DBMS SUPPORTED BY PYTHON AND PHP. In this paper, we investigate the performance of requests for MySQL and MariaDB databases with basic operations made in Python and PHP environments. A theoretical overview of the main characteristics for the databases described above was made, as well as an overview of connection features and interaction with them in Python and PHP support languages, namely, the organization of work with connection objects and cursors. The relationship between the number of requests and their speed of execution is established.

**Keywords:** DBMS, MySQL, MariaDB, Python, PHP, runtime speed, request.

**1. Постановка проблеми.** Вибір системи управління баз даних (СУБД) являє собою складне багатопараметричне завдання і є одним із важливих етапів в ході розробки додатків з базами даних. Обраний програмний продукт повинен задовольняти як поточним, так і майбутнім потребам підприємства. При цьому слід враховувати фінансові витрати на придбання необхідного обладнання, самої системи, розробку необхідного програмного забезпечення на її основі, а також навчання персоналу.

MySQL є однією з найбільш поширених СУБД у світі. Це програмне забезпечення безкоштовне і розповсюджується з відкритим вихідним кодом. Вона розроблена на C/C++ і є однією з найбільш популярних варіантів баз даних. СУБД була розроблена шведською компанією «MySQL AB» в 1995 році. У 2008 році MySQL AB була придбана компанією Sun Microsystems, а в 2010 році Oracle придбала Sun Microsystems. З тих пір MySQL підтримується і управляється навіть і Oracle [1, 2].

Під час придбання Sun Microsystems компанією Oracle деякі з старших інженерів, які працювали над розробкою MySQL, відчули, що існує конфлікт інтересів між MySQL і комерційною базою даних Oracle, тобто Oracle Database Server. В результаті, ці інженери створили форк бази коду MySQL і заснували власну організацію. Так народилася MariaDB. На сьогоднішній день обидві бази даних користуються великою популярністю і широко використовуються різними компаніями розробників [3, 4].

**2. Аналіз існуючих способів взаємодії з базою даних.** Для роботи з базами даних у Python можна використовувати різноманітні бібліотеки, специфічні та спеціалізовані для кожної конкретної БД. Наприклад, для MySQL – MySQLdb, pymysql, mysql, для Postgres – Psycopg2, pg8000, py-postgresql, PyGreSQL, psycopg, psycopg2 [5]. Для з'єднання з СУБД MariaDB розробнику необхідно використовувати конектор з MySQL. Оскільки підтримка SQLite є в стандартній бібліотеці Python, то встановлювати додаткові модулі не потрібно.

Усі модулі для взаємодії з базами банних у Python повинні відповідати стандарту PEP 249, у якому описані основні принципи створення API. Завдяки специфікації DB-API існує спільний інтерфейс для її вивчення. Перенесення коду для використання іншого продукту баз даних є набагато простішим і часто вимагає зміни лише декількох рядків. Цей API був визначений для заохочення подібності між модулями Python, які використовуються для доступу до баз даних. Поточна версія DB-API 2.0 (PEP 249) замінена старішою версією DB-API 1.0 (PEP 248) [6, 7].

Для підключення до бази даних перш за все необхідно виконати метод connect(), в який передати параметри підключення, такі як ім'я хоста, порту, назву (логін) користувача та його пароль. Після успішного отримання об'єкту Connection з нього необхідно отримати об'єкт Cursor. Цей об'єкт представляє курсор бази даних, який використовується для управління контекстом операцій. Курсори, створені з одного і того ж з'єднання, не є ізольованими, тобто будь-які зміни, зроблені курсором бази даних, негайно помітні іншими курсорами. Курсори, створені з різних з'єднань, можуть бути або не можуть бути ізольовані. Це залежить від того, як реалізована підтримка транзакцій (див. також методи rollback() і commit() з'єднання). Після отримання курсору можна проводити необхідні маніпуляції: виконання запитів, вибірку даних, і інше [6].

Для полегшення взаємодії з даними можна використовувати ORM. Об'єктно-реляційне відображення (ORM) – це метод, який дозволяє запитувати і маніпулювати даними з бази даних з використанням об'єктно-орієнтованої парадигми. Бібліотека ORM – це абсолютно звичайна бібліотека, написана на певній мові, яка інкапсулює код, необхідний для маніпулювання даними, завдяки чому немає необхідності використовувати SQL, а можна взаємодіяти з даними як з об'єктом. Приклади ORM – це Python: Django ORM, SQLAlchemy; PHP: Propel, Doctrine.

У PHP для взаємодії з БД також можуть використовуватись спеціалізовані бібліотеки для кожної конкретної бази даних. Наприклад, для MySQL, і, відповідно, для MariaDB – це бібліотеки mysql, mysqli та PDO. Бібліотека mysql заборонена для використання у PHP 5.5 і новіших його версій. Натомість слід використовувати mysqli та PDO [9].

PDO – це PHP Data Objects, або рівень абстракції доступу до бази даних. PDO пропонує уніфікований інтерфейс для доступу до багатьох різних баз даних, а також резюмує не тільки API бази даних, але й основні операції, які в іншому випадку доводиться повторювати сотні разів у кожному додатку. На відміну від mysql та mysqli, які є низькорівневими API, не призначеними для прямого використання, а лише як будівельний матеріал для вищого рівня абстракції), PDO вже є абстракцією. Справжніми перевагами PDO є: безпека (використання попередньо підготовлених запитів), зручність використання (багато допоміжних функцій для автоматизації рутинних операцій), повторне використання (уніфікований API для доступу до безлічі баз даних, від SQLite до Oracle).

Щоб отримати доступ до серверу баз даних через PDO, необхідно створити об'єкт. Для цього необхідно передати дані про сервер у вигляді DSN, а також ім'я користувача, пароль, і інші дані за необхідності. Після цього є можливість виконувати запити. Робити це можна різними способами – якщо запит не містить у своїй структурі змінних, можна використовувати метод PDO::query(). Якщо ж у запиті використовуються змінні, то необхідно використовувати метод prepare(), а опісля – використовувати метод execute(). Підстановка змінних у запити може здійснюватися за допомогою позиційних або іменованих псевдозмінних. Для встановлення відповідності між псевдозмінною і її значенням під час підстановки в запит можуть використовуватись масиви, асоціативні (іменовані) масиви, або методи bindValue() чи bindParam() [10].

**3. Результати проведених досліджень.** Під час проведення дослідження використовувались СУБД MySQL версії 8.0.16 та MariaDB версії 10.4.7, а також інструменти підтримки: Python 3.7.4 та PHP 7.2.10. Загальна структура запиту створення таблиці наступна:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS research (  
    id INT(7) UNSIGNED NOT NULL AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    vv TINYINT);
```

Після створення таблиці виконувались операції вставки, вибірки, оновлення та видалення (CRUD) для 100, 500, 1 000, 5 000, 10 000, 50 000 та 100 000 записів. Вимірювання відбувалося за допомогою

визначення різниці між часовими мітками з використанням методу `time.time()` в Python та функції `microtime()` у PHP.

Нижче подано графік залежності часу виконання запитів для CRUD операцій від кількості записів для СУБД MySQL засобами Python (рис.1).

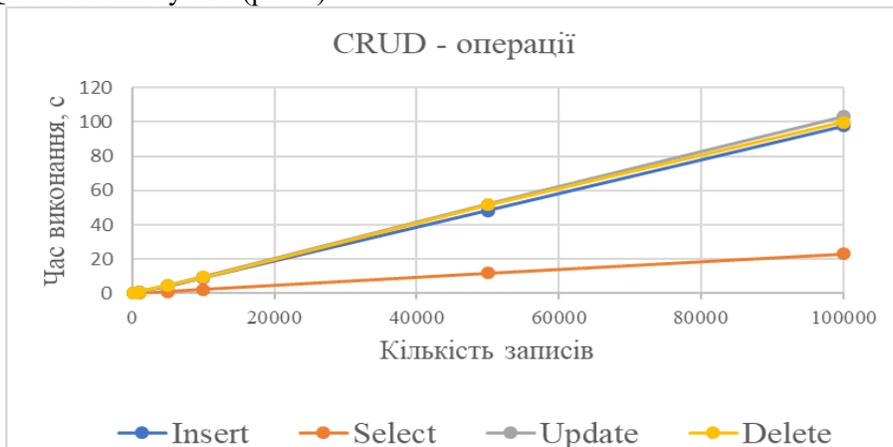


Рис. 1 – Графік залежності часу виконання запитів для CRUD операцій від кількості записів для СУБД MySQL засобами Python

Як видно з графіка, залежність є рівномірно зростаючою прямою лінійною. Зі зростанням кількості записів час їх виконання зростає лінійно. Операції вставки, оновлення та видалення виконуються майже однаково кількість часу. Однак операція вибірки є значно швидшою, майже в п'ять разів.

		Python, MySQL, середній час виконання, с			
		Вставка	Вибірка	Оновлення	Видалення
Кількість записів	100	0.1118	0.027801	0.099199	0.097
	500	0.559	0.1294	0.5786	0.5712
	1 000	1.171199	0.266201	1.2036	1.2444
	5 000	5.9728	1.461001	6.280401	5.970599
	10 000	12.006601	2.428001	12.112601	12.353397

Таблиця 1. Результати проведеного дослідження виконання запитів в базі даних MySQL з підтримки Python

		PHP, MySQL, середній час виконання, с			
		Вставка	Вибірка	Оновлення	Видалення
Кількість записів	100	0.120259	0.023962	0.108073	0.123157
	500	0.443965	0.090917	0.482407	0.483698
	1 000	1.016007	0.186314	1.016624	1.072325
	5 000	5.796535	1.206885	6.191491	6.160956
	10 000	12.169063	2.157948	12.281779	12.234494

Таблиця 2. Результати проведеного дослідження виконання запитів в базі даних MySQL з підтримки PHP

		Python, MariaDB, середній час виконання, с			
		Вставка	Вибірка	Оновлення	Видалення
Кількість записів	100	0.055	0.021	0.048339	0.050925
	500	0.232986	0.100601	0.248224	0.249581
	1 000	0.460396	0.198199	0.501002	0.497153
	5 000	2.629197	1.201602	2.742204	2.744992
	10 000	5.158813	2.2126	5.218996	5.2186

Таблиця 3. Результати проведеного дослідження виконання запитів в базі даних MariaDB з підтримки Python

		PHP, MariaDB, середній час виконання, с			
		Вставка	Вибірка	Оновлення	Видалення
Кількість записів	100	0.057982	0.023017	0.056827	0.05867
	500	0.257298	0.103248	0.263533	0.260386
	1 000	0.550662	0.221751	0.537945	0.546798
	5 000	2.825545	1.048985	2.740266	2.665675
	10 000	5.176147	1.942884	5.04902	4.888232

Таблиця 3. Результати проведеного дослідження виконання запитів в базі даних MariaDB з підтримки PHP

Результати дослідження, наведені у таблицях 1-4, демонструють залежність часу виконання запитів від типу бази даних та мови реалізації підключення. Підключення у Python було здійснене за допомогою бібліотеки pyodbc, а для PHP – стандартними засобами PDO.

Для наочності аналізу даних побудовано графік (рис. 2), який демонструє наведені значення в таблицях

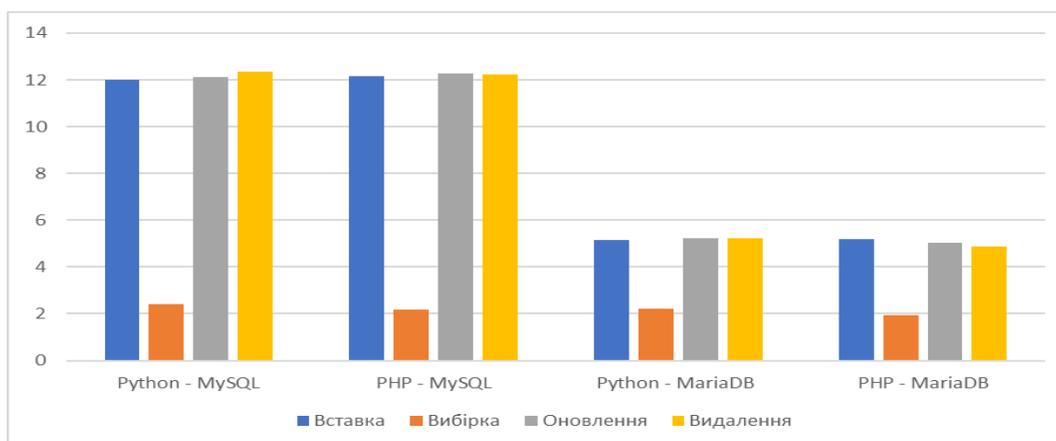


Рис. 2 – Результати досліджень для різних операцій виконання в середовищах Python та PHP

Як видно з графіка, швидкість виконання запитів вибірки фактично не залежить ні від типу бази даних, ні від способу підключення до неї. Також немає суттєвої різниці між способами підключення в межах однієї бази даних. Запити в середовищах Python та PHP виконуються майже однаково кількість часу.

Варто зауважити також подібну швидкодію операцій вставки, оновлення та видалення. Особливо помітне прискорення, майже в шість раз, спостерігається для операції вибірки. Що ж до порівняльної характеристики швидкодії СУБД, у даному випадку з графіка можемо спостерігати значне скорочення затрачуваного часу на виконання запитів бази даних MariaDB у порівнянні з MySQL – приблизно у 2,5 рази.

**4. Висновки.** У даній роботі було розглянуто основні особливості підключення та взаємодії з поширеними СУБД MySQL та MariaDB і визначено основні принципи побудови з'єднань з базою даних у середовищах Python та PHP. Було проведено дослідження, метою якого було визначити залежність часу виконання CRUD операцій у різних середовищах від кількості запитів до бази даних відповідного типу. Виявлено прямолінійну залежність між кількістю операцій з базою даних та часом їх виконання. Здійснено порівняння результатів швидкодії виконання базових операцій у різних базах даних за наявності різноманітних умов.

### Reference

1. Jesper Wisborg Krogh. MySQL Connector/Python Revealed / Jesper Wisborg Krogh // MySQL Connector/Python Revealed: SQL and NoSQL Data Storage Using MySQL for Python Programmers. 1st ed. Edition 2018 Apress 540 c
2. Russell J. T. Dyer. Learning MySQL and MariaDB: Heading in the Right Direction with MySQL and MariaDB / Russell J. T. Dyer // Learning MySQL and MariaDB: Heading in the Right Direction with MySQL and MariaDB 1 edition 2015 O'Reilly Media 408 c
3. Charles Bell. Expert MySQL / Charles Bell // Expert MySQL. 2nd ed. edition 2012 Apress 640 c
4. Federico Razzoli. MariaDB Essentials / Federico Razzoli, Emilien Kenler // MariaDB Essentials: Quickly get up to speed with MariaDB-the leading, drop-in replacement for MySQL, through this practical tutorial. 1 edition 2015 Packt Publishing 208 c
5. Adrian W. West. Practical PHP 7, MySQL 8, and MariaDB Website Databases / Adrian W. West, Steve Prettyman // Practical PHP 7, MySQL 8, and MariaDB Website Databases: A Simplified Approach to Developing Database-Driven Websites . 2nd ed. edition 2018 Apress 568 c
6. MySQL official site. URL:<https://www.mysql.com/>
7. MySQL – Wikipedia. URL:<https://en.wikipedia.org/wiki/MySQL>
8. MariaDB official site. URL:<https://mariadb.org/>
9. MariaDB – Wikipedia. URL:<https://en.wikipedia.org/wiki/MariaDB>
10. Python PostgreSQL Tutorial Using Psycopg2 URL:<https://pynative.com/python-postgresql-tutorial/>
11. PEP 249 -- Python Database API Specification v2.0 URL:<https://www.python.org/dev/peps/pep-0249/>
12. Use cases of the DB API for a PostgreSQL database // Python wiki. URL:<https://wiki.python.org/moin/UsingDbApiWithPostgres#python-db-api>
13. Object-relational mapping – Wikipedia. URL:[https://en.wikipedia.org/wiki/Object-relational\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Object-relational_mapping)
14. PHP official documentation. URL:<https://www.php.net/manual/en/mysql.php>
15. (The only proper) PDO tutorial. URL:<https://phpdelusions.net/pdo>

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-15

УДК 004.932

Поляченко А. І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

### ЗГОРТКОВА НЕЙРОННА МЕРЕЖА ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТОМОГРАФІЧНИХ І РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКІВ В СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ

**Поляченко А. І. Згорткова нейронна мережа для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в системі розпізнавання.** У роботі запропоновано та побудовано систему розпізнавання томографічних і рентгенівських знімків для пошуку і локалізації патологій. Дана система включає блоки: введення інформації про пацієнта, обробки медичних зображень, для встановлення висновку, для класифікації виявлених патологій, базу даних, підготовки звіту. У статті приділено увагу особливостям розробки згорткової нейронної мережі для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій. В результаті, було запропоновано згорткову нейронну мережу для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в запропонованій системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій.

**Ключові слова:** система розпізнавання, згорткова нейронна мережа, томографічні та рентгенівські знімки, пошук і локалізація патологій, медичні зображення.

**Поляченко А. И. Сверточная нейронная сеть для классификации томографических и рентгеновских снимков в системе распознавания.** В работе предложена и построена система распознавания томографических и рентгеновских снимков для поиска и локализации патологий. Данная система включает блоки: ввод информации о пациенте, обработки медицинских изображений, для установления вывода, для классификации выявленных патологий, базу данных, подготовки отчета. В статье уделено внимание особенности разработки сверточной нейронной сети для классификации томографических и рентгеновских снимков в системе распознавания, предназначенной для поиска и локализации патологий. В результате, было предложено сверточную нейронную сеть для классификации томографических и рентгеновских снимков в предложенной системе распознавания, предназначенной для поиска и локализации патологий.

**Ключевые слова:** система распознавания, сверточная нейронная сеть, томографические и рентгеновские снимки, поиск и локализация патологий, медицинские изображения.

**Poliachenko A. I. Convolutional neural network for the classification of tomographic and X-ray images in the recognition system.** In this work, a tomographic and X-ray recognition system was proposed and constructed for the search and localization of pathologies. This system includes the following blocks: patient information input, medical image processing, output, classification of detected pathologies, database, report preparation. The article focuses on the peculiarities of the development of a convolutional neural network for the classification of tomographic and X-ray images in a recognition system designed for the search and localization of pathologies. As a result, a convolutional neural network was proposed for the classification of tomographic and X-ray images in the developed recognition system designed to search for and locate pathologies.

**Key words:** recognition system, convolutional neural network, tomography and X-ray images, pathology search and localization, medical images.

