

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеська національна академія харчових технологій

НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Монографія

За загальною редакцією
С. В. Котлика

Одеса
«Астропринт»
2021

У монографії узагальнено і проаналізовано рівень сучасного стану розвитку інформаційних технологій, комп'ютерного та математичного моделювання, автоматизації процесів управління, штучного інтелекту, робототехніки, розпізнавання образів, 3D-прототипування, електромеханіки, мехатроніки — практично всіх напрямків, які об'єднуються терміном Індустрія 4.0.

Монографія буде корисною як для фахівців і працівників фірм, зайнятих в області ІТ і автоматизації, так і для викладачів, магістрів, студентів і аспірантів вищих навчальних закладів, і всіх, хто цікавиться питаннями, пов'язаними з Індустрією 4.0.

Колектив авторів

В. Б. Артеменко, Л. В. Артеменко, О. В. Артеменко, В. М. Бажан, Р. І. Байцар, С. В. Бевз, А. П. Бойко, Н. І. Бойко, М. П. Бойцова, О. С. Бойцова, В. В. Борис, Н. В. Борисова, В. В. Борцов, С. М. Бурбело, А. А. Винар, В. В. Войтко, С. О. Воїнова, С. І. Вяткін, К. О. Габусь, К. А. Гончаренко, В. Ф. Гречанинов, Д. К. Григорюк, В. Б. Єгоров, С. І. Єршова, О. М. Жигайло, С. Л. Жуковецька, І. М. Журавська, А. О. Журба, К. С. Завертайло, Р. С. Зацерковна, Р. Г. Зацерковний, А. Ю. Зимогляд, Х. В. Зуб, Л. В. Іванова, Л. О. Іванова, І. В. Ізонін, Н. О. Князєва, Ю. К. Корнієнко, Т. І. Коробейнікова, М. Т. Костюк, С. В. Котлик, Н. В. Краснієнко, А. В. Кудряшова, І. В. Кулаковська, М. С. Курінний, В. П. Ларшин, Н. О. Лисенко, Н. В. Ліщенко, Л. Б. Ліщинська, А. В. Лопушанський, О. В. Мазур, В. З. Майк, Н. Г. Малахова, А. В. Марущак, К. В. Мельник, П. І. Михайлов, Л. І. Мочурад, О. Л. Ненов, І. В. Перун, І. В. Піх, М. С. Потокій, Н. О. Похлебіна, Н. О. Пунченко, О. В. Романюк, О. Н. Романюк, С. О. Романюк, О. Ю. Сакалюк, В. М. Сеньківський, О. Є. Серєєва, І. І. Сидорко, Ю. М. Скаковський, І. В. Скірський, О. В. Скорнякова, О. П. Соколова, К. В. Сологуб, П. В. Ставицький, М. Т. Степанов, О. В. Субботіна, Ю. Ю. Суліма, Ю. Є. Суліма, Р. О. Ткаченко, М. М. Топор, Ф. А. Тришин, Є. О. Тюріна, О. О. Ушкаренко, С. Н. Федосов, В. А. Хобін, О. М. Хошаба, Д. В. Храмченков, А. Л. Чан, Ю. П. Чаплінський, Р. Ю. Чехместрук, Н. Б. Шаховська, С. В. Шестопалов, В. А. Шмалюх, Л. Д. Ярошук

Рецензенти:

В. М. Плотніков, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки Одеської національної академії харчових технологій;
О. А. Шпинковський, канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету;
Ю. Б. Шугайло, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова

Рекомендовано до друкування рішенням ради Одеської національної академії харчових технологій (протокол № 6 від 8.12.2020 р.)