**1. Постановка проблеми.** Сучасна медицина залежить від технічних досягнень у сфері медичного приладобудування та розвитку медичного програмного забезпечення. Однією з найважливіших задач, що постає перед лікарями, є визначення точних меж пухлин та інших аномальних утворень у тканинах організму людини. Для обстеження пацієнта, як правило, використовуються методи комп'ютерної та магнітно-резонансної томографії (КТ та МРТ відповідно). Обидва методи дозволяють проводити пошарове вивчення внутрішньої будови органічних структур без їх фізичного пошкодження (якщо не розглядати можливі побічні ефекти у результаті опромінення чи тривалого знаходження у потужному магнітному полі). Результатом обстеження є серія знімків, що відповідають обраним площинам сканування. Шляхом виконання досить нетривіальних обчислень, програмне забезпечення томографічних робочих станцій відтворює структурне зображення об'єкта сканування на основі даних про рентгенівську щільність (КТ) чи відклик атомів водню (МРТ). На основі отриманих знімків лікар візуально визначає наявність аномальних утворень та їх межі. Проблема полягає у тому, що наявність пухлин досить просто визначити візуально у силу їх характерних структурних особливостей, у той час як визначення точних меж між здоровими та ураженими тканинами є дуже складною задачею, яку практично неможливо вирішити без виконання додаткових замірів та розрахунків. Складність цієї задачі є наслідком того, що здорові та уражені тканини на знімках КТ та МРТ можуть виглядати практично однаково, у сенсі, наприклад, кольору відповідних областей, що, у свою чергу, унеможливує використання методів візуального аналізу зображення для виявлення меж між вказаними областями. Тому виникає необхідність у побудові системи розпізнавання томографічних і рентгенівських знімків для пошуку і локалізації патологій з класифікацією таких знімків.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз медичних зображень полягає у виборі алгоритму, найбільш підходящого для його сегментації [1, 4, 5, 8, 10, 11, 13]. Фактично таке завдання стоїть, перед розробниками програмних засобів для КТ і МРТ-обладнання, а не перед лікарями-клініцистами, які використовують методи променевої діагностики. При виборі алгоритму доводиться враховувати як властивості конкретного медичного зображення, так і особливості певного алгоритму сегментації [15-17].

Автори роботи [4] класифікують методи сегментації в залежності від властивостей, на основі яких вони виконуються (розривність або схожість низькорівневих ознак); стратегій обробки зображення (послідовна або паралельна); типу зображення (кольорове або півтонове); наявності в використовуваному методі вбудованого (внутрішнього) критерію для перевірки якості сегментації. У роботах [9, 14] методи сегментації поділяються на три класи в залежності від того, що лежить в їх основі: край, область або пікселі. Класифікація методів сегментації в залежності від застосовуваного математичного апарату розглянута в роботі [2]. За цією ознакою розрізняють порогову сегментацію; морфологічну сегментацію і метод нарощування областей. У деяких роботах [3, 7], класифікація методів сегментації розглядається з точки зору участі оператора в процесі сегментації: інтерактивні, автоматичні, напівавтоматичні. Класифікувати методи сегментації, які найбільш часто використовують в завданнях обробки медичних зображень можна наступним чином: порогові методи; методи виявлення країв; методи виділення областей; метод морфологічного водорозділу; методи, засновані на атласах; методи кластеризації; штучні нейронні мережі. Для оцінки ефективності застосування того чи іншого методу використовуються, як правило, такі показники [6]: чутливість; специфічність; точність. Практика показує, що один і той же метод може показати гарні результати на певних медичних зображеннях, а на інших зображеннях того ж типу може бути неефективним [12].

**Мета роботи** – розробка згорткової нейронної мережі для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій.

**Виклад матеріалу дослідження.** Для пошуку і локалізації аномалій на томографічних і рентгенівських знімках пропонується система, яка складатиметься з блоків, приведених на рис. 1. У приведеній функціональній структурі пропонуємої системи початковим етапом є отримання томографічних чи рентгенівських знімків, які, далі, поступають до блоків введення інформації про пацієнта і обробки медичних зображень. Інформація про пацієнта в результаті введення потрапляє до бази даних разом із томографічними чи рентгенівськими знімками. Блок обробки медичних зображень із внутрішніми зв'язками має наступну структуру (рис. 2). Приведена структура блоку обробки медичних зображень пропонуємої системи включає 4 підсистеми, які охоплюють автоматичну обробку томографічних чи рентгенівських знімків, а також обробку в ручному режимі лікарем-діагностом.

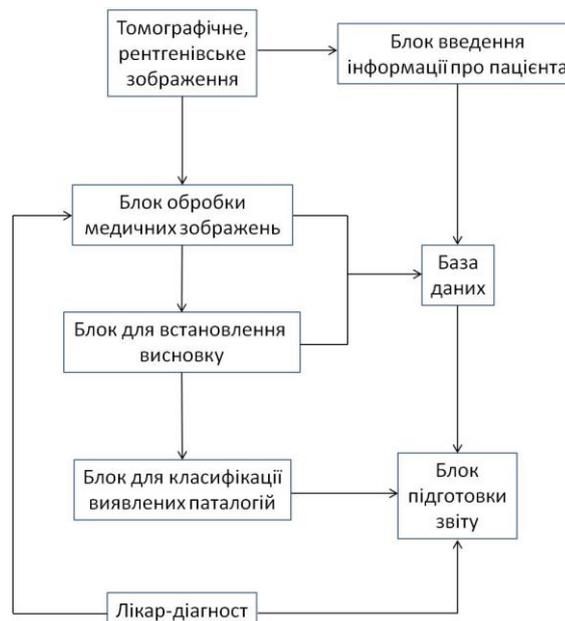


Рис. 1. Загальний вигляд функціональної структури пропонуємої системи розпізнавання томографічних і рентгенівських знімків для пошуку і локалізації патологій



Рис. 2. Структура блоку обробки медичних зображень

У даній статті, приведено особливості розробки згорткової нейронної мережі для класифікації медичних знімків без використання відкритого джерела в системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій.

Для встановлення патології на КТ і МРТ знімках можуть бути застосовані згорткові нейронні мережі, які дозволяють виконати їх класифікацію та отримати текстовий висновок.

Ідея згорткової нейронної мережі полягає в чергуванні згорткових шарів (convolution layers) і субдискретних шарів (subsampling layers, шарів підвибірки). Структура згорткової нейронної мережі – односпрямована (без зворотних зв'язків), принципово багатoshарова. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилки. Функція активації нейронів (передавальна функція) – будь-яка, за вибором дослідника. У згорткових шарах, приховані нейрони замінюються згортковими фільтрами. Замість підбору ваг для нейронів, необхідно вирішити завдання підбору ваг для сімейства фільтрів. Згорткові шари впорядковують нейрони в тривимірному режимі з використанням висоти, ширини і глибини для оброблюваного сигналу.

Розглянемо особливості побудови згорткової нейронної мережі для класифікації медичних знімків без використання відкритого джерела в системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій.

Робота нейронної мережі пов'язана з ініціалізацією ваг  $w_{ij}^{(l)}$ , які позначають вагу на шляху від  $i$ -го нейрона в  $(l - 1)$ -му шарі до  $j$ -го нейрону в  $l$ -му шарі.

На першому етапі береться одна послідовність даних, з встановленням вхідних значень кожного нейрона  $y_i^{(0)}$  в 0-му (вхідному) шарі з відміткою у вихідному шарі. Далі обчислюється сумарний чистий вхідний сигнал від попереднього шару до кожного прихованого нейронного шару  $x_j^{(l)}$  у наступному шарі і обчислюється загальний вхідний сигнал, з використанням функції активації для виходу в наступному шарі  $y_j^{(l)}$ , потім повторюється процес з нейронами вихідного шару. Це може бути записано в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 X^{(l)} &= Y^{(l-1)} W^{(l-1)}, \\
 W^{(l-1)} &\in R(d(l-1) \times d(l)); \\
 Y^{(l)} &= \sigma(X^{(l)}), X^{(l)} \text{ і } Y^{(l)} \in R(d(l) \times 1), \quad (1)
 \end{aligned}$$

де  $d(l)$  – кількість нейронів у  $l$ -му шарі.

Далі здійснюється зворотне поширення помилки у вигляді:

$$W^{(l)} = W^{(l)} - \eta dW^{(l)}, \quad (2)$$

Виконується обчислення матриці градієнтів  $dW$  за вагами від другого останнього шару до останнього вихідного шару ( $l = n$ ). Помилку можна обчислити за виразом:

$$E = \frac{1}{2} \left( \text{label}_j^{(n)} - y_j^{(n)} \right)^2, \quad (3)$$

а значення градієнта кожної ваги між останнім шаром і його попередніми шаром складе:

$$\begin{aligned} \delta^{(n)} &= - (E - Y^{(n)}) \sigma' (X^{(n)}), \\ \delta^{(n)} &\in R (d(n) \times 1) \\ dW^{(n-1)} &= (Y^{(n-1)})^T \delta^{(n)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Проводиться обчислення градієнта в попередніх шарах ( $L = n - 1$ ):

$$\begin{aligned} \delta^{(l)} &= W^{(l)} (\delta^{(l+1)}); \\ dW^{(l-1)} &= (Y^{(l-1)})^T \delta^{(l)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Процес повторюється до тих пір, поки всі ваги в нейронній мережі не будуть оновлені.

Повинен існувати зворотний зв'язок для поновлення ваг, який допомагає досягти певної ітерації.

Робота згорткової нейронної мережі заснована на базових нейронних мережах, які описані вище, а алгоритм складається з двох основних процесів: згортки і дискретизації, які відбуваються на згортальних шарах і максимальних рівнях пулу.

В процесі згортки кожен нейрон отримує вхідні дані у вигляді матриці  $n \times n$  попереднього шару, яке є локальним рецептивним полем, що можна записати як:

$$x_{ij}^{(l)} = \sigma \left( b + \sum_{r=0}^n \sum_{c=0}^n w_{r,c} x_{i+r,j+c}^{(l-1)} \right). \quad (6)$$

Кожному локальному рецептивному полю відповідають однакові ваги  $w_{r,c}$  і зміщення  $b$ , які визначаються з рівняння (6), що наведене вище, параметри якого можна розглядати як навчальний фільтр або ядро  $F$ .

У процесі згортки відбувається дія згортки медичного зображення, а згортковий шар є результатом виведення попереднього шару. Даний процес представимо на рис. 3.

В процесі дискретизації можливе об'єднання наступного шару після кожного згорткового шару. У результаті, дискретизація відбувається між згортковим шаром і шаром об'єднання.

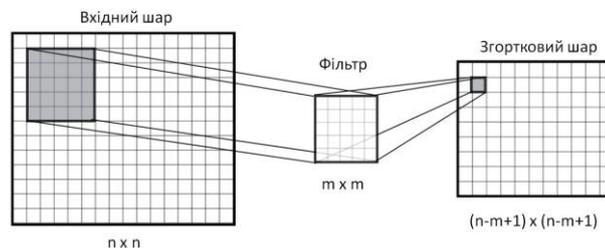


Рис. 3. Процес в шарах згорткової нейронної мережі

Шар пулу згорткової нейронної мережі відбирає маленькі прямокутні блоки зі згорткового шару і опрацьовує його. У даній роботі пропонується прийняти максимум блоку в якості одного виводу в шар пулу. Даний процес представимо на рис. 4.

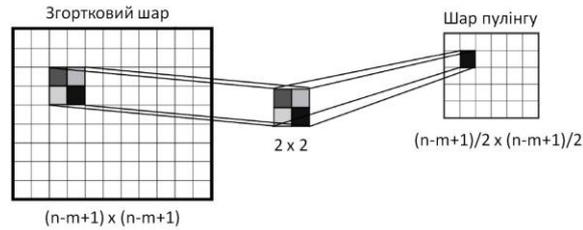


Рис. 4. Процес відбору прямокутних блоків зі згорткового шару згорткової нейронної мережі шаром пулу

Оскільки в існуючих областях медичних зображень прослідковується мало зв'язків, то використання згорткової нейронної мережі є доречним і їх набагато легше навчати, ніж звичайні нейронні мережі.

У вигляді активації виходу нейронів, застосовуються стандартні функції:

$$y(x) = (1 + e^{-x})^{-1},$$

або

$$y(x) = \tanh(x),$$

де  $x$  – вхідні значення.

Існує проблема зникаючого градієнту, яка виникає, коли одиниці вищого шару майже насичені при  $-1$  або  $1$ , у результаті чого нижні шари згорткової нейронної мережі мають градієнти рівні, практично  $0$ . Такі зникаючі градієнти викликають повільну збіжність оптимізації, а в деяких випадках остаточно навчена згорткова нейронна мережа показує погані результати з новою вибіркою зображень.

Таке може відбуватися при використанні вищезгаданих сигмовидної функції або функції гіперболічного тангенса. Тому для виключення проблеми зникаючого градієнта будемо використовувати функцію активації ReLU у вигляді:

$$y = \max(0, b + \sum_{i=1}^k x_i w_i). \quad (7)$$

Для регуляції перенавчання згорткової нейронної мережі під час тренування випадуючі нейрони не беруть участі в прямому і зворотному поширенні. Випадання можна розглядати як дискретизацію нейронної мережі в межах згорткової нейронної мережі з оновленням параметрів на основі вхідних даних. При цьому для випадуючого шару забезпечується постійне його включення між повністю пов'язаними шарами. В шарі випадання вибір одиниць для випадання є випадковим і може бути прийнятий із значенням фіксованою ймовірністю, що дорівнює  $0,5$ .

Оскільки досліджуються медичні зображення  $512$  на  $512$  пікселів у форматі DICOM, то вхідний шар згорткової нейронної мережі буде містити  $262144$  ( $512 \times 512$ ) нейронів (рис. 5).

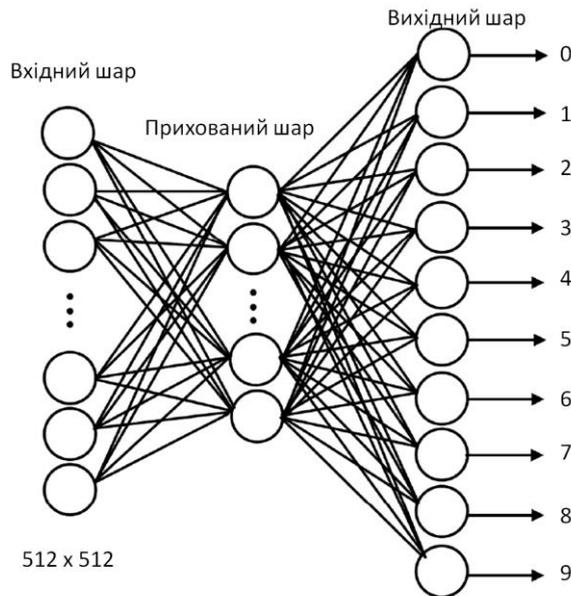


Рис. 5. Загальний вигляд шарів згорткової нейронної мережі

У згортковій нейронній мережі другий рівень є прихованим, і цей шар позначимо як  $n$  для визначення оптимальних даних за значенням цього прихованого шару.

На рис. 5, наведений приклад ілюструє невеликий прихований шар, що містить всього  $n = 30$  нейронів. Вихідний шар мережі містить 10 нейронів, які позначають 10 типів різних медичних зображень. Нумерація вихідних нейронів від 0 до 9 є символічною. У результаті для прогнозування повинен бути обраний нейрон з найвищим значенням активації.

**Висновки.** У роботі запропоновано та побудовано систему розпізнавання томографічних і рентгенівських знімків для пошуку і локалізації патологій. Дана система включає блоки: введення інформації про пацієнта, обробки медичних зображень, для встановлення висновку, для класифікації виявлених патологій, базу даних, підготовки звіту. У статті приділено увагу особливостям розробки згорткової нейронної мережі для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій. В результаті, було побудовано згорткову нейронну мережу для класифікації томографічних і рентгенівських знімків в запропонованій системі розпізнавання, призначеної для пошуку і локалізації патологій.

### Список бібліографічних посилань

1. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений и особенностей информатизации сферы здравоохранения России. Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 4. С. 73-86.
2. Дороничева А. В. Методы распознавания медицинских изображений для задач компьютерной автоматизированной диагностики. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. Режим доступа: [www.science-education.ru/118-14414](http://www.science-education.ru/118-14414).
3. Жук С. В. Обзор современных методов сегментации растровых изображений. Известия волгоградского государственного технического университета. 2009. № 6. С. 115-118.
4. Поршнев С. В. Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2008. № 3. С. 163-172.
5. Anam M. An Efficient Brain Tumor Detection Algorithm Using Watershed & Thresholding Based Segmentation. Image, Graphics and Signal Processing. 2012. Vol. 10. Pp. 34-39.
6. Bansal S. Performance analysis of color based region split and merge and otsu's thresholding techniques for brain tumor extraction. International Journal of Engineering Research and Applications. 2013. Vol. 3, issue 4. Pp. 1640-1643.
7. Hakeem A. A. A new approach to image segmentation for brain tumor detection using pillar k-means algorithm. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2013. Vol. 2, issue 3. Pp. 1429-1436.
8. Hough P. V.C. Method and means for recognizing complex patterns .U.S. Patent 3,069,654. -December 18, 1962.
9. Kharrat A. Detection of brain tumor in medical images. International Conference on Signals, Circuits and Systems. 2009. Pp. 1-6.
10. Logeswari T. An improved implementation of brain tumor detection using segmentation based on hierarchical self organizing map. International Journal of Computer Theory and Engineering. 2010. Vol. 2, no. 4, pp. 1793-8201.
11. Marr D. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. Vol. 207, no. 1167. Pp. 187-217.
12. Neeraj Sharma Automated medical image segmentation techniques. Journal of medical physics. 2010. No. 35. Pp. 3-14.

13. Prewitt J. M. S. Object enhancement and extraction, picture processing and psychopictorics. NY : Academic Pres, 1970. Pp. 75-149.
14. Rakesh M. Image segmentation and detection of tumor objects in MR brain images using fuzzy C-means (FCM) algorithm. International Journal of Engineering Research and Applications. 2012. No. 2, issue 3. Pp. 2088-2094.
15. Roberts L. G. Machine perception of three-dimensional solids. Optical and Electro-Optical Information Processing. MIT Pres, 1965. Pp. 159-197.
16. Robinson G. S. Edge detection by compass gradient masks. Computer Graphics and Image Processing. 1977. Vol. 6, no. 5. Pp. 492-502.
17. Sobel I. E. Camera models and machine perception, PHD dissertation. Stanford University, 1970. 303 p.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-17

УДК 004.75:004.49

Савенко О. С., Нічепорук А. О., Паюк В. П.

Хмельницький національний університет

## ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ВІЯВЛЕННЯ ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

**Савенко О. С., Нічепорук А. О., Паюк В. П. Оцінка ефективності та достовірності розподілених систем виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мереж.** В статті запропоновано оцінку ефективності та достовірності розподіленої багаторівневої системи виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних мереж. Проведено огляд та характеристику відомих методів виявлення зловмисного програмного забезпечення на прикладі вірусних програм, що здійснюють мутацію власного коду, а також здійснено порівняння їх достовірності виявлення із розподіленою багаторівневою системою.

**Ключові слова:** достовірність, розподілена багаторівнева система, зловмисне програмне забезпечення.

**Савенко О. С., Нічепорук А. А., Паюк В. П. Оценка эффективности и достоверности распределенных систем обнаружения вредоносных программ в компьютерных системах локальных сетей.** В статье предложено оценку эффективности и достоверности распределенной многоуровневой системы обнаружения вредоносных программ в компьютерных системах локальных сетей. Проведен обзор и характеристика известных методов обнаружения вредоносных программ на примере вирусных программ, осуществляющих мутацию собственного кода, а также проведено сравнение их достоверности обнаружения с распределенной многоуровневой системой.

**Ключевые слова:** достоверность, распределенная многоуровневая система, вредоносное программное обеспечение.

**Savenko O. S., Nicheporuk A. O., Payuk V. P. Estimation of efficiency and reliability of distributed malware detection systems in computer systems of the local network.** Article presents an estimation of efficiency and reliability of the distributed multilevel system of malicious software detection in computer systems of the local network. An overview and description of known malware detection methods is done on the example of virus programs that perform a mutation of their own code, as well as a comparison of their reliability with a distributed multilevel system.

**Keywords:** accuracy, distributed multilevel system, malicious software.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день актуальність проблеми виявлення зловмисного програмного забезпечення (ЗПЗ) не викликає жодних сумнівів. Оскільки нові типи шкідливих програм створюються і публікуються швидше, ніж додаються можливості виявлення, завжди є прогалина у виявленні, що призводить до інфікування все нових і нових користувачів.

Розвиток технологій та засобів написання шкідливого коду дозволив створювати зловмисне програмне забезпечення, яке представляє собою складні багатофункційні програмні системи та комплекси, які побудовані з використанням ефективних методів створення програмних засобів та методів поширення зловмисного коду. При цьому воно переважно розроблено для використання в комп'ютерних мережах. Для організації ефективної протидії таким засобам важливим є розробка таких систем виявлення ЗПЗ, архітектура яких враховувала б ці особливості. А використання ЗПЗ в мережах вимагає охоплення такими антивірусними системами вузлів мереж, що ставить питання до їх архітектури як до архітектури складного комплексу ЗПЗ. Крім того, досягнення підвищення достовірності виявлення ЗПЗ в межах тільки однієї комп'ютерної системи (КС), яка має вихід в мережу Internet, може бути недостатнім при протидії засобам ЗПЗ, які представлені великим програмним комплексом, що розміщений в багатьох комп'ютерних системах в глобальній мережі, і частини якого комунікують між собою.

У зв'язку з високою важливістю проблеми з поширенням ЗПЗ, протягом останніх років було представлено значну кількість підходів щодо виявлення ЗПЗ. Серед них в [1, 2] представлено архітектура розподіленої багаторівневої системи (РБС) для виявлення шкідливих програм у локальних мережах. Вона ґрунтується на принципах децентралізації та самоорганізації. Запропонована система дозволяє змінювати різні підходи до виявлення. Розподілена система постійно контролює запущені процеси виконуваних програм в комп'ютерних системах мережі. Компонентами розподіленої системи є автономні програмні одиниці з однаковою архітектурою, але кожен з них може самостійно приймати рішення на основі різних зібраних даних з різних комп'ютерних систем мережі. Розроблена розподілена система дозволяє ідентифікувати нові зразки ЗПЗ за допомогою зв'язку між програмними одиницями і відповідним функціональним змістом.

Враховуючи складність всієї розробленої системи, необхідним є здійснення оцінки її ефективності, а також достовірності виявлення ЗПЗ.

**Аналіз досліджень і публікацій.** З метою оцінки ефективності розробленої РБС та порівняння результатів її роботи з відомими системами виявлення ЗПЗ, розглянемо детальніше підходи до виявлення ЗПЗ, що здійснюють мутацію власного вірусного коду (метаморфні та поліморфні віруси).

В роботі [3] представлено метод виявлення метаморфних вірусів, що заснований на представленні програми у вигляді графів, в яких частини коду і його взаємозв'язки моделюються вузлами та ребрами. Автори запропонували методику скорочення графів, що засноване на меншому впливі на семантику певних частин коду. Таке представлення дозволило виокремити семантично сталу частину коду, у якій відсутні команди сміття. Для здійснення процесу виявлення здійснюється пошук максимального ізоморфізму під графа. Запропонована методика була протестована на різних поліморфних вірусах, що були зібрані із глобальної мережі.

Альтернативним підходом до виявлення метаморфних вірусів є виокремлення характеристичних ознак на основі інформації про потік виконання програми, що представлений послідовністю API викликів. У роботі [4] запропоновано підхід, що передбачає побудову графу потоку керування метаморфного вірусу, з подальшою конвертацією його у векторний простір. Для проведення класифікації було використано наступні класифікатори: одно рівневі дерева прийняття рішень, наївний Байєсів класифікатор, випадковий ліс, метод k-ближніх сусідів та метод послідовної мінімальної оптимізації (SMO).

Ще одним підходом до виявлення обфускованого шкідливого програмного забезпечення є використання техніки, заснованої на нормалізації коду. Ідея підходу полягає в отриманні унікального коду, який представляє всі метаморфні перетворення. Одним із способів цього є переклад коду на проміжну мову. В роботі [5] представлено підхід, який використовує MAIL (Malware Analysis Intermediate Language) з метою оптимізації та автоматизації виявлення шкідливих програм. Кожному оператору MAIL присвоюється шаблон, який можна використовувати для анотації графа потоку керування для відповідності шаблону. Основною метою MAIL є представлення структурної та поведінкової інформації про збірку програми для аналізу та виявлення шкідливих програм таким чином, щоб зробити програму більш читабельною та зрозумілішою. Для здійснення виявлення підозрілу програму спочатку дизасемблюють і переводять у програму MAIL. Граф потоку керування програми (CFG) згодом будується з анотованої програми, яка стає частиною підпису програми і узгоджується з базою даних відомих зразків шкідливих програм для класифікації. Далі CFG поділяється на менші підграфи, що відповідають окремим функціям в шкідливому коді. Для проведення класифікації здійснюється визначення відсотку збігу CFG підозрілої програми із відомими шаблонами, що присутні в базі даних.

В роботі [6] запропоновано визначати схеми повторних інструкцій, що містяться у шкідливих програмах. Авторами побудовано структуру даних, що називається матриця виникнення інструкцій (Instruction Occurrence Matrix), що пов'язує кожен код операції з числом унікальних інструкцій, які містять код операції, і зустрічаються принаймні два рази в програмному коді. Потім ІОМ відправляється в класифікатор машинного навчання, який встановлює, чи є підозрілий код вірусом чи ні. Для проведення класифікації залучено п'ять алгоритмів, що засновані на деревах прийняття рішень, в яких проміжні вузли містять умови, що застосовуються до одного з атрибутів, вибраних для класифікації, а кінцеві вузли представляють передбачений клас.

Автори роботи [7] використали апарат прихованих марківських моделей (ПММ) для виявлення сімейств метаморфних вірусів. Перевагою використання ПММ є їх здатність знаходити прихований стан або базову структуру в заданих послідовних даних. Автори здійснили навчання багатьох ПММ для різних метаморфних генераторів шкідливих програм, використовуючи представлення опкодів інструкцій у вигляді n-грам. З метою усунення ознак, що зменшують точність навчання моделей, використано міру TF-IDF (TF – term frequency, IDF – inverse document frequency). Результати проведених експериментів показали ефективність виявлення близько 90% для трьох різних сімейств вірусів: zbot, winwebsecand та zeroaccess.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Здійснення оцінки ефективності розробленої РБС проведемо в порівнянні її використання в хостовому представленні одним програмним модулем та системою, в якій більше одного програмного модуля. Таке порівняння дозволить встановити додаткові витрати на операції обміну між програмними модулями та витратами на залучення додаткових ресурсів КС. Визначення загальної оцінки ефективності розробленої РБС виявлення ЗПЗ в

КС локальної мережі здійснимо на основі її суттєвих характеристик та показників, які впливають на її функціонування, завантаженість ресурсів КС та трафіку в мережі. До критеріїв ефективності для розробленої РБС віднесемо такі: витрати часу на здійснення процесу виявлення хостом; витрати часу на здійснення процесу виявлення всією РБС; оперативність в прийнятті рішень; ресурсоспоживання; достовірність виявлення.

Оскільки, РБС при прийнятті рішень використовує інформацію з ПМ окремо, а також залучає групу ПМ для прийняття рішень, то здійснимо визначення ефективності її ПМ окремо.

Визначимо час, який витрачається на здійснення процесу виявлення ЗПЗ в КС локальної мережі, наступним чином:

$$t_{ПМ} = \sum_{i=1}^{10} t_i, \quad (1)$$

де  $t_{ПМ}$  – час роботи окремого ПМ РБС;  $t_1$  – час перебування ПМ в стані 1;  $t_2$  – час витрачений на перевірку всіх виконуваних програм в окремій КС програмним модулем РБС без залучення решти ПМ, тобто перебування ПМ в стані 2;  $t_3$  – час перевірки процесів та мережних пакетів одним ПМ в КС, тобто перебування в стані 3;  $t_4$  – час витрачений на перевірку в окремій КС програмним модулем РБС без залучення решти ПМ, тобто перебування ПМ в стані 4;  $t_5$  – час витрачений на перевірку вибраних виконуваних програм в окремій КС програмним модулем РБС із залученням декількох ПМ, тобто перебування ПМ в стані 5;  $t_6$  – час перевірки процесів та мережних пакетів одним ПМ в КС із залученням декількох ПМ, тобто перебування в стані 6;  $t_7$  – час витрачений на перевірку в окремій КС програмним модулем РБС із залученням декількох ПМ, тобто перебування ПМ в стані 7;  $t_8$  – час витрачений на здійснення оптимізації інформації в окремій КС програмним модулем РБС без залучення решти ПМ, тобто перебування ПМ в стані 8;  $t_9$  – час витрачений на відправку пакетів із завданнями для декількох ПМ РБС;  $t_{10}$  – час витрачений на обробку завдань від інших ПМ РБС. Якщо ПМ перебував в стані 1 постійно, тоді час витрачений на його функціонування співпадає з часом перебування в стані 1. Час перебування ПМ в станах 1-4 та 8 відповідає одноосібній роботі ПМ РБС. Співвідношення, яке визначається формулою 2, встановлює частку часу  $p_1$  роботи ПМ одноосібно в складі РБС:

$$p_1 = \frac{\sum_{i=1}^4 t_i + t_8}{t_{ПМ}}. \quad (2)$$

Якщо ПМ не здійснював зв'язку з іншими ПМ РБС, тоді  $p_1 = 1$ . В протилежному випадку буде зафіксована частка часу, яка дозволить встановити час взаємодії ПМ з іншими ПМ РБС. Аналогічно введемо частку часу  $p_2$  роботи ПМ на залучення інших ПМ РБС, яку визначимо за формулою 3:

$$p_2 = \frac{\sum_{i=5}^7 t_i + t_9}{t_{ПМ}}. \quad (3)$$

А також, введемо частку часу  $p_3$  на обробку запитів від інших ПМ РБС і визначимо її за формулою 4:

$$p_3 = \frac{t_{10}}{t_{ПМ}}. \quad (4)$$

Час витрачений на обробку запитів від інших ПМ РБС включає тривалість передачі одиниці обсягу даних для окремого ПМ з решти ПМ мережі, тривалість дослідження програмного коду ймовірного ЗПЗ та тривалість відправлених решті ПМ в мережі результатів. Тому, введемо для цих показників відповідний час, позначивши  $t_{10,1}$  – тривалість передачі,  $t_{10,2}$  – тривалість дослідження,  $t_{10,3}$  – тривалість відправлення результатів. Тоді,  $t_{10} = t_{10,1} + t_{10,2} + t_{10,3}$ . В результаті витрати часу на здійснення процесу дослідження програмних об'єктів всією РБС отримуємо за формулою 4:

$$t_{РБС} = \sum_{i=1, i \neq j}^n a_i \cdot t_{i,10} + t_k, \quad (5)$$

де  $t_{PBC}$  – витрати часу всією РБС на вирішення завдань, які виникають в одному з ПМ;  $a_i$  – бінарні коефіцієнти, які вказують на залучення/не залучення  $i$ -того ПМ для вирішення завдань  $j$ -того ПМ;  $t_{i,10}$  – витрати часу  $i$ -того ПМ для вирішення завдань  $j$ -того ПМ;  $t_k$  – час витрачений  $j$ -тим ПМ для вирішення завдання в  $k$ -тому стані;  $n$  – кількість ПМ в РБС.

В результаті досягнення ефективності роботи всієї РБС в порівнянні з одним ПМ полягає у визначенні відношення частки між ними, яке представлено формулою 6:

$$\frac{t_{PBC}}{t_k} = 1 + \frac{\sum_{i=1, i \neq j}^n a_i \cdot t_{i,10}}{t_k}, \quad (6)$$

де  $t_k$  – час витрачений  $j$ -тим ПМ для вирішення завдання в  $k$ -тому стані;  $n$  – кількість ПМ в РБС.

Критерій ефективності полягає в мінімізації величини  $k_e = \frac{t_{PBC}}{t_k}$ .

Якщо величина в чисельнику дорівнює нулеві, тобто інші ПМ РБС не залучались до виконання завдання одного з ПМ, і при цьому завдання виконано, то результат є найефективнішим. Якщо ж величина в чисельнику відмінна від нуля, тобто залучався для виконання завдань одного з ПМ хоча б один з ПМ РБС додатково, то тоді порівняння таких значень вказує на ефективність роботи РБС при вирішенні завдань як певного типу, що вимагає перебування в певному стані ПМ, так і кількості залучених ПМ. Таким чином, показник ефективності РБС за часом визначається за формулою 5.

Оперативність в прийнятті рішень розробленою РБС полягає в мінімізації часу від моменту виявлення ЗПЗ до його блокування не тільки в одній КС, в якій було виявлено, але і в усіх інших КС, в яких необхідне дослідження на наявність такого зловмисного програмного коду. Крім того, оперативність включатиме мінімізацію часу вимкнення РБС ураженої КС, в якій міститься ПМ РБС. Показники оперативності визначаються за формулами 7:

$$p_{o,1} = \min | \max | a_i \cdot t_{i,10} | + t_k |, \quad (7)$$

$$p_{o,2} = \min | t_{1,j} + \max | t_{i,12} | |,$$

де  $a_i$  – бінарні коефіцієнти, які вказують на залучення/не залучення  $i$ -того ПМ для вирішення завдань  $j$ -того ПМ;  $t_{i,10}$  – витрати часу  $i$ -того ПМ для вирішення завдань  $j$ -того ПМ;  $t_k$  – час витрачений  $j$ -тим ПМ для вирішення завдання в  $k$ -тому стані;  $t_{1,j}$  – витрати часу  $j$ -того ПМ для вимкнення  $j$ -ої КС;  $t_{i,12}$  – витрати часу  $i$ -тим ПМ для прийняття рішення про вимкнення  $j$ -того ПМ.

Ресурсоспоживання окремою КС та всіма КС в локальній мережі, в які встановлені ПМ РБС залежить від залучених ресурсів для дослідження програмного коду ймовірно зловмисного ПЗ в КС. Такими характеристиками є середня тривалість емуляції  $j$ -ї інструкції  $i$ -тої КС мережі та прогнозована кількість при обробці завдань за час роботи ПМ в КС. Ресурсоспоживання  $r_e$  визначимо на основі середніх обсягів витраченої оперативної пам'яті, завантаженості процесора для виконання процесів системи виявлення ЗПЗ та середній обсяг даних, які передані каналами мережі.

Для визначення достовірності процесу виявлення ЗПЗ використаємо формулу, що заснована на залученні матриці помилок (confusion matrix):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (8)$$

де  $TP$  – кількість вірно виявлених зразків ЗПЗ,  $FN$  – кількість хибно класифікованих зразків ЗПЗ,  $TN$  – кількість вірно ідентифікованих корисних програм,  $FP$  – кількість корисних програм неправильно класифікованих як ЗПЗ.

Для визначення показника, що використовуватиметься при розрахунку загальної ефективності, врахуємо час, який витрачено на помилки першого, другого та третього роду, який визначимо за формулою 9:

$$t_{d,PBC} = t_{d,1} + t_{d,2} + t_{d,3}, \quad (9)$$

де  $t_{d,РБС}$  – час витрачений на помилки при виявленні;  $t_{d,1}$  – час витрачений на помилки першого роду;  $t_{d,2}$  – час витрачений на помилки другого роду;  $t_{d,3}$  – час витрачений на помилки третього роду. Також, потрібно врахувати виникнення цих помилок в різних КС при дослідженні одного і того ж програмного об'єкту. Показник достовірності полягатиме в мінімізації величини  $p_d$ , яка визначається за формулою 10:

$$p_d = \min \left| 1 - \frac{t_{d,РБС}}{t_{РБС}} \right|, \quad (10)$$

Визначимо показник ефективності витрат часу на здійснення процесу виявлення ЗПЗ в локальних мережах наступним чином: унормуємо показники  $p_d, p_{o,1}, p_{o,2}, k_e$  та знайдемо їх добуток.

Отже, дослідження характеристик РБС виявлення ЗПЗ надало можливість розробити методику для визначення ефективності мережних систем. Отримана методика дозволить здійснити порівняння ефективності розробленої РБС з відомими системами.

**Експериментальні дослідження.** Для проведення експерименту було використано 150 зразків вірусних програм, що отримані з ресурсу VX Heavens [8]. Всі вірусні програми належать до вірусних сімейств: Virut, Zmist та Vifrose (по 50 екземплярів кожного вірусного сімейства). Окрім вірусних програм було залучено 50 корисних додатки, що є виконуваними файлами операційної системи Windows (mspaint, bfsvc, тощо).

Метою проведення експерименту було визначення рівнів достовірності виявлення і кількості хибних спрацювань для розробленої РБС та відомих систем виявлення ЗПЗ. Для визначення достовірності виявлення розробленої РБС було використано формулу (8). Для відомих систем було використано задекларовані у першоджерелі показники достовірності виявлення та хибного спрацювання. Результати проведеного експерименту наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння достовірності виявлення поліморфних вірусів розробленою РБС та відомими системами

Назва роботи	Достовірність виявлення Ассигасу (найкращий показник)	Рівень хибних спрацювань (найкращий показник)	Розмір тестової вибірки (довірені додатки/зловмисне програмне забезпечення)
Розподілена багаторівнева система [1]	96%	5%	50/150
Malware Detection based on Dependency Graph using Hybrid Genetic Algorithm [3]	88%	11%	0/18
A graph mining approach for detecting unknown malwares [4]	97,8%	48%	2140/2305
MAIL: Malware Analysis Intermediate Language [5]	93,92	3,02%	1137/250
Static analysis for the detection of metamorphic computer viruses using repeated-instructions counting heuristics [6]	94%	2%	500/500
Identifying metamorphic virus using n-grams and hidden markov model [7]	90%	4%	–

Отриманні результати свідчать, що достовірність виявлення поліморфних вірусів розробленою РБС склала близько 96% з рівнем хибних спрацювань 5%.