© Артеменко В. Б., Артеменко Л. В.,
Артеменко О. В. та ін., 2021

<i>Передмова</i>	7
------------------------	---

Розділ I

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Visual question answering for image understanding (<i>Zatserkovnyi R. G., Maik V. Z., Zatserkovna R. S.</i>)	9
Методи та засоби автоматизованого синтезу та розпізнавання музичних композицій (<i>Войтко В. В., Ставицький П. В.</i>)	15
Розробка методики моделювання ландшафту зі складним рельєфом (<i>Жуковецька С. Л.</i>)	23
Побудова шкали складності розпізнавання об'єктів заданого класу на зображеннях (<i>Мочурад Л. І., Потокій М. С.</i>)	32
Використання 3D-сканерів ніг (<i>Романюк О. Н., Бажан В. М., Вяткін С. І., Михайлов П. І., Чехместрук Р. Ю., Перун І. В.</i>)	48
Аналіз 3D-body сканерів (<i>Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Михайлов П. І., Чехместрук Р. Ю., Перун І. В.</i>)	65
Analysis of microfacet and wave approaches to the formation of realistic images of anisotropic surfaces (<i>Chan A., Romanuyuk O. N.</i>)	82
Ігровий штучний інтелект в іграх жанру RPG (<i>Шестопалов С. В., Григорюк Д. К.</i>)	93

Розділ II

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ І КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Development of an Automatic Control System for the Self- Adapting Gripper (<i>Habuiev K., Yehorov V.</i>)	113
Technological processes and systems automation principles (<i>Larshin V. P., Lishchenko N. V.</i>)	121

Multiimmittance logic elements (<i>Lishchynska L. B.</i>)	132
Analysis of research methods in clinical and diagnostic laboratory (<i>Sydorko I. I., Baitsar R. I.</i>)	143
Просторове розміщення мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл (<i>Борцов В. В., Бойко А. П., Винар А. А., Журавська І. М., Кулаковська І. В.</i>)	151
Дослідження методів оцінки якості кластеризації у WEB-додатку ZHY&BOR (<i>Жигайло О. М., Топор М. М., Борис В. В.</i>)	169
Підвищення продуктивності в операційних системах шляхом вирішення конфліктних ситуацій між процесами (<i>Завертайло К. С., Хошаба О. М.</i>)	178
Застосування двійкового кодування розрізів для вирішення мережних задач (<i>Князєва Н. О., Лисенко Н. О.</i>)	192
Ітеративний розрахунок верхньої границі зв'язності двополюсної мережі мінливої структури типу $G(n, L)$ (<i>Нєнов О. Л.</i>)	205
Автоматизація процесу формування випромінювання лазерними DFB-модулями: структурна та параметрична ідентифікація, концепція перспективної САК (<i>Похлебін Н. О., Мазур О. В.</i>)	213
Вплив нейронних мереж на достовірність прогнозу дрейфу судна, як напрямок безпеки судноводіння (<i>Пунченко Н. О.</i>)	222
Модернізація технічної структури системи автоматизованого керування відділенням вакуум-апаратів періодичної дії цукрового виробництва (<i>Скаковський Ю. М.</i>)	231
Інваріантна САР з оптимізацією інтервалу прогнозування контрольованих збурень (<i>Степанов М. Т.</i>)	244
Метод прогресій як основа розрахунку інтегральних показників перехідних процесів квазілінійних динамічних систем (<i>Хобін В. А., Гончаренко К. А.</i>)	253

Розділ III

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
І ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

The main differences between types of 3D printing technologies (<i>Boitsova O., Boitsova M.</i>)	260
Information technology for determination of the foreign language proficiency level (<i>Borysova N. V., Melnyk K. V., Yershova S. I.</i>)	271
Автоматизація процесів планування в інформаційних системах (<i>Бевз С. В., Бурбело С. М., Скурський І. В.</i>)	293
The use of cloud technologies at the open information systems (<i>Boyko N.</i>)	300
Використання 3D-друку при створенні ювелірних виробів (<i>Іванова Л. О., Котлик С. В., Соколова О. П.</i>)	317
Дослідження технологій 3D-моделювання на прикладі 3D-туру ОНАХТ (<i>Корнієнко Ю. К., Костюк М. Т.</i>)	332
Моделі факторів прототипування ВЕБ-ресурсу (<i>Сеньківський В. М., Піх І. В., Кудряшова А. В.</i>)	340
Особливості аналізу та проектування взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах (<i>Хошаба О. М., Гречанінов В. Ф., Лопушанський А. В.</i>)	354