**Висновки.** Розроблені аналітичні залежності для здійснення оцінки ефективності розподілених систем виявлення ЗПЗ. Вони дозволяють оцінити часові показники ефективності, що є важливим для впровадження та використання таких систем.

Проведено огляд та характеристику відомих методів виявлення зловмисного програмного забезпечення на прикладі вірусних програм, що здійснюють мутацію власного коду, а також здійснено порівняння їх достовірності виявлення із розподіленою багаторівневою системою.

Напрямком подальших досліджень є дослідження впливу апаратних компонентів системи на їх ефективність в цілому.

### Reference

1. Markowsky G. Distributed Malware Detection System Based on Decentralized Architecture in Local Area Networks / G. Markowsky, O. Savenko, A. Sachenko // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2019. – Vol. 871. – P.582–598.
2. Савенко О.С. Архітектура багаторівневої програмної системи виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах. / О.С. Савенко, В.І. Грибичук, М.О. Кульчицький // *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. – 2018. – № 30-31. – С. 132-140.
3. Kim K. Malware Detection based on Dependency Graph using Hybrid Genetic Algorithm / K. Kim, B. R. Moon // *Proceedings of the 12th annual conference on Genetic and evolutionary computation*. – Portland, Oregon (USA), 07–11 July, 2010. – P. 1211–1218.
4. Eskandari M. A graph mining approach for detecting unknown malwares / M. Eskandari, S. Hashemi // *Journal of Visual Languages and Computing*. – 2012. – Vol. 23. – No 3. – P. 154–162.
5. Alam S. MAIL: Malware Analysis Intermediate Language / S. Alam, R. N. Horspool, I. Traore // *Proceedings of the 6th International Conference on Security of Information and Networks*. – Aksaray (Turkey), 26-28 November, 2013. – P. 233–240.
6. Canfora G. Static analysis for the detection of metamorphic computer viruses using repeated-instructions counting heuristics / G. Canfora, A. N. Iannaccone, C. A. Visaggio // *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. – 2013. – Vol. 10. – No 1. – P. 11–27.
7. Thunga S. P. Identifying metamorphic virus using n-grams and hidden markov model / S. P. Thunga, R. K. Neelisetti // *Proceedings of the 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. – Kochi (India), 28 September, 2015. – P. 2016–2022.
8. VX Heavens Computer virus collection [Electronic resource: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: <http://vx.netlux.org> (Viewed on May 7, 2019). – Title from the screen.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-20

УДК 681.516

Сироткіна О.І., к.т.н.; Алексеев М.О., д.т.н., проф.; Мещеряков Л.І., д.т.н., проф.; Мороз Б.І., д.т.н., проф.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### МЕТОДИ РОБОТИ З «ВЕЛИКИМИ ДАНИМИ» НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ «*M*-АРНИХ КОРТЕЖІВ»

**Сироткіна О.І., Алексеев М.О., Мещеряков Л.І., Мороз Б.І. Методи роботи з «великими даними» на основі застосування теорії «*m*-арних кортежів».** Статтю присвячено питанням створення і застосування математичних методів роботи з «великими даними» з метою мінімізації задіяних часових і обчислювальних ресурсів для структури організації даних типу «*m*-арні кортежі на основі впорядкованих множин довільної потужності». Проведено огляд і виконано аналіз математичних методів, які використовуються при вирішенні завдань даного класу. Сформульовані деякі властивості структури організації даних типу «*m*-арні кортежі на основі впорядкованих множин довільної потужності», які є наслідком логічних правил формування даної структури. Виведено набір функціональних залежностей між *m*-арними кортежами на основі їх розташування в структурі, яка визначається парою індексів (*j*, *m*) при приватних початкових умовах. Наведено наочну ілюстрацію графа булеана. Обкреслено вершини графа, визначені за допомогою виведених аналітичних залежностей, як елементи булеана, які включають в себе один і той же загальний елемент при приватних початкових умовах. Розраховано порівняльну оцінку часу виконання описаного в статті методу роботи з «великими даними» та методів-аналогів. Отримано логічні висновки про вплив досліджуваних властивостей та методів роботи зі структурою типу «*m*-арні кортежі на основі впорядкованих множин довільної потужності» на мінімізацію задіяних обчислювальних ресурсів.

**Ключові слова:** «великі дані», структура організації даних, впорядковані множини довільної потужності, *m*-арні кортежі, граф булеана, оцінка часу виконання алгоритму, мінімізація часових та обчислювальних ресурсів.

**Сироткина Е.И., Алексеев М.О., Мещеряков Л.И., Мороз Б.И. Методы работы с «большими данными» на основе применения теории «*m*-арных кортежей».** Статья посвящена вопросам создания и применения математических методов работы с «большими данными» с целью минимизации задействованных временных и вычислительных ресурсов для структуры организации данных типа «*m*-арные кортежи на основе упорядоченных множеств произвольной мощности». Проведен обзор и выполнен анализ математических методов, которые используются при решении задач данного класса. Сформулированы некоторые свойства структуры организации данных типа «*m*-арные кортежи на основе упорядоченных множеств произвольной мощности», которые являются следствием логических правил формирования данной структуры. Выведен набор функциональных зависимостей между *m*-арными кортежами на основе их местоположения в структуре, определяемого парой индексов (*j*, *m*) при частных начальных условиях. Приведена наглядная иллюстрация графа булеана. Очерченные вершины графа определены при помощи выведенных аналитических зависимостей как элементы булеана, включающие в себя один и тот же общий элемент при частных начальных условиях. Выполнена сравнительная оценка времени исполнения описанного в статье метода работы с «большими данными» и методов-аналогов. Получены логические выводы о влиянии исследуемых свойств и методов работы со структурой типа «*m*-арные кортежи на основе упорядоченных множеств произвольной мощности» на минимизацию задействованных вычислительных ресурсов.

**Ключевые слова:** «большие данные», структура организации данных, упорядоченное множество произвольной мощности, *m*-арные кортежи, граф булеана, оценка времени исполнения алгоритма, минимизация временных и вычислительных ресурсов.

**O. Syrotkina, M. Alekseyev, L. Meshcheriakov, B. Moroz. Methods of working with “big data” based on the application of “*m*-tuple” theory.** This article addresses the creation and application of mathematical methods to work with “big data”. This allows us to minimize the time and computational resources involved for a data organization structure “*m*-tuples based on ordered sets of arbitrary cardinality (OSAC)”. We reviewed and analysed mathematical methods used to solve problems of this class. We formulated several properties of this data organization structure which are a consequence of the logical rules for the formation of this structure. A set of functional dependencies between *m*-tuples is derived based on their location in the structure and is determined by a pair of indices (*j*, *m*) under particular initial conditions. It is also given the illustration of the Boolean graph. The outlined vertices of the graph are determined using the derived analytical dependencies as Boolean elements that include the same general element under particular initial conditions. We made a comparative evaluation between the execution time for the method to work with “big data” and the analogue methods described in the article. We obtained logical conclusions about the influence of the properties studied and methods to work with the structure “*m*-tuples based on OSAC” on the minimization of the computing resources involved.

**Keywords:** “big data”, data organization structure, ordered sets of arbitrary cardinality, *m*-tuples, Boolean graph, estimation of algorithm execution time, minimization of time and computing resources.

**Вступ.** У зв'язку з сучасним соціально-економічним розвитком суспільства, глобальними змінами у всіх сферах діяльності, прискореним зростанням високотехнологічних і наукоємних виробництв, широкомасштабним впровадженням інформаційно-телекомунікаційних технологій

ставляться підвищені вимоги до інформаційно-технологічних рішень, пов'язаних із завданнями обробки, зберігання, аналізу та управління «великими даними» в умовах часових, обчислювальних та інформаційних обмежень. Одним з основних напрямків розвитку сучасної інформаційно-технологічної інфраструктури є створення і впровадження різноманітних методів і алгоритмів достовірного і своєчасного аналізу великого потоку інформації, а також інструментарію для роботи з «великими даними». Як відомо [1], до основних характеристик «великих даних і методів їх обробки» відносяться наступні параметри: обсяг даних, швидкість їх обробки, різноманіття типів, достовірність, життєздатність, цінність і мінливість даних. Таким чином, актуальним завданням є створення методів роботи з «великими даними», що забезпечують пропоновані вимоги до кількісних і якісних характеристик оброблюваних даних.

**Аналіз досліджень.** На даний час зберігання і обробка «великих даних» в системах на основі реляційних БД не завжди є високоефективною. Для зберігання даних в реляційній БД необхідно виконати кілька етапів: розробити структуру зберігання даних; профільтрувати та перетворити дані в необхідний формат; завантажити дані в БД. Кожен з цих етапів може бути тривалим і трудомістким процесом.

Один з напрямків для вирішення даної проблеми – створення нового класу NoSQL (Not Only SQL) систем. Перевагою NoSQL систем є гнучкість моделей даних, можливості горизонтального масштабування і паралельної обробки, швидкість отримання результатів.

З точки зору методів аналізу «великих даних» подальший розвиток отримали машинне навчання, штучний інтелект, розподілена обробка потоків і подій, візуальні методи дослідження даних.

У статті [2] описуються моделі інтероперабельності і навігації за «великими даними», що дозволяють витягувати інформацію з великих і складних колекцій слабоструктурованих даних. Відмінність запропонованих моделей від традиційної реляційної моделі даних полягає в тому, що інформація про структуру великих масивів даних визначена в термінах ідентифікатор домену та бізнес-ключа. Використання математичної моделі домену / ключа дозволяє створювати структуру, яка може усунути всі обмеження, крім обмежень домену та обмежень ключа. Але практична реалізація перетворення колекції слабоструктурованих даних в нормальну форму домену/ключ залишається відкритим питанням.

У роботі [3] розглянуто математичні методи та принципи побудови експертних систем. В роботі описуються такі поняття, як система альтернатив, модуль несумісності, модуль заборони, модуль імплікації, модуль продукції. Показано реалізацію логічного висновку в системі альтернатив. На думку авторів, метод систем альтернатив призначений для організації та обробки даних при вирішенні завдань, що пов'язані з перебором варіантів. Іншим способом застосування даного методу є можливість створення бази знань експертної системи у вигляді системи альтернатив для вирішення задач розпізнавання і класифікації. Також в роботі розглянуті методи відновлення регулярних і контекстно-вільних мов. Ці методи застосовуються автором при автоматизованому витягу знань з бази знань експертної системи.

В роботі [4] розглянуто принципи побудови експертної системи для діагностики об'єкта з неструктурованим діагностичним ознаками (НДО). В роботі показано, що значення НДО можуть бути задані набором еталонів. Суть методу діагностування, запропонованого в зазначеній роботі, полягає у визначенні коефіцієнта подібності об'єкта діагностики з еталоном. База знань експертної системи задається графом. Вершини графа – набір НДО, дуги – набір еталонів, що задають значення НДО. Після обчислення коефіцієнтів подібності об'єкта діагностики з еталоном, їх значення присвоюються дугам. Після цього розраховується ймовірність зв'язності початкової вершини графа з термінальними вершинами. У роботі наведено висновок: якщо ступінь помітності діагнозів відповідає заданому значенню, то процес діагностування завершується. Інакше – процес триває для наступного НДО.

В роботі [5] розглядається концепція діагностики роботи інформаційних систем (ІС) на основі LV (Latent Variable) моделей латентних змінних. На базі масиву архівних даних, зібраних SCADA системою, визначаються параметри процесу, які завищили статистику моніторингу. Ці параметри пов'язані з роботою обладнання, поведінкою технологічного процесу або порушеннями режимів роботи. Підхід засновано на здатності експлуатаційного персоналу підприємства сформулювати експертну оцінку тенденцій протікання технологічного процесу і роботи обладнання. Для автоматизації процесу формування експертної оцінки можуть бути застосовані системи підтримки прийняття рішень, засновані на знаннях. При цьому LV моделі повинні бути унікальні і інтерпретовані. Також потрібна обробка великих масивів відсутніх даних, контроль їх цілісності всередині області LV, що встановлюється за навчальною вибіркою. Обмеження застосування LV

моделей, побудованих на архівних даних системи, полягає в обмеженні простору латентних змінних, що визначається самими архівними даними. LV моделі також можна використовувати для екстраполяції режимів роботи ІС, для яких відсутня статистика моніторингу.

Однією з найважливіших проблем застосування методів роботи з «великими даними» є їх обчислювальна осяжність (або неосяжність). Якщо із збільшенням кількості оброблюваних даних, число операцій зростає експоненціально, то таке явище називається «комбінаторним вибухом» [6]. Ще однією аналогічною проблемою, пов'язаною з «комбінаторним вибухом», є розв'язність методу (досягнення термінального стану з деякого ініціального стану) при експоненціальному зростанні числа станів досліджуваного об'єкта або процесу.

Для вирішення проблем «комбінаторного вибуху» виконуються, якщо є можливість, методи скорочення простору аналізованих станів, тобто розбиття його на досить незалежні підпростори з характерними неповними рішеннями.

Для скорочення простору аналізованих станів розроблено багато методів, в тому числі: використання симетрій при перевірці еквівалентності станів, абстракції на основі дослідження залежностей, абстракції предикатів, накладання обмежень на простір пошуку, спрямований пошук, евристичні методи [6, 7].

**Формулювання мети дослідження.** Метою нашого дослідження є мінімізації часових і обчислювальних ресурсів на обробку і аналіз «великих даних» шляхом розробки математичного методу скорочення простору аналізованих станів на основі виведення нових функціональних залежностей роботи зі структурою організацією даних (СОД) типу « $m$ -арні кортежі на основі впорядкованих множин довільної потужності (ВМДП)».

Опис основних термінів і визначень, а також деяких властивостей і математичних методів роботи з СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» наведено в [8 – 12].

**Постановка завдання в загальному вигляді.** Необхідно розробити математичний метод визначення істинності виразу (1) для будь-якої коректної комбінації значень параметрів:  $n$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $j_1$ ,  $j_2$  з мінімізацією тимчасових і обчислювальних ресурсів на обробку та аналіз даних.

$$\left\{ \begin{array}{l} y_{m_1, j_1}^n \text{ ор } y_{m_2, j_2}^n \\ \text{ор} \in \{\subseteq, \cup, \cap\} \\ 1 \leq m_1 < m_2 \leq n \\ 1 \leq j_1 \leq \binom{n}{m_1} \\ 1 \leq j_2 \leq \binom{n}{m_2} \end{array} \right. , \quad (1)$$

де

- $y_{m, j}^n$  –  $m$ -арний кортеж, елемент булеана  $2^X$ ;
- $n$  – потужність упорядкованої базової множини  $X$ ;
- $m_1, m_2$  – довжини кортежів;
- $j_1, j_2$  – індекси (порядкові номери)  $m$ -арних кортежів в упорядкованих множинах  $Y_{m_1}^n$  та  $Y_{m_2}^n$ .

Основна ідея даного методу полягає у виведенні набору функціональних залежностей  $\{f_i(n, m_1, m_2, j_1, \eta)\}$  при різних початкових умовах (для всіх можливих коректних комбінацій значень аргументів) і визначенні істинності другого виразу системи (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{f_i(n, m_1, m_2, j_1, \eta)\} \\ j_2 \in J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) \\ J2^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)\} \\ m_1 < m_2 \leq n \end{array} \right. , \quad (2)$$

де

- $\eta$  – розташування елемента  $y_{m_1, j_1}^n$  у кортежі  $y_{m_2, j_2}^n$ ;
- $J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)$  – множина індексів  $j_2$ , що визначає елементи  $y_{m_2, j_2}^n$  одної з підмножин  $Y_{m_2}^n$  булеана  $2^X$ , для яких виконується умова  $m_1 < m_2 \leq n$  та вираз (1) є істинним;
- $J2^n(y_{m_1, j_1}^n)$  – множина індексів  $j_2$ , що визначає елементи  $y_{m_2, j_2}^n$  всіх підмножин  $Y_{m_2}^n$  булеана  $2^X$ , для яких виконується умова  $m_1 < m_2 \leq n$  та вираз (1) є істинним.

Можливість виведення нових функціональних залежностей між елементами впорядкованої СОД впливає з властивостей та правил формування СОД. Функціональні залежності між  $m$ -арними кортежами виводяться на основі аналізу місця розташування елементів в СОД, що задається парою індексів  $(j, m)$ .

У роботі [9] були розглянуті математичні методи виведення набору функціональних залежностей  $\{f_i(n, m_1, m_2, j_1, \eta)\}$  та визначення істинності виразу (1), операндами якого є елементи булеана  $2^X$ , які представлені « $m$ -арними кортежами» на основі впорядкованої базової множини  $X$  довільної потужності  $n$  при заданих початкових умовах:  $m_1=1$ ;  $j_1=\{1,2\}$ .

У даній статті пропонуються до розгляду математичні методи вирішення поставленого завдання при заданих початкових умовах:  $m_1=1$ ;  $j_1=3$ .

**Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів.** Як приклад дослідження будемо використовувати булеан  $2^X$  символічної впорядкованої за алфавітом базової множини  $X=\{a, b, c, d, e, f, g, h\}$  потужності  $n=8$ , яка була описана в [9].

Множина індексів  $J2^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)\}$  елементів  $y_{m_2, j_2}^n$  впорядкованої множини кортежів  $Y_{m_2}^n$ , що задовольняють істинності виразу (1) для елемента булеана  $y_{m_1, j_1}^n = y_{1,3}^8$ , наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення множини  $J2_{m_2}^8(y_{1,3}^8)$

$m_2$	$\eta$	$J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{J2_{m_2, \eta}^n(y_{m_1, j_1}^n)\}$	$nj2_{m_2, \eta}(y_{m_1, j_1}^n)$	$nj2_{m_2}(y_{m_1, j_1}^n) = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1}$
2	2	$J2_{2,2}^8(y_{1,3}^8) = \{2,8\}$	$nj2_{2,2}(y_{1,3}^8) = 2$	$nj2_2(y_{1,3}^8) = \binom{7}{1} = 7$
	1	$J2_{2,1}^8(y_{1,3}^8) = 14 \div 18$	$nj2_{2,1}(y_{1,3}^8) = 5$	
3	3	$J2_{3,3}^8(y_{1,3}^8) = 1$	$nj2_{3,3}(y_{1,3}^8) = 1$	$nj2_3(y_{1,3}^8) = \binom{7}{2} = 21$
	2	$J2_{3,2}^8(y_{1,3}^8) = 7 \div 11, 22 \div 26$	$nj2_{3,2}(y_{1,3}^8) = 10$	
	1	$J2_{3,1}^8(y_{1,3}^8) = 37 \div 46$	$nj2_{3,1}(y_{1,3}^8) = 10$	
4	3	$J2_{4,3}^8(y_{1,3}^8) = 1 \div 5$	$nj2_{4,3}(y_{1,3}^8) = 5$	$nj2_4(y_{1,3}^8) = \binom{7}{3} = 35$
	2	$J2_{4,2}^8(y_{1,3}^8) = 16 \div 25, 36 \div 45$	$nj2_{4,2}(y_{1,3}^8) = 20$	
	1	$J2_{4,1}^8(y_{1,3}^8) = 56 \div 65$	$nj2_{4,1}(y_{1,3}^8) = 10$	
5	3	$J2_{5,3}^8(y_{1,3}^8) = 1 \div 10$	$nj2_{5,3}(y_{1,3}^8) = 10$	$nj2_5(y_{1,3}^8) = \binom{7}{4} = 35$
	2	$J2_{5,2}^8(y_{1,3}^8) = 21 \div 30, 36 \div 45$	$nj2_{5,2}(y_{1,3}^8) = 20$	
	1	$J2_{5,1}^8(y_{1,3}^8) = 51 \div 55$	$nj2_{5,1}(y_{1,3}^8) = 5$	
6	3	$J2_{6,3}^8(y_{1,3}^8) = 1 \div 10$	$nj2_{6,3}(y_{1,3}^8) = 10$	$nj2_6(y_{1,3}^8) = \binom{7}{5} = 21$
	2	$J2_{6,2}^8(y_{1,3}^8) = 16 \div 20, 22 \div 26$	$nj2_{6,2}(y_{1,3}^8) = 10$	
	1	$J2_{6,1}^8(y_{1,3}^8) = 28$	$nj2_{6,1}(y_{1,3}^8) = 1$	
7	3	$J2_{7,3}^8(y_{1,3}^8) = 1 \div 5$	$nj2_{7,3}(y_{1,3}^8) = 5$	$nj2_7(y_{1,3}^8) = \binom{7}{6} = 7$
	2	$J2_{7,2}^8(y_{1,3}^8) = 7,8$	$nj2_{7,2}(y_{1,3}^8) = 2$	
8	3	$J2_{8,3}^8(y_{1,3}^8) = 1$	$nj2_{8,3}(y_{1,3}^8) = 1$	$nj2_8(y_{1,3}^8) = \binom{7}{7} = 1$

де

- $\eta$  – розташування елемента  $y_{m_1, j_1}^n$  у кортежі  $y_{m_2, j_2}^n$ ;
- $nj2_{m_2}(y_{m_1, j_1}^n)$  – потужність підмножини  $J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)$  у складі множини  $J2^n(y_{m_1, j_1}^n)$ ;
- $nj2_{m_2, \eta}(y_{m_1, j_1}^n)$  – потужність підмножини  $J2_{m_2, \eta}^n(y_{m_1, j_1}^n)$  у складі множини  $J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)$ .

На рисунку 1 наведено граф булеана з потужністю базової множини  $n = 8$ . Замкнуті ламані  $S1, \dots, S4$  визначені на  $J2^n(y_{m_1, j_1}^n)$  (див. табл. 1). Вони окреслюють набори елементів булеана, що представлені кортежами довжини  $m_2 > m_1$  та задовольняють істинності виразу (1) для елемента булеана  $y_{m_1, j_1}^n = y_{1,3}^8$ .

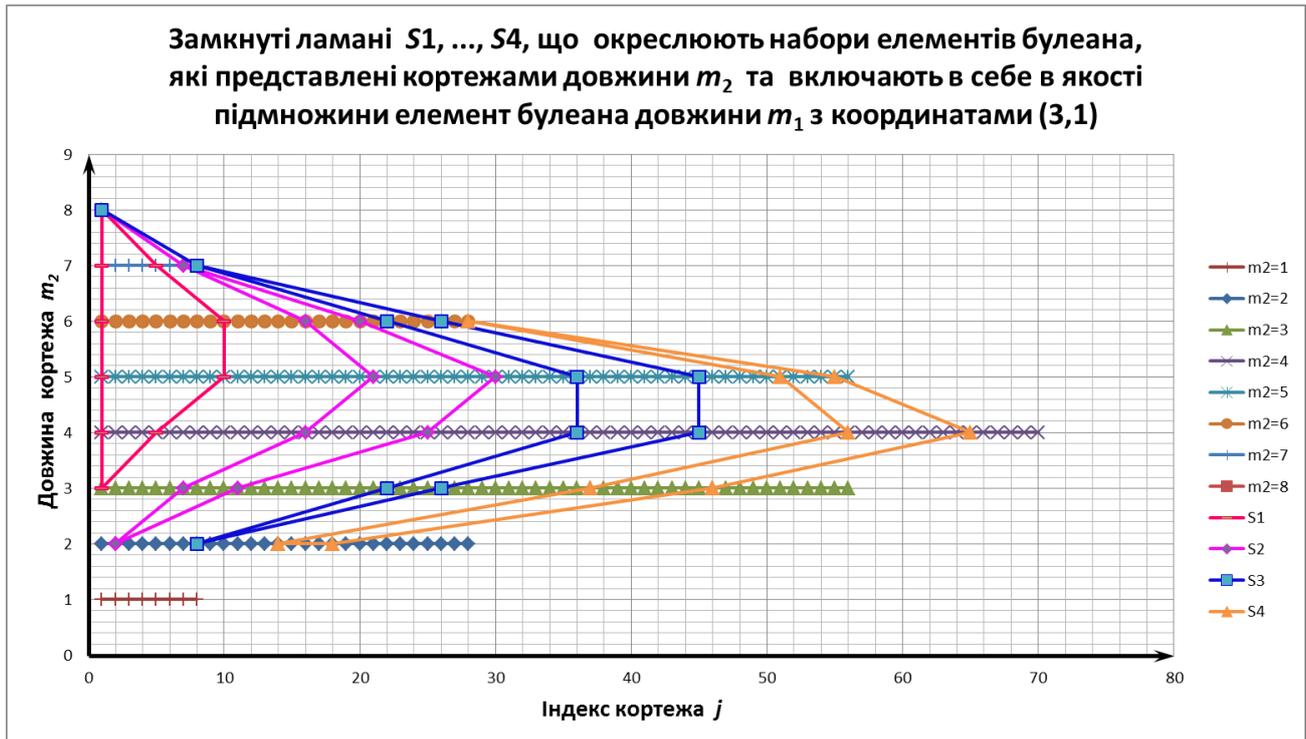


Рис. 1. Граф булеана з замкнутими ламанями для визначення множин  $J2_{m_2}^8(y_{1,3}^8)$

В якості наступного прикладу дослідження будемо використовувати булеан  $2^X$  символної впорядкованої за алфавітом базової множини  $X = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$  потужності  $n = 9$ .

Множина індексів  $J2^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)\}$  елементів  $y_{m_2, j_2}^n$  впорядкованої множини кортежів  $Y_{m_2}^n$ , що задовольняють істинності виразу (1) для елемента булеана  $y_{m_1, j_1}^n = y_{1,3}^9$ , наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Визначення множини  $J2_{m_2}^9(y_{1,3}^9)$

$m_2$	$\eta$	$J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) = \{J2_{m_2, \eta}^n(y_{m_1, j_1}^n)\}$	$nj2_{m_2, \eta}(y_{m_1, j_1}^n)$	$nj2_{m_2}(y_{m_1, j_1}^n) = \binom{n - m_1}{m_2 - m_1}$
2	2	$J2_{2,2}^9(y_{1,3}^9) = \{2,9\}$	$nj2_{2,2}(y_{1,3}^9) = 2$	$nj2_2(y_{1,3}^9) = \binom{8}{1} = 8$
	1	$J2_{2,1}^9(y_{1,3}^9) = 16 \div 21$	$nj2_{2,1}(y_{1,3}^9) = 6$	
3	3	$J2_{3,3}^9(y_{1,3}^9) = 1$	$nj2_{3,3}(y_{1,3}^9) = 1$	$nj2_3(y_{1,3}^9) = \binom{8}{2} = 28$
	2	$J2_{3,2}^9(y_{1,3}^9) = 8 \div 13, 29 \div 34$	$nj2_{3,2}(y_{1,3}^9) = 12$	
	1	$J2_{3,1}^9(y_{1,3}^9) = 50 \div 64$	$nj2_{3,1}(y_{1,3}^9) = 15$	
4	3	$J2_{4,3}^9(y_{1,3}^9) = 1 \div 6$	$nj2_{4,3}(y_{1,3}^9) = 6$	$nj2_4(y_{1,3}^9) = \binom{8}{3} = 56$

	2	$J2_{4,2}^9(y_{1,3}^9) = 22 \div 36, 57 \div 71$	$nj2_{4,2}(y_{1,3}^9) = 30$	
	1	$J2_{4,1}^9(y_{1,3}^9) = 92 \div 111$	$nj2_{4,1}(y_{1,3}^9) = 20$	
5	3	$J2_{5,3}^9(y_{1,3}^9) = 1 \div 15$	$nj2_{5,3}(y_{1,3}^9) = 15$	$nj2_5(y_{1,3}^9) = \binom{8}{4} = 70$
	2	$J2_{5,2}^9(y_{1,3}^9) = 36 \div 55, 71 \div 90$	$nj2_{5,2}(y_{1,3}^9) = 40$	
	1	$J2_{5,1}^9(y_{1,3}^9) = 106 \div 120$	$nj2_{5,1}(y_{1,3}^9) = 15$	
6	3	$J2_{6,3}^9(y_{1,3}^9) = 1 \div 20$	$nj2_{6,3}(y_{1,3}^9) = 20$	$nj2_6(y_{1,3}^9) = \binom{8}{5} = 56$
	2	$J2_{6,2}^9(y_{1,3}^9) = 36 \div 50, 57 \div 71$	$nj2_{6,2}(y_{1,3}^9) = 30$	
	1	$J2_{6,1}^9(y_{1,3}^9) = 78 \div 83$	$nj2_{6,1}(y_{1,3}^9) = 6$	
7	3	$J2_{7,3}^9(y_{1,3}^9) = 1 \div 15$	$nj2_{7,3}(y_{1,3}^9) = 15$	$nj2_7(y_{1,3}^9) = \binom{8}{6} = 28$
	2	$J2_{7,2}^9(y_{1,3}^9) = 22 \div 27, 29 \div 34$	$nj2_{7,2}(y_{1,3}^9) = 12$	
	1	$J2_{7,1}^9(y_{1,3}^8) = 36$	$nj2_{7,1}(y_{1,3}^9) = 1$	
8	3	$J2_{8,3}^9(y_{1,3}^9) = 1 \div 6$	$nj2_{8,3}(y_{1,3}^9) = 6$	$nj2_8(y_{1,3}^9) = \binom{8}{7} = 8$
	2	$J2_{8,2}^9(y_{1,3}^9) = \{8,9\}$	$nj2_{8,2}(y_{1,3}^9) = 2$	
9	3	$J2_{9,3}^9(y_{1,3}^9) = 1$	$nj2_{9,3}(y_{1,3}^9) = 1$	$nj2_9(y_{1,3}^9) = \binom{8}{8} = 1$

На основі аналізу таблиць 1 і 2 була сформована таблиця 3, що описує метод  $A_{10}$  визначення істинності виразу (1) для елемента  $y_{1,3}^n$  при довільному  $n$ . Для доказу істинності результату був застосований метод математичної індукції.

Таблиця 3. Метод  $A_{10}$  визначення множин  $J2_{m_2}^n(y_{1,3}^n) = f(n, m_2, \eta)$

$m_2$	$\eta$	$J2_{m_2, \eta}^n(y_{m_1, j_1}^n)$	$nj2_{m_2, \eta}(y_{m_1, j_1}^n)$	$nj2_{m_2}(y_{m_1, j_1}^n)$
2 ( $m_2 < j_1$ )	2	$J2_{2,2}^n(y_{1,3}^n) =$ $\{j2_{2,2,1}(y_{1,3}^n), j2_{2,2,last}(y_{1,3}^n)\};$ $(\eta \leq j_1)?$ $(j2_{2,2,1}(y_{1,3}^n) = nj2_{2,2}(y_{1,3}^n)) =$ $= j_1 - 1;$ $(nj2_{2,2}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $(j2_{2,2,last}(y_{1,3}^n) = n);$	$(\eta \leq j_1)?$ $(nj2_{2,2}(y_{1,3}^n) = j_1 - 1 =$ $= 2;$	$nj2_2(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n - m_1}{m_2 - m_1} =$ $= n - 1;$
	1	$J2_{2,1}^n(y_{1,3}^n) =$ $= \{j2_{2,1,1}(y_{1,3}^n), \dots, j2_{2,1,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{2,1,1}(y_{1,3}^n) = (j_1 - 1) * (n - 1);$ $(nj2_{2,1}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{2,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{2,1,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{2,1} - 1 =$ $= j2_{2,1,1}(y_{1,3}^n) + n - 4 =$ $= (j_1 - 1) * (n - 1) + n - 4;$	$nj2_{2,1}(y_{1,3}^n) =$ $= n - j_1 = n - 3;$	

$3$ $(m_2 == j_1)$	$3$	$(m_2 == \eta == j_1)?$ $(J2_{3,3}^n(y_{1,3}^n) =$ $j2_{3,3,1}(y_{1,3}^n) = 1);$	$(m_2 == \eta == j_1)?$ $nj2_{3,3}(y_{1,3}^n) = 1;$	$nj2_3(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-1}{2}$
	$2$	$J2_{3,2}^n(y_{1,3}^n) = \{J2_{3,2,g}^n(y_{1,3}^n)\} =$ $= \{J2_{3,2,1}^n(y_{1,3}^n), J2_{3,2,2}^n(y_{1,3}^n)\};$  $J2_{3,2,1}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{3,2,1,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{3,2,1,last}(y_{1,3}^n)\};$ $J2_{3,2,2}^n(y_{1,3}^n) =$ $\{j2_{3,2,2,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{3,2,2,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{3,2,1,1}(y_{1,3}^n) = n - 1;$ $(nj2_{3,2}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{3,2,1,last}(y_{1,3}^n) =$ $= j2_{3,2,1,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{3,2,1}(y_{1,3}^n) - 1 =$ $= j2_{3,2,1,1}(y_{1,3}^n) + n - 4 =$ $= 2 * n - 5;$ $j2_{3,2,2,1}(y_{1,3}^n) = nj2_3(y_{1,3}^n) + 1 =$ $= \binom{n-1}{2} + 1;$ $(nj2_{3,2,2}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{3,2,2,last}(y_{1,3}^n) =$ $= j2_{3,2,2,1}(y_{1,3}^n) + nj2_{3,2,2}(y_{1,3}^n)$ $- 1 = j2_{3,2,2,1}(y_{1,3}^n) + n - 4 =$ $= \binom{n-1}{2} + n - 3;$	$nj2_{3,2}(y_{1,3}^n) = 2^*$ $nj2_{2,1}(y_{1,3}^n);$ $nj2_{m_2, \eta, g}(y_{1,3}^n) =$ $= nj2_{3,2,1}(y_{1,3}^n) =$ $= nj2_{3,2,2}(y_{1,3}^n) =$ $= nj2_{2,1}(y_{1,3}^n) =$ $= n - j_1 = n - 3;$	
	$1$	$J2_{3,1}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{3,1,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{3,1,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{3,1,1}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n}{m_2} - \binom{n - j_1 + 1}{m_2} + 1;$ $(nj2_{3,1}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{3,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{3,1,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{3,1}(y_{1,3}^n) - 1 =$ $= \binom{n}{m_2} - \binom{n - j_1}{m_2};$	$nj2_{3,1}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n - j_1 + 1}{m_2} -$ $- \binom{n - j_1}{m_2};$	

...	...	...	...	...
$m_2=\mu,$ $(j_1 < m_2,$ $m_2 < n-1)$	3	$J2_{\mu,3}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{\mu,3,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{\mu,3,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{\mu,3,1}(y_{1,3}^n) = 1;$ $(nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{\mu,3,last}(y_{1,3}^n) =$ $nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1};$	$nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1};$	$nj2_{\mu}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-m_1}{\mu-m_1}$
	2	$J2_{\mu,2}^n(y_{1,3}^n) = \{J2_{\mu,2,g}^n(y_{1,3}^n)\} =$ $= \{J2_{\mu,2,1}^n(y_{1,3}^n), J2_{\mu,2,2}^n(y_{1,3}^n)\} =$ $= \{j2_{\mu,2,1,1}(y_{1,3}^n), \dots, j2_{\mu,2,1,last}(y_{1,3}^n),$ $j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n), \dots, j2_{\mu,2,2,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{\mu,2,1,1}(y_{1,3}^n) = nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) + 1;$ $(nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{\mu,2,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{\mu,2,1,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) - 1;$ $j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n) = nj2_{\mu}(y_{1,3}^n) + 1;$ $(nj2_{\mu,2,2}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{\mu,2,2,last}(y_{1,3}^n) = j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{\mu,2,2}(y_{1,3}^n) - 1;$	$nj2_{\mu,2,g}(y_{1,3}^n) =$ $nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) =$ $= nj2_{\mu,2,2}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1};$ $nj2_{\mu,2}(y_{1,3}^n) =$ $= 2 * nj2_{\mu,2,g}(y_{1,3}^n);$	
	1	$J2_{\mu,1}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{\mu,1,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n}{m_2} - \binom{n-j_1+1}{m_2} + 1;$ $(nj2_{\mu,1}(y_{1,3}^n) > 1)?$ $j2_{\mu,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n) +$ $+ nj2_{\mu,1}(y_{1,3}^n) - 1;$	$nj2_{\mu,1}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1};$	
...	...	...	...	...