Розділ IV

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Modeling of a mask for improving thickness uniformity of thin films and vacuum coatings (<i>Fedosov S. N., Sergeeva A. E.</i>)	370
Дослідження впливу зовнішніх параметрів при отриманні рисунків Ліхтенберга на їхні фрактальні властивості (<i>Журба А. О., Зимогляд А. Ю.</i>)	379
Mathematical modeling of charge carriers' dispersive transport in ferroelectric polymers (<i>Fedosov S. N., Sergeeva A. E., Khramchenkov D. V.</i>)	387
Застосування бустингу в ансамблях нейронних мереж узагальненої регресії для підвищення точності розв'язання задач апроксимації (<i>Ізонін І. В., Ткаченко Р. О., Зуб Х. В.</i>)	394

Модифікація методу оцінювальної функції для антиаліазингу векторів (<i>Романюк О. Н., Курінний М. С., Романюк С. О., Коробейнікова Т. І., Романюк О. В.</i>)	409
Контекстно-онтологічний підхід для розв'язання задач безпеки продуктів харчування (<i>Чаплінський Ю. П., Субботіна О. В.</i>)	422
Вдосконалення методу побудови графоаналітичних моделей компонентів електронних кіл (<i>Ушкаренко О. О., Малахова Н. Г.</i>)	436
Метод імпуації даних на основі ймовірнісних продукційних правил (<i>Шаховська Н. Б.</i>)	451
Формалізація знань для експертної системи при керуванні процесом регенерації мастил (<i>Ярошук Л. Д., Тюріна Є. О.</i>)	459
<i>Розділ V</i>	
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ	
General technical structure of the automated control system of the courses timetable creation process (<i>О. Sakaliuk, F. Trishyn</i>)	470
Онлайн-навчання користувачів інформаційно-аналітичних систем на основі гібридної моделі МООС (<i>Артеменко В. Б., Артеменко Л. В., Артеменко О. В.</i>)	484
До використання нових інформаційних технологій у дистанційному навчанні (<i>Воїнова С. О.</i>)	502
Комплексна автоматизована система діагностики конкурентоспроможності майбутніх ІТ-фахівців (<i>Іванова Л. В., Скорнякова О. В.</i>)	511
Пілотний проєкт запровадження змішаного навчання на базі Google Cloud Platform у фаховому коледжі (<i>Суліма Ю. Ю., Краснієнко Н. В., Суліма Ю. Є., Сологуб К. В.</i>)	527
<i>Список авторів</i>	537

Передмова

Сучасний етап розвитку людської цивілізації характеризується переходом до так званого інформаційного суспільства, в якому в результаті процесів інформатизації та комп'ютеризації інформаційні технології в усіх сферах діяльності відіграють більш важливу роль, ніж індустріальні, аграрні та ін. Інформатизація — загальний неминучий період розвитку цивілізації, період освоєння інформаційної картини світу, створення індустрії виробництва й обробки інформації.

У колективній монографії представлені результати практичних і теоретичних досліджень в області застосування різних інформаційних технологій, засобів автоматизації, мехатроніки, 3D-прототипування, робототехніки, електромеханіки, комп'ютерного та математичного моделювання, штучного інтелекту, розпізнавання образів, застосування 3D-принтерів — практично всіх напрямків, які об'єднуються терміном Індустрія 4.0. Монографія складена за підсумками проведення XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та автоматизація — 2020», яка відбулася в жовтні 2020 року в Одеській національній академії харчових технологій.