$n-1$	3	$J2_{n-1,3}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{n-1,3,1}(y_{1,3}^n), \dots,$ $j2_{n-1,3,last}(y_{1,3}^n)\};$ $j2_{n-1,3,1}(y_{1,3}^n) = 1;$ $(nj2_{n-1,3}(y_{1,3}^n) > 1)?$	$nj2_{n-1,3}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{n-1-m_1-\eta+1} =$ $= n-j_1;$	$nj2_{n-1}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-m_1}{n-1-m_1} =$ $= n-1;$

		$j2_{n-1,3,last}(y_{1,3}^n) =$ $nj2_{n-1,3}(y_{1,3}^n) =$ $= \binom{n-j_1}{n-1-m_1-\eta+1} = n-j_1;$		
	2	$j2_{n-1,2,1}(y_{1,3}^n) = n-1;$ $j2_{n-1,2,last}(y_{1,3}^n) = n;$	$nj2_{n-1,2}(y_{1,3}^n) =$ $j_1-1=2;$	
$n$	3	$j2_{n,1,1}(y_{1,3}^n) = 1;$	$nj2_{n,3}(y_{1,3}^n) =$ $nj2_n(y_{1,3}^n) = 1;$	$nj2_n(y_{1,3}^n) = 1$

де

- $j2_{m_2,\eta,1}$  – мінімальний порядковий номер  $j_2$  елемента  $y_{m_2,j_2}^n$  у множині  $Y_{m_2}^n$ , для якого істинний вираз (1) у разі, коли елемент  $y_{m_1,j_1}^n$  розташований на  $\eta$ -ому місці у кортежі  $y_{m_2,j_2}^n$ ;
- $j2_{m_2,\eta,last}$  – максимальний порядковий номер  $j_2$  елемента  $y_{m_2,j_2}^n$  у множині  $Y_{m_2}^n$ , для якого істинний вираз (1) у разі, коли елемент  $y_{m_1,j_1}^n$  розташований на  $\eta$ -ому місці у кортежі  $y_{m_2,j_2}^n$ ;
- $j2_{m_2,\eta,g,1}$  – мінімальний порядковий номер  $j_2$  елемента  $y_{m_2,j_2}^n$  у множині  $Y_{m_2}^n$ , для якого істинний вираз (1) у разі, коли елемент  $y_{m_1,j_1}^n$  розташований в  $g$ -ої підгрупі на  $\eta$ -ому місці у кортежі  $y_{m_2,j_2}^n$ ;
- $j2_{m_2,\eta,g,last}$  – максимальний порядковий номер  $j_2$  елемента  $y_{m_2,j_2}^n$  у множині  $Y_{m_2}^n$ , для якого істинний вираз (1) у разі, коли елемент  $y_{m_1,j_1}^n$  розташований в  $g$ -ої підгрупі на  $\eta$ -ому місці у кортежі  $y_{m_2,j_2}^n$ .

Приклад. Для булеана  $2^X$ , сформованого на основі символічної впорядкованої за алфавітом базової множини  $X = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j\}$  потужності  $n = 10$  визначити істинність виразу  $y_{1,3}^{10} \subset y_{5,187}^{10}$ .

Дано:  $n=10, m_1=1, j_1=3, m_2=5, j_2=187$ .

Виконаємо перевірку коректності вхідних даних:

$$\begin{cases} m_1 < m_2 \leq n, \\ j_2 \leq \binom{n}{m_2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 1 < 5 \leq 10, \\ 187 \leq 252 \end{cases}$$

Вхідні дані коректні.

Варіант рішення 1. Визначимо елементи булеана:  $y_{1,3}^{10} = c$  та  $y_{5,187}^{10} = (b, e, f, i, j)$  із застосуванням методу  $A_1$  [8]. Виконаємо метод  $A_6$ :  $y_{m,j}^n = y_{m_1,j_1}^n \cap y_{m_2,j_2}^n$ , описаний в [10].

В результаті маємо:

$$y_{1,3}^{10n} \cap y_{5,187}^{10} = \emptyset \Rightarrow y_{1,3}^{10} \not\subset y_{5,187}^{10}$$

Варіант рішення 2. З таблиці 3 вибираємо єдиний рядок, для якого умова стає істинною при підстановці вхідних даних. В нашому випадку, істинною стає умова  $j_1 < m_2 < n-1$ .

Дійсно, при підстановці вхідних даних маємо:  $3 < 5 < 9$ .

$$nj2_{\mu}(y_{1,3}^n) = nj2_5(y_{1,3}^{10}) = \binom{n-m_1}{\mu-m_1} = \binom{10-1}{5-1} = \binom{9}{4} = 126 \quad (3)$$

$$nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) = nj2_{5,3}(y_{1,3}^{10}) = \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1} = \binom{10-3}{5-1-3+1} = \binom{7}{2} = 21 \quad (4)$$

$$nj2_{\mu,2,g}(y_{1,3}^n) = nj2_{5,2,g}(y_{1,3}^{10}) = \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1} = \binom{10-3}{5-1-2+1} = \binom{7}{3} = 35 \quad (5)$$

$$nj2_{\mu,2}(y_{1,3}^n) = nj2_{5,2}(y_{1,3}^{10}) = 2 * nj2_{5,2,g}(y_{1,3}^{10}) = 2 * 35 = 70 \quad (6)$$

$$nj2_{\mu,1}(y_{1,3}^n) = nj2_{5,1}(y_{1,3}^{10}) = \binom{n-j_1}{\mu-m_1-\eta+1} = \binom{10-3}{5-1-1+1} = \binom{7}{4} = 35 \quad (7)$$

$$j2_{\mu,3,1}(y_{1,3}^n) = j2_{5,3,1}(y_{1,3}^{10}) = 1 \quad (8)$$

$$j2_{\mu,3,last}(y_{1,3}^n) = j2_{5,3,last}(y_{1,3}^{10}) = nj2_{5,3}(y_{1,3}^{10}) = 21 \quad (9)$$

$$j2_{\mu,2,1,1}(y_{1,3}^n) = j2_{5,2,1,1}(y_{1,3}^{10}) = nj2_{\mu,3}(y_{1,3}^n) + nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) + 1 = 21 + 35 + 1 = 57 \quad (10)$$

$$j2_{\mu,2,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{5,2,1,last}(y_{1,3}^{10}) = j2_{\mu,2,1,1}(y_{1,3}^n) + nj2_{\mu,2,1}(y_{1,3}^n) - 1 = 57 + 35 - 1 = 91 \quad (11)$$

$$j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n) = j2_{5,2,2,1}(y_{1,3}^{10}) = nj2_{\mu}(y_{1,3}^n) + 1 = 126 + 1 = 127 \quad (12)$$

$$j2_{\mu,2,2,last}(y_{1,3}^n) = j2_{5,2,2,last}(y_{1,3}^{10}) = j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n) + nj2_{\mu,2,2}(y_{1,3}^n) - 1 = 127 + 35 - 1 = 161 \quad (13)$$

$$j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n) = j2_{5,1,1}(y_{1,3}^{10}) = \binom{n}{m_2} - \binom{n-j_1+1}{m_2} + 1 = \binom{10}{5} - \binom{10-3+1}{5} + 1 = 252 - 56 + 1 = 197 \quad (14)$$

$$j2_{\mu,1,last}(y_{1,3}^n) = j2_{5,1,last}(y_{1,3}^{10}) = j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n) + nj2_{\mu,1}(y_{1,3}^n) - 1 = 197 + 35 - 1 = 231 \quad (15)$$

$$J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) = J2_5^{10}(y_{1,3}^{10}) = \{1, \dots, 21, 57, \dots, 91, 127, \dots, 161, 197, \dots, 231\} \quad (16)$$

$$j_2 \notin J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n) \quad (17)$$

Відповідь:  $y_{1,3}^{10} \notin y_{5,187}^{10}$ .

При вирішенні даного прикладу множина  $J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)$  була визначена повністю. При цьому було виконано максимальну кількість обчислень, в результаті чого було розраховано 13 параметрів. Однак, для отримання відповіді немає необхідності повністю визначати множину  $J2_{m_2}^n(y_{m_1, j_1}^n)$ . У даному прикладі досить було розрахувати 5 параметрів:  $nj2_{\mu}(y_{1,3}^n)$ ,  $nj2_{\mu,2,g}(y_{1,3}^n)$ ,  $j2_{\mu,2,2,1}(y_{1,3}^n)$ ,  $j2_{\mu,2,2,last}(y_{1,3}^n)$ ,  $j2_{\mu,1,1}(y_{1,3}^n)$ . При цьому час виконання алгоритму зменшується у 2.6 рази. Оптимізація алгоритму обчислень полягає в тому, щоб правильно обрати необхідні для розрахунку параметри в залежності від початкових умов.

Як бачимо з таблиці 3, для елемента  $y_{1,3}^n$  в загальному випадку маємо  $r=4$  групи параметрів визначення індексу  $j_2$ :

$$J2_{m_2}^n(y_{1,3}^n) = \{j2_{m_2,3,1}, \dots, j2_{m_2,3,last}, j2_{m_2,2,1,1}, \dots, j2_{m_2,2,1,last}, j2_{m_2,2,2,1}, \dots, j2_{m_2,2,2,last}, j2_{m_2,1,1}, \dots, j2_{m_2,1,last}\};$$

Індекс  $j_2 \max$  останнього елемента множини  $Y_{m_2}^n$  розраховується наступним чином:

$$j_2 \max = \binom{n}{m_2}$$

Таким чином, послідовність індексів  $j_2 \in [1; j_2 \max]$  множини  $Y_{m_2}^n$  можна також розбити на  $r$  інтервалів  $h = j_2 \max / r$ :

$$\{1, \dots, h, \quad h+1, \dots, 2*h, \quad \dots, \quad (i-1)*h+1, \dots, i*h, \quad \dots, \quad (r-1)*h+1, \dots, r*h \}$$

Обчислюючи номер  $i$  інтервалу входження індексу  $j_2$  згідно з умовою  $(i-1)*h+1 \leq j_2 \leq i*h$ , вибираємо групу початкових параметрів для розрахунку.

Визначимо початкові параметри розрахунку для нашого прикладу:

$$j_2 \max = \binom{n}{m_2} = \binom{10}{5} = 252$$

$$h = j_2 \max / r = 252 / 4 = 63$$

Послідовність індексів  $j_2$  з розбиттям на  $r=4$  групи має вигляд:

$$\{1, \dots, 63, \quad 64, \dots, 126, \quad 127, \dots, 189, \quad 190, \dots, 252\}$$

Для  $j_2 = 187$  обчислюємо номер інтервалу входження індексу  $i=3$  ( $127 \leq 187 \leq 189$ ). Таким чином, для нашого прикладу вибираємо  $i=3$  групу початкових параметрів для розрахунку:

$$j_{2, m_2, 2, 2, 1}^n, \quad j_{2, m_2, 2, 2, last}^n$$

В результаті аналізу таблиці 3 були визначені деякі додаткові до [10] властивості СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП».

**Властивість 7.** Якщо елемент  $y_{m_1, j_1}^n$  задовольняє умовам

$$(m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n) \& (m_2 \geq j_1),$$

то вираз (1) завжди буде істинним для перших ( $j_2=1$ ) елементів множин  $Y_{m_2}^n$ :

$$((m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n) \& (m_2 \geq j_1)) ? j_2 = 1.$$

**Властивість 8.** Якщо виконується умова

$$(m_2 == 2) \& (m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n),$$

то вираз (1) завжди буде істинним для елементів множин  $Y_{m_2}^n$  з індексом  $j_2 = j_1 - 1$ :

$$((m_2 == 2) \& (m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n)) ? j_2 = j_1 - 1.$$

**Властивість 9.** Якщо виконується умова

$$(m_2 == n - 1) \& (m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n),$$

то вираз (1) завжди буде помилковим тільки для єдиного елемента множини  $Y_{n-1}^n$  з індексом  $j_2 = n - j_1 + 1$ :

$$((m_2 == n - 1) \& (m_1 == 1) \& (1 < j_1 < n)) ? j_2 \neq n - j_1 + 1.$$

Для оцінки продуктивності методів роботи з СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» будемо використовувати асимптотичну оцінку  $O(f(n))$  швидкості зростання кількості операцій  $f(n)$  при збільшенні  $n$ .

В [8, 10] були розраховані оцінки часу виконання методів  $A_1$  та  $A_6$ . У результаті був зроблений висновок, що методи  $A_1$  та  $A_6$  є алгоритмами кубічного часу виконання:

$$O_6(f_6(n)) = O_6(n^3)$$

За аналогією з [9], розглянутий в даній статті метод  $A_{10}$  є алгоритмом лінійного часу виконання:

$$O_{10}(f_{10}(n)) = O_{10}(n)$$

Враховуючи, що сучасні процесори працюють з тактовою частотою 3 ГГц і що в середньому МАС операція (МАС — Multiplier/Accumulator операція множення з накопиченням типу) виконується за 4 такти, приймаємо в якості розрахункового часу виконання однієї операції для розглянутих методів:

$$\tau = 4/(3 \cdot 10^9 \text{ Гц}) = 1,33 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 1,33 \text{ нс}$$

Складемо таблицю 4 зміни (з зростанням  $n$ ) кількості операцій та оцінок часу їх виконання для методів лінійного та кубічного часу виконання.

Таблиця 4. Кількість операцій і оцінка часу виконання методів

$n$	$n^3$	$O(n), \text{с}$	$O(n^3), \text{с}$
10	$1,0 \cdot 10^3$	$1,33 \cdot 10^{-8}$	$1,33 \cdot 10^{-8}$
50	$1,25 \cdot 10^3$	$6,65 \cdot 10^{-8}$	$1,6625 \cdot 10^{-6}$
100	$1,0 \cdot 10^6$	$1,33 \cdot 10^{-7}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$
500	$1,25 \cdot 10^8$	$6,65 \cdot 10^{-7}$	$1,6625 \cdot 10^{-1}$
1 000	$1,0 \cdot 10^9$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	1,33
5 000	$1,25 \cdot 10^{11}$	$6,65 \cdot 10^{-6}$	$1,6625 \cdot 10^2 \approx 2,77 \text{ с}$
10 000	$1,0 \cdot 10^{12}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^3 \approx 22 \text{ мин}$

Описаний в статті метод  $A_{10}$  роботи із СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» у порівнянні з методами  $A_2$  та  $A_6$  змінює функціональну залежність оцінки часу виконання методу від кількості вхідних даних  $n$  з кубічної  $O(n^3)$  на лінійну  $O(n)$ , що дозволяє значно (на кілька порядків) зменшити час обробки даних. Різниця в оцінці часу виконання методів особливо помітна при  $n \geq 1000$  (див. табл. 4).

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** На даному етапі досліджень були визначені деякі властивості і виведені деякі функціональні залежності для СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» для приватного випадку при заданих початкових умовах:  $m_1=1$  &  $j_1 \in [1; 3]$ . У перспективі передбачається продовжити дослідження в цьому напрямку з визначенням нових властивостей і виведенням нових функціональних залежностей між  $m$ -арніми кортежами при будь-яких можливих початкових умовах:  $m_1 \in [1; n-1]$  &  $j_1 \in [1; n]$ .

СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» – це булеан, упорядкований (в нашому випадку) за правобічним перебором елементів базової множини  $X$  потужності  $n$  від нижньої межі можливої зміни значення індексу для кожного елемента кортежу до верхньої межі. Розглянуті в статті властивості та метод роботи з СОД типу « $m$ -арні кортежі на основі ВМДП» виникають із правил формування впорядкованих за зростанням значень елементів СОД.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у виведенні набору функціональних залежностей між  $m$ -арніми кортежами на основі їх розташування у структурі, яка визначається парою індексів  $(j, m)$ . Це дозволяє отримувати результати деяких операцій над елементами СОД на основі цих функціональних залежностей, а не в результаті виконання громіздких обчислювальних алгоритмів. Використання описаного у статті методу змінює функціональну залежність оцінки часу отримання результатів з кубічної на  $O(n^3)$  на лінійну  $O(n)$ .

Практичне значення одержаних в роботі результатів обумовлюється тим, що даний підхід дозволяє мінімізувати тимчасові і обчислювальні ресурси, задіяні при обробці «великих даних», до масштабу реального часу.

#### Список бібліографічних посилань

- Min Chen. Big Data. Related Technologies, Challenges, and Future Prospects / Min Chen, Shiwen Mao, Yin Zhang, Victor C.M. Leung. Springer. – 2014. – 100 p.
- Петрова С.Ю. Проблема навигации в больших данных / С.Ю. Петрова. Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. III междунар. науч.-практ. конф. – № 3(3). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 5-8.
- Соловьев С. Ю. Математические методы и принципы построения автоматизированных систем инженерии знаний: дисс. доктора техн. наук: 05.13.16 / Соловьев Сергей Юрьевич. – Тверь, 1996. – 272 с.

- Тоценко В. Г. Экспертная система диагностирования по неструктурированным признакам / В. Г. Тоценко, Е. А. Петрова, А. А. Чернявская. Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2005. – т. 7. – № 2. – С. 94-103.
- MacGregor J. Monitoring, Fault Diagnosis, Fault-Tolerant Control and Optimization / J. MacGregor, A. Cinar // Data Driven Methods. Computers & Chemical Engineering. – 2012. – Vol. 47. – P. 111-120.
- Колчин А. В. Обзор современных систем и методов верификации формальных моделей / А.В. Колчин, А.А. Летичевский, С.В. Потенко, В.С. Песчаненко. Проблеми програмування. – 2012. – № 4. – С. 75-88.
- Яцкив И. В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения / И. В. Яцкив. Материалы конференции. ИММОД. – 2003. – С. 211-217.
- Syrotkina O. The Application of Specialized Data Structures for SCADA Diagnostics / O. Syrotkina. System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. – 2015. – Vol. 4. – P. 72–81.
- Syrotkina O. Graphical and Analytical Methods for Processing «Big Data» Based on the Analysis of Their Properties / O. Syrotkina, M. Alekseyev, I. Udovik . System technologies. Regional interuniversity collection of scientific papers. – 2019. – Vol. 4. – P. 78–90.
- Syrotkina, O., Alekseyev, M., Asotskyi, V., Udovik I. Analysis of How the Properties of Structured Data Can Influence the Way These Data are Processed / O. Syrotkina, M. Alekseyev, V. Asotskyi, I. Udovik. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2019. – 3(171). – P. 119–128.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-24

УДК 681.3.093:044.3

Яременко В. С., Будьонний Д. Ю., Будьонний Д. Ю.,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПІДХІД ДО ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРА БЛУМА ДЛЯ БАГАТОКЛАСОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

**Яременко В. С., Будьонний Д. Ю. Підхід до використання фільтра блума для багатокласової класифікації текстових даних в режимі реального часу.** У даній роботі розглянуто фільтр Блума, який вирішує задачу фільтрації потоків, та було запропоновано новий підхід використання цього фільтра для класифікації текстових даних. В якості вхідних даних було обрано текстові дані, які надходять у реальному часі. Розглянуто модель з точки зору точності класифікації, швидкості навчання моделі, кількості використаної пам'яті та швидкістю видачі результату класифікації. Представлено метод донавчання моделі та критерій відбору слів для покращення навчання моделі. Показано процес навчання моделі для багатокласової класифікації. Виявлені проблеми даного підходу та запропоновані проблеми їх вирішення.

**Ключові слова:** аналіз поточкових даних, фільтр Блума, аналіз текстових даних, класифікація текстів.

**Яременко В. С., Будённий Д. Ю. Подход к использованию фильтра блума для многоклассовой классификации текстовых данных в режиме реального времени.** В данной работе рассмотрен фильтр Блума, который решает задачу фильтрации потоков, и был предложен новый подход использования этого фильтра для классификации текстовых данных. В качестве входных данных были выбраны текстовые данные, которые поступают в режиме реального времени. Рассмотрена модель с точки зрения точности классификации, скорости обучения, количества использованной памяти и скоростью выдачи результата классификации. Представлен метод обучению модели и критерий отбора слов для улучшения процесса обучения модели. Показан процесс обучения модели для багатокласової класифікації. Виявлені проблеми даного підходу і пропозовані способи їх рішення.

**Ключевые слова:** анализ поточковых данных, фильтр Блума, анализ текстовых данных, классификация текстов.

### **Yaremenko V. S., Budonnyi D. Y. Approach of the bloom filter application for real time text data multi-class classification**

This paper examines the Bloom filter that solves the problem of streaming data filtration. A new approach was proposed to use this filter for texts classification. Existing articles in this area and the current problems of the classification of text data are studied. The theoretical part is presented, as well as the practical example of constructing a Bloom filter. The process of model training is shown by constructing the Bloom filter for multiclass classification. The opportunity to increase the number of classes for classification with possible limitations and problems is presented. The model training method and the word selection criterion for improving the model learning process are presented, as well as the process of retraining the existing model during its work using these criteria. The stages of text preprocessing for increasing the accuracy of the model were presented. As the input a real-time text data, which come from multiple resources, was selected. A solution for processing incoming data to avoid the problem of losing some of the data during the working of the system is presented. The model is considered in terms of classification accuracy, learning speed, amount of memory used and speed of classification. The influence of the components of the Bloom filter on the final result of this model, as well as the probability of the false-positive results for various system parameters, are examined. The conclusions of the work of the presented approach are drawn. The problems of this approach are revealed and the ways of their solution or improvement are suggested. Prospects for further research for the development of this model are presented.

**Keywords:** streaming analytics, Bloom filter, text data analysis, texts classification

**Постановка проблеми.** Задача класифікації текстових даних є однією з багатьох задач науки про аналіз великих масивів даних. За останні роки було розроблено велику кількість методів для вирішення цієї задачі. Ще однією актуальною задачею є обробка даних у реальному часі, коли важливу роль відіграє швидкість обробки даних для видачі результатів та кількість використаної пам'яті тому, що дані, які не будуть одразу оброблені, будуть втрачені назавжди [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статті «Role of Bloom Filter in Big Data Research: A Survey» описано застосування фільтра Блума у системі зберігання великих даних. Було виявлено, що флеш-пам'ять є найбільш перспективною дослідницькою сферою для інтеграції фільтра Блума для створення системи зберігання великих даних. Було продемонстровано, що масштабованість фільтра Блума є проблемою, яку можна вирішити, застосовуючи фільтр Блума у флеш-пам'яті. Запис у флеш-пам'ять відбувається швидше, ніж запис на диск. Однак, при незначних записах у флеш-пам'ять, потрібно видаляти цілі сторінки даних та записувати їх знову. Відповідно, запис у флеш-пам'ять відбувається повільніше, ніж в оперативну пам'ять. Оскільки, розмір оперативної пам'яті обмежений, а

дуплікація даних вимагає додакового простору, тому доцільно використати фільтр Блума у флеш-пам'яті. Тим не менш, існує компроміс між продуктивністю та необхідною пам'яттю [1].

Було виявлено, що в більшості систем, які зберігають, великі дані, розміщений фільтр Блума, щоб уникнути випадкового доступу до диска, що значно підвищить продуктивність системи. Тому використання фільтру Блума пришвидшує обробку даних, що надходять у реальному часі [1].

У статті «Optimizing Bloom Filter: Challenges, Solutions, and Comparisons» розглянуто існуючі варіанти фільтра Блума з двох сторін: продуктивності та загальних правил. Було розглянуто більше десяти варіантів для підвищення продуктивності, зменшення помилкових позитивних результатів та витрат на впровадження. Крім того, досліджено більше десяти варіантів узагальнення фільтра Блума у більшості сценаріїв, диверсифікуючи вхідні набори та поліпшуючи вихідні функції. Зокрема для зменшення помилкових позитивних результатів, вибору оптимальних хеш-функцій, обнулення бітів у векторах або представлення елементів диференційовано. Для подальшого спрощення процесу впровадження фільтра Блума було запропоновано близько десяти варіантів для оптимізації його витрат на обчислення, доступу до пам'яті та ефективності використання простору. Крім представлення загальних множин, розглядалися варіанти для представлення мультисетів, динамічних наборів, зважених множин, ключових значень, наборів послідовностей та просторових множин [4].

У статті «Robust Bloom Filters for Large Multilabel Classification Tasks» було представлено новий метод – Надійний Фільтр Блума (Robust Bloom Filters або R-BF). Він покращується випадковими хеш-функціями, спираючись на структурну особливість наборів міток у наборах даних MLC: багато міток ніколи не спостерігаються в одному цільовому наборі або спільно виникають з ймовірністю, достатньо малою, щоб нею нехтувати. Спочатку формалізується структурна функція - це поняття взаємовиключних кластерів міток, потім описується хеш-функції та надійний алгоритм декодування [2].

**Мета статті.** Основною метою є створення моделі з використанням фільтра Блума для інтелектуальної обробки потокових текстових даних, а саме – для вирішення задачі багатокласової класифікації текстів, які надходять у реальному часі. Оцінка моделі відбувається за точністю класифікації, швидкістю навчання моделі, кількістю використаної пам'яті та швидкістю видачі результату класифікації.

**Теоритичні відомості.** Складові частини Фільтра Блума:

1. Масив  $n$  біт, спочатку рівних 0.

2. Набір хеш-функцій  $h_1, h_2, \dots, h_k$ , кожна з яких відображає значення «ключа» в  $n$  комірок, відповідно до  $n$  бітів масиву.

3. Множина  $S$ , що містить  $m$  ключів.

Призначення фільтру Блума – пропускати всі елементи потоку, ключі яких належать  $S$ , і відкидати більшість елементів з ключами, що не належать  $S$  [3].

Спочатку створюємо бітовий масив, обнуливши всі біти. Застосуємо до кожного ключу в  $S$  кожену з  $k$  хеш-функцій. Встановимо в 1 біти, номери яких збігаються з  $h_i(K)$  для деякої хеш-функції  $h_i$  і деякого ключа  $K$  з  $S$  [3].

При обробці ключа  $K$ , що надійшов з потоку, перевіряємо, що значення всіх бітів з номерами

$$h_1(K), h_2(K), \dots, h_k(K)$$

рівні 1. Якщо це так, то пропускаємо елемент. Якщо хоча б один біт дорівнює 0, то ключ  $K$  не може належати  $S$ , тому відкидаємо елемент [3].

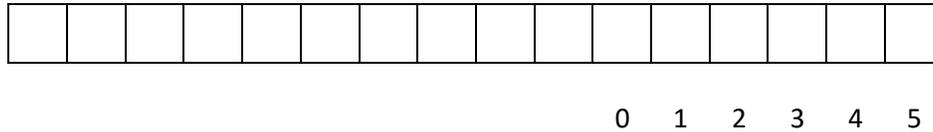
Додавання елемента в фільтр відбувається наступним чином - для значення вираховується кілька різних хешів, після чого виставляються відповідні біти в бітовому полі. Перевірка на входження здійснюється схожим чином - спочатку вираховуються хеші для значення, після чого перевіряється, чи виставлені відповідні біти. Так як різні значення можуть мати однакові хеш-коди, то можливі хибнопозитивні спрацьовування. Але якщо хеш-коди різні, то однозначно, значення теж різні, тому помилково-негативних спрацьовувань буде менше зі збільшення кількості хеш-функцій.

В загальному випадку ймовірність отримання хибнопозитивного результату можна обчислити за формулою:

$$(1 - e^{-km/n})^k [3]$$

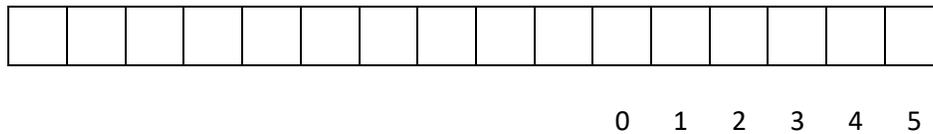
З формули видно, що для зменшення ймовірності отримання хибнопозитивного результату потрібно збільшити кількість хеш-функцій  $k$  або кількість бітів масиву  $n$ .

Нижче описаний фільтр, який складається з 16 біт і працює з двома хеш-функціями.



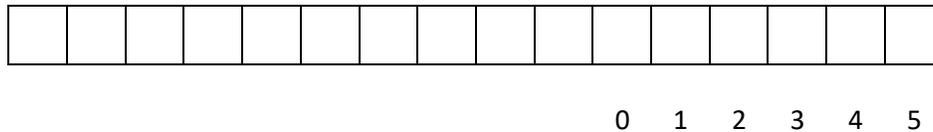
**Рис. 1. Пусте бітове поле довжиною 16 біт**

Додається слово "Football", перша функція дає хеш код, рівний 25425, а друга 894346520. Так як за умовою доступно всього 16 біт, тому знаходиться значення по модулю 16. Перший хеш рівний 1, а другий - 8. На відповідних позиціях виставляється значення «1».



**Рис. 2. Масив бітів після додавання елемента, для якого хеш-функції повернули 1 і 8**

У випадку, якщо на вхід (на етапі навчання) системи подається слово слово "Сinema", перший хеш дорівнює 8, а другий - 7, виставляються відповідні біти.



**Рис. 3. Масив бітів після додавання елемента, для якого хеш-функції повернули 7 і 8**

З рис. 3 видно, що перетнулися біти під номером 8 двох рядків, тому видалити одне зі слів з фільтра не вийде. Для видалення одного значення доведеться перераховувати хеші всіх інших значень до тих пір, поки хоча б одне зі значень не дасть ті ж біти, або поки не перерахуємо всі значення.

Потім перевіряється, чи проходить слово "Nation" даний фільтр. Вираховується для цього слова хеш-значення, для прикладу визначемо, що вони рівні 3 і 7 відповідно. Біт 3 не виставлений (дорівнює нулю), тому однозначно, цей рядок не входить в фільтр. Візьмемо інше слово "Sky", його хеші мають значення 1 і 8, хоча даного значення в фільтрі немає, фільтр пропустить дане слово, що і дає нам хибнопозитивне значення.

**Представлення моделі.** Нашою задачею є класифікація текстів у реальному часі. Для прикладу будемо виконувати класифікацію на 2 класи з подальшим розширенням. Також буде показано спосіб донавчання моделі в режимі реального часу.

Першим етапом є навчання. Для цього візьмемо по 1 тексту за еталон до кожного класу на якому буде проведено перше навчання моделі. Навчання буде відбуватися у 2 етапи:

1. Попередня обробка тексту
2. Побудова фільтра Блума

Попередня обробка текстів складається з наступних етапів:

1. Переведення всіх слів в нижній реєстр

2. Видалення чисел
3. Видалення знаків пунктуації
4. Видалення символів розділення слів
5. Видалення стоп-слів та слів, які не мають змістового навантаження
6. Токенізація
7. Стіммінг
8. Лематизація

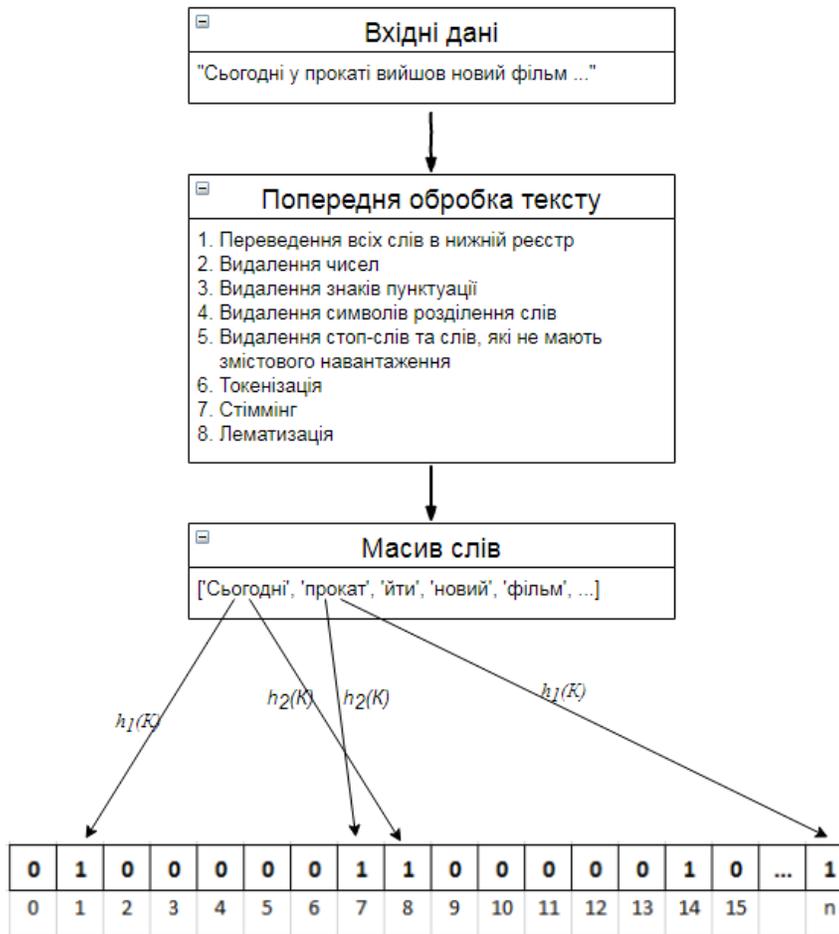


Рис.4. Навчання моделі

Після проведення попередньої обробки ми отримуємо масив слів без зайвих символів та у простій формі. Наступним етапом є створення фільтру Блума використавши декілька хеш-функцій. Після виставлення бітів в 1 для кожного слова з масиву для кожної хеш-функції, навчання моделі можна вважати завершеним.

Варто не використовувати надмірну кількість хеш-функцій тому, що із збільшенням кількості хеш-функцій збільшується кількість одиниць, які будуть виставлені в масиві бітів, а це збільшує кількість хибнопозитивних результатів. Якщо всі біти будуть рівні одиниці, то дана модель не буде працювати, бо кожне слово буде давати позитивний результат.

Далі необхідно виконати навчання моделі, в даному випадку, для двох класів. Можна створити необхідну кількість класів використавши допустиму кількість пам'яті. Але варто пам'ятати й про хибнопозитивні значення.

Так, наприклад, якщо доступно 100 Мб оперативної пам'яті і необхідно створити 4 класи при розмірі обробленого масиву в 10 000 слів. Тобто дані будуть міститись у 800 000 бітів, які будуть

розділені на 4 класи по 200 000 біт у кожному. Використавши 3 хеш-функції ми отримаємо наступне значення у відсотках хибнопозитивного результату для кожного зі слів:

$$(1 - e^{-km/n})^k = (1 - e^{-3 * 10\,000 / 200\,000})^3 = (1 - 0.861)^3 = 0.003, \text{ тобто } 0.3\%$$

Але якщо при тих самих умовах потрібно розбити на 40 класів, то вийде 20 000 бітів на кожен клас і ми отримаємо наступні результати:

$$(1 - e^{-km/n})^k = (1 - e^{-3 * 10\,000 / 20\,000})^3 = (1 - 0.223)^3 = 0.469, \text{ тобто } 46.9\%$$

Як видно з прикладів всі параметри фільтра Блума тісно пов'язані і необхідно доцільно розраховувати можливості системи.

Після навчання обох класів ми отримаємо два фільтра Блума для кожного класу. Наступною задачею є логіка приналежності вхідного тексту до відповідного класу.

Одним методів для класифікації тексту до одного з класів є підрахунок відсотка слів з вхідного тексту, у яких значення всіх хеш-функцій дорівнює «1». Даний вираз, позначимо його  $P$ , можна представити у наступному вигляді:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m h_1(S[i])h_2(S[i]) \dots h_k(S[i])}{m}$$

де  $S$  – масив слів,  $m$  – кількість слів,  $h$  – хеш-функція.

Робота моделі складається з наступних етапів:

1. Попередня обробка вхідного тексту
2. Розрахунок  $P$  для кожного з класів
3. Порівняння  $P$  кожного з класів
4. Видача результату

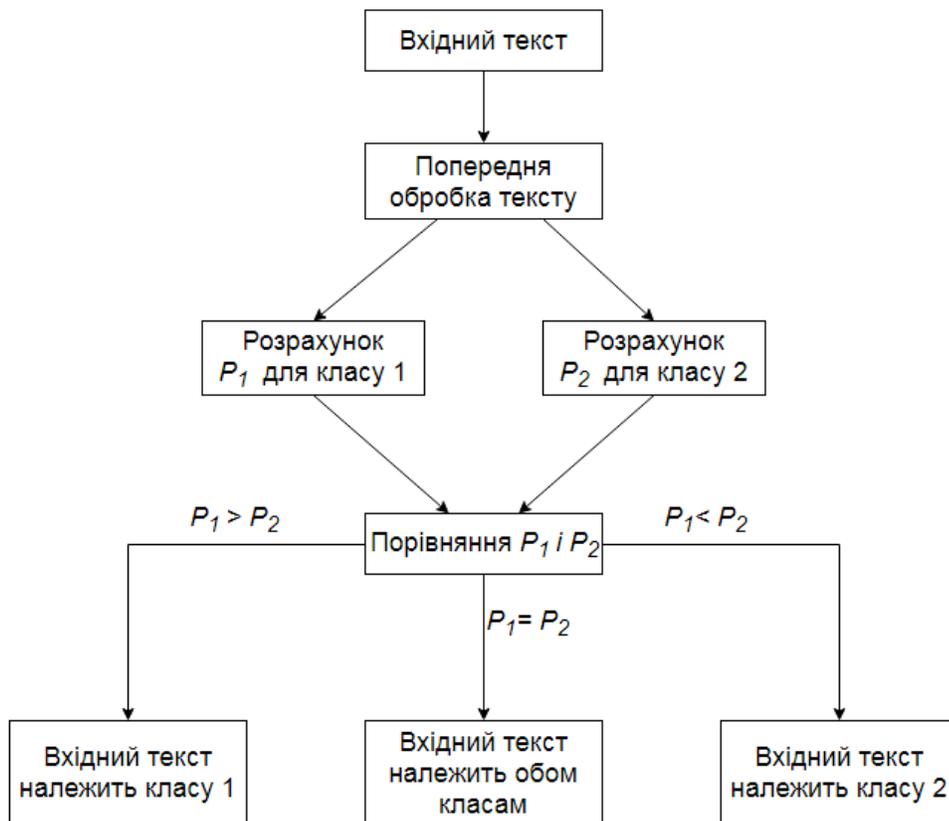


Рис.5. Робота моделі

Попередня обробка вхідного тексту відбувається таким самим чином, як і при навчанні моделі. Розрахунок  $P$  для кожного з класів може відбуватися паралельно, що значно прискорить роботу класифікатора. На виході ми отримаємо результат приналежності даного тексту до одного з класів або при рівності  $P$  рівну приналежність до обох класів. Схема роботи моделі представлена на рисунку 5.

Представлену модель також можна довчати, і у даній статті запропоновано наступний підхід. Визначаємо такий  $P$ , що вхідні масиви слів вхідних даних буде використовуватися для подальшого навчання моделі. Припустимо, що при  $P > 0.5$ , тобто більше 50% слів входять до одного з класів, то даним масивом слів можна довчити модель класу до якого належав вхідний текст. Одією з проблем даного підходу є перенавчання моделі, коли майже всі біти рівні 1 і ймовірність хибнопозитивного результату є достить великою.

Одним з методів покращення навчання та донавчання моделі для більш точної класифікації є створення критерію відбору слів після етапу попередньої обробки тексту. Пропонується створити мішок слів (bag of words) та обрахувати ваги кожно з них. Наприклад, можна відібрати лише слова з вагою більше 1% – це дасть точніші результати при класифікації текстів на даному наборі.

Завершальним етапом у побудові системи є обробка даних у реальному часі. Для вирішення цієї задачі доцільно використати чергу повідомлень, до якої вхідні дані будуть поступати з різних ресурсів та записуватись у чергу. А сервіс для класифікації буде звертатися до черги повідомлень та брати всі не прочитані текстові дані та класифікувати їх. З усією схемою роботи системи можна ознайомитись на рис. 6.

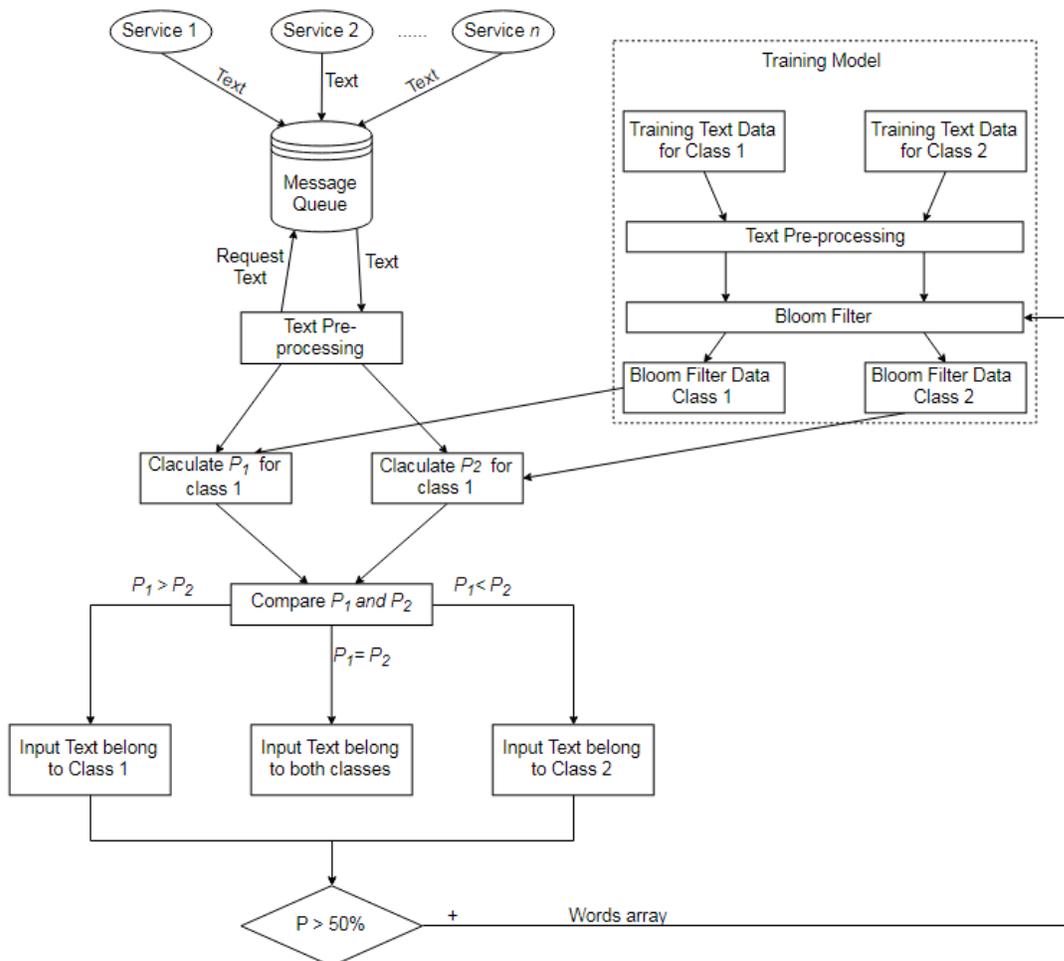


Рис.6. Робота моделі

В першу чергу навчається модель для кожного з класів на наборі текстових даних. На виході буде масив бітів фільтра Блума, які будуть використовуватися системою для підрахунку кількості слів, які проходять даний фільтр. Донавчання моделі буде відбуватися лише у випадку, коли вхідний текст належить до одного з класів та задовільняє критерій належності класу та не буде відбуватися, коли вхідний текст однаково належить кожному з класів. Так як у даному випадку неможливо точно визначити, модель якого з класів донавчати.

**Висновки.** У даній статті було описано модель багатокласової класифікації текстів з використанням фільтра Блума для даних, які надходять у реальному часі. Було описано процес навчання моделі та проблеми, які можуть з'явитися протягом навчання. Запропоновано методи для пришвидшення та отримання більш точних результатів класифікації, а також спосіб донавчання моделі в процесі роботи класифікатора. Також були розглянуті проблеми з перенавчанням моделі та вибором складових частин фільтра Блума, що призводить до отримання хибнопозитивних результатів.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальшому планується реалізація даного підходу та порівняння його з існуючими алгоритмами класифікації. Вирішення проблеми динамічного розширення виділеної пам'яті під масив бітів, що у свою чергу вирішить проблему перенавчання моделі та зменшить ймовірність хибнопозитивних результатів.

### Список бібліографічних посилань

1. Role of Bloom Filter in Big Data Research: A Survey [Електронний ресурс] / Ripon Patgiri, Sabuzima Nayak, Samir Kumar Borgohain, -International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/329327259\\_Role\\_of\\_Bloom\\_Filter\\_in\\_Big\\_Data\\_Research\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/329327259_Role_of_Bloom_Filter_in_Big_Data_Research_A_Survey)
2. Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors / Б. Х. Блум, - Comm. of the ACM, 1970, - vol. 13, no. 7, pp. 422–426
3. Анализ Больших Наборов Данных / Ульман Дж., Раджараман А., Лесковец Ю. – ДМК Пресс, Москва, 2016. – с. 158.
4. Optimizing Bloom Filter: Challenges, Solutions, and Comparisons [Електронний ресурс] / Lailong Luo, Deke Guo, Richard T.B. Ma, Ori Rottenstreich, and Xueshan Luo. – 2018. - Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/abs/1804.04777>
5. A Survey of Text Classification Algorithms [Електронний ресурс] / Charu C. Aggarwal, ChengXiang Zhai. – 2012. - Режим доступу до ресурсу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-3223-4\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-3223-4_6)
6. The impact of preprocessing on text classification [Електронний ресурс] / A. K. Uysal, S. Gunal. – 2014. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306457313000964>
7. Text Preprocessing For Unsupervised Learning: Why It Matters, When It Misleads, And What To Do About It [Електронний ресурс] / Matthew J. Denny, Arthur Spirling. – 2018. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.cambridge.org/core/journals/political-analysis/article/text-preprocessing-for-unsupervised-learning-why-it-matters-when-it-misleads-and-what-to-do-about-it/AA7D4DE0AA6AB208502515AE3EC6989E>

CONTENTS

*AUTOMATION AND MANAGEMENT*

Andrushchak I.Ye., Koshelyuk V.A., Sivakovska O.M., Poteychuk M.I., Martsenyuk V.P. Features of information technology distribution of radio waves by frequency bands.	6
Bilavka S. S. Additional cooling of an oil-free air compressor housing to reduce air temperature	11
Yeroshenko O., Stepanishcheva V. Yeremenko O. Determining trends in the labour market. analysis and structuring of obtained information.	16
Zaiats V.M., Majewski J., Marciniak T., Zaiats M.M. The combination numerical method of effective processing high frequency signals.	21
Kaganyuk A.K., Polishchuk T.O., Miskevych O. Analysis of methods for controlling the "rock - coal" interface to create optimal automatic control systems for coal mining combines.	29
Korinchuk N.U., Korinchuk V.V. Formation of research and cognitive skills of students through the use of computer facilities in mathematics classes.	35
Korpyak N.P. The Educational projects in physics classes with multimedia presentations usage.	41
Lyshuk V.V., Selepyna Y.R., Yevsiuk M.M., Denysiuk A.O., Trofymchuk D.M. Mathematical model of an electric long line with distributed parameters in communication systems.	47
Pekh Petro, Gaiduchyk Sergij, Chymruk Nazar. Investigation of the process of automated lines functioning by the simulation method.	53
Povstyanoy O. Y., Mikhailov A. O., Rud V. D., Mikhailov O. V. Modeling of the compaction of powder filter element of complex form during radial isostatic pressing.	58
Samoilenko E.S., Pronina O.I. Modeling fuzzy inference for checking the quality of a software product.	63
Sverstiuk A.S., Bagriy-Zayats O.A., Horkunenko A.B., Mayhruk Z.V., Gaida V.Ya. Cyber-physical systems for glucose determination.	69
Slabyk O.M., Matiko F.D., Lesovoy L.V. Algorithm for determining the thermal energy amount for systems using standard pressure differential devices.	77
Oleksii M. Tkachenko, Vladyslav V. Koziatnyk. WEB-based geospatial service for regional public transportation schedule.	82
Khanin O., Lotysh V., Gumeniuk P., Gumeniuk L. Improved method of $\chi^2$ - clusterization and its application to the analysis of emergency in automobile transport.	88

*INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE*

Akymov V. S. Algorithms for multi-level learning to solve the problem of classifying skin diseases.	97
Zdolbitska N.V., Zdolbitsky A.P., Semenko O.O. Electronic identification and access control systems for users.	103
Melnyk V.M., Melnyk K.V., Shulga B.V. Identification of human emotions using the Keras and TensorFlow neural Network.	109
Melnyk V., Nahorniuk A., Bortnik K. RESEARCH OF PERFORMANCE REQUESTS IN MYSQL AND MARIADB DBMS SUPPORTED BY PYTHON AND PHP.	123
Poliachenko A. I. Convolutional neural network for the classification of tomographic and X-ray images in the recognition system.	128
Savenko O. S., Nicheporuk A. O, Payuk V. P. Estimation of efficiency and reliability of distributed malware detection systems in computer systems of the local Network.	134
Syrotkina O., Alekseyev M., Meshcheriakov L., Moroz B. Methods of working with "big data" based on the application of "m-tuple" theory.	140
Yaremenko V. S., Budonnyi D. Y. Approach of the bloom filter application for real time text data multi-class classification	153

## **ПОРЯДОК РЕЦЕНЗУВАННЯ СТАТЕЙ**

1. Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять через інститут рецензування.

2. Форми рецензування статей:

– зовнішня (рецензування рукописів статей доктором або кандидатом наук, який є провідним спеціалістом у відповідній галузі науки);

– внутрішня (рецензування рукописів статей членами редакційної колегії).

3. У зовнішній рецензії повинні бути висвітлені наступні питання:

– чи відповідає зміст статті заявленій в назві темі;

– наскільки стаття відповідає сучасним досягненням у зазначеній галузі;

– чи доступна стаття читачам, на яких вона розрахована, з погляду мови, стилю, розташування матеріалу, наочності таблиць, діаграм, малюнків та ін.;

– чи доцільна публікація статті з урахуванням раніше випущеної по даному питанню літератури;

– у чому конкретно полягають позитивні сторони, а також недоліки статті, які виправлення й доповнення повинні бути внесені автором;

– висновок про можливість опублікування даного рукопису в журналі: «рекомендується», «рекомендується з урахуванням виправлення відзначених рецензентом недоліків» або «не рекомендується».

4. Зовнішня рецензія засвідчується в порядку, установленому в установі, де працює рецензент. Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

5. Відповідальний секретар протягом 7 днів повідомляє авторів про одержання статті.

6. Строки рецензування в кожному окремому випадку визначаються відповідальним секретарем з урахуванням створення умов для максимально оперативної публікації статті.

Рецензент коментує якість рукопису за такими пунктами, як:

– наукова новизна,

– обґрунтованість результатів,

– значимість результатів,

– ясність викладання,

– якість оформлення;

виставляє по кожному пункту параметричну оцінку від 0 до 5. В залежності від суми балів приймається рішення про доцільність публікації, про необхідність доопрацювання рукопису, або про недоцільність публікації.

Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

7. У випадку відхилення статті від публікації редакція направляє авторіві мотивовану відмову.

8. Наявність позитивної рецензії не є достатньою підставою для публікації статті. Остаточне рішення про доцільність публікації ухвалюється вченою радою.

9. Оригінали рецензій зберігаються в редакції наукового журналу «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво».

## ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

- **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**
  - 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
  - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
  - 3) **виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
  - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
  - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною і
  - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD 03/07/10 і надрукована на лазерному або струменевому принтері на білих листах формату А4 (297×210 мм). **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5-10 сторінок (не менше).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє та праве поле –1,5 см, лівє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
- **Шапка статті.** Індекс УДК, ініціали та прізвища авторів, назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
- **Анотації** (українською, російською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
- **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
- **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
- **Джерела** повинні бути оформленні за ВАК-формою 23 «Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у дисертації, і списку опублікованих робіт, який наводять в авторефераті» (<https://vak.in.ua/>), а їх кількість повинна бути не меншою 10 джерел, що подаються загальним списком в кінці рукопису за абеткою через один рядок після тексту статті двома мовами (англійською та українською)
- До статті обов'язково додається дві **рецензії**: зовнішня і внутрішня. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхилити їх в разі відсутності рецензій.
- Стаття обов'язково подається на лазерному диску. Її також можна переслати електронною поштою за адресою: [cit@lntu.edu.ua](mailto:cit@lntu.edu.ua).
- В кінці статті обов'язково вказуються ПІБ, посада, науковий ступінь, вчене звання рецензентів статті.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.

## ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

(поля верхнє, нижнє та праве -1.5 см, лїве 2см. дзеркальні поля)

УДК 371.13.001.76

Ткачук Н.М., к.п.н.

Волинський інститут післядипломної педагогічної освіти

### ПІДГОТОВКА ВЧИТЕЛІВ ПРОФІЛЬНОЇ ШКОЛИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПЕДАГОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Ткачук Н.М. Підготовка вчителів профільної школи до впровадження інноваційних педагогічних технологій.** У статті розкрито важливість застосування інноваційних педагогічних технологій для реалізації завдань старшої профільної школи. Запропоновано можливості впровадження технологій у навчальний процес шляхом підготовки педагогів в системі післядипломної освіти.

**Ключові слова:** інновація, технологія, педагогічна технологія, профільна школа, післядипломна педагогічна освіта, підготовка педагога.

**Ткачук Н.М. Подготовка учителей профильной школы к внедрению инновационных педагогических технологий.** В статье раскрыта важность применения инновационных педагогических технологий в старшей профильной школы. Предложены возможности внедрения технологий в учебный процесс в системе последипломного образования.

**Ключевые слова:** инновация, технология, педагогическая технология, профильная школа, последипломное педагогическое образование, подготовка педагога.

**Tkachuk N.M. Teacher training specialized schools to implement innovative pedagogical technologies.** The article considers the importance of the application of innovative pedagogical technologies for implementation of tasks of the senior professional schools. The proposed introduction of technology into the learning process through the training of teachers in the system of postgraduate education

**Keywords:** innovation, technology, educational technology, professional school, post-graduate pedagogical education, training teacher.

**Постановка наукової проблеми.** Впровадження профільного навчання старшокласників як одного з етапів реформування освітньої галузі зумовлює пошук нових підходів до організації навчання в старшій школі.

**Аналіз досліджень.** Питанням підготовки вчителів до професійної діяльності в умовах профільного навчання присвятили свої дослідження

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.** Порівнявши питання підготовки педагогів в процесі підвищення кваліфікації до впровадження інноваційних педагогічних технологій, уточнимо ключові поняття «інновація» та «педагогічна технологія».

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Таким чином, одним з найважливіших стратегічних завдань на сьогоднішньому етапі модернізації післядипломної педагогічної освіти є забезпечення якості підготовки фахівців на рівні міжнародних стандартів.

#### Список бібліографічного опису.

1. Величко Л. Л. Теоретичні аспекти педагогічної майстерності та методичної культури педагога / Л. Л. Величко, М. М. Савчин., 2013. – 74 с. – (N4).
2. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології : навч. посіб. / І. М. Дичківська. – К. : Академвидав, 2004. – 352 с.
3. Липова Л. Післядипломна освіта в контексті профілізації навчання/ Л. Липова, М. Войцехівський, В. Малишев., 2010. – 3с. – (N1)

#### References

1. Velichko LL Theoretical aspects of pedagogical skill and methodological culture of the teacher / LL Velichko, MM Savchin., 2013. - 74 p. - (N4).
2. Dichkivska IM Innovative pedagogical technologies: textbook. tool. / IM Dychkivska. - K.: Akademvidav, 2004. - 352 p.
3. Lipova L. Postgraduate education in the context of learning profiling / L. Lipova, M. Voitsekhovskiy, V. Malyshev., 2010. - 3с. - (N1)

**Довідки** з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – Свиридюк Катерини Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15, або (063)-940-69-42.

**Адреса:** 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує 1 примірник збірника. Вартість друку однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ВУЗів.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 45грн.

Кошти можна перерахувати на рахунок:

Луцький національний технічний університет

43018 м.Луцьк, вул.Львівська, 75

р/р **31251222217820** (БУДЬ ЛАСКА ЗВІРЯЙТЕ НОМЕР РАХУНКА)

банк ДКСУ м.Київ,

МФО 820172

Код ЄДРПОУ 05477296

**З призначенням платежу:** «За інформаційно-аналітичне забезпечення видання «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» від \_\_\_\_\_ (ПІБ)»

Міністерство освіти і науки  
Луцький національний технічний університет

## **Колектив авторів**

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

Науковий журнал

Підп. до друку 30.10.2019. Формат А4. Папір офс.  
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 20.0 Обл. – вид. арк. 19.9  
Тираж 100 прим. Зам. № 32

Комп'ютерний набір та верстка:

К.В. Мельник,  
К.А. Свиридюк.

Друк РВВ Луцького НТУ  
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.  
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, тел.: (0332) 74-61-02  
e-mail: rvv\_lntu@ukr.net