Спектр представлених проблем надзвичайно широкий — розпізнавання музичних композицій та об'єктів заданого класу на зображеннях, використання 3D-сканерів ніг та аналіз 3D-body сканерів, ігровий штучний інтелект в комп'ютерних іграх та підвищення продуктивності в операційних системах, вплив нейронних мереж на достовірність прогнозу дрейфу судна, автоматизація процесів планування в інформаційних системах, моделі факторів прототипування WEB-ресурсу, онлайн-навчання користувачів інформаційно-аналітичних систем, пілотний проєкт запровадження змішаного навчання та інші.

У створенні колективної наукової праці взяли участь практично всі «гранди» підготовки фахівців в області Індустрії 4.0 — Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Національний університет «Львівська політехніка», Вінницький національний технічний університет, Національна металургійна академія України, Інститут проблем математичних машин і систем, Одеський національний політехнічний університет, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Одеська національна

академія харчових технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Представлена монографія являє собою істотну підмогу фахівцям, викладачам, студентам, аспірантам, які намагаються дізнатися про сучасний стан науки в галузі Індустрії 4.0. Ця інформація може бути використана для вирішення широкого кола проблем в зазначених розділах, що виникають як в навчальному процесі, так і в дослідницькому і науковому напрямках.

Розділ I

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

VISUAL QUESTION ANSWERING FOR IMAGE UNDERSTANDING

Zatserkovnyi R. G., Maik V. Z., Zatserkovna R. S.

У розділі представлений огляд систем візуальних відповідей на запитання — задачі машинного навчання, що полягає у відповіді на складні запитання про зображення або відеоряд (його вміст, властивості, присутність або відсутність деяких предметів і ньому і т. ін.). Розглянуто доступні на даний момент набори даних, що складаються з зображень, запитань про зображення та відповідей на них, найновіші математичні моделі для VQA, і запропоновано ділянки, де можлива розробка нових методів та алгоритмів.

This paper provides an overview of visual question answering (VQA), a machine learning problem related to answering complex questions about a static image — its contents, properties, the presence, absence or number of certain objects in it and so forth. It reviews the current datasets containing visual questions & answers, the state-of-the-art VQA models, and proposes areas for further improvement.

Introduction. The task of identifying and describing objects in digital images has been a well-known staple of computer vision problems. Tasks such as object detection (locating the presence of objects within an image), image classification (determining what kind of object is depicted within the image) and attribute learning (describing properties of objects such as “red”, “round” or “blurry”) can allow an algorithm to generate a detailed description of an image or video sequence.

In particular, computer vision algorithms are greatly useful in the assistive technology domain where they can significantly improve people’s quality of life. When navigating their physical environment, people with vision impairment often encounter challenges in routine tasks: determining whether a stop light is red, green or yellow, reading a signpost, finding a small object among several others and so forth. Several applications have been designed to use computer vision algorithms that target images received from a portable camera, such as that of a cell phone, to help people with vision impairment navigate their surroundings.

However, questions posed by real users are human-language inputs, rather than sanitized data given to a specific computer vision algorithm. A machine learning solution must combine both computer vision (to process an image according to some algorithm and return a simple result) and natural language processing (to process the user's question and turn the result into a similarly human-readable answer) in order to be useable in assistive software, as well as other domains. To accomplish this, an entirely new type of machine learning problem touching upon multiple domains must be formalized.

Problem statement. Visual question answering, or VQA, is a multidisciplinary AI problem originally proposed in 2015. It is defined as the task of answering complex, open-ended questions about an image in a similarly open-ended manner. Formally, it aims to create mathematical models that take an image and a freeform question about the image as its inputs, and produce a similarly freeform answer as its output. Outputs of a model are evaluated based on their deviation from the ground truth, and evaluation metrics generally award a “partial credit” score for closely matching but inexact answers.

Consider, for example, the process of answering the following question that accompanies an image from a mobile camera:

“How many buses are at the bus stop?”

In order to successfully process it, an AI system must first use NLP methods to decompose the question into a query understandable by a computer vision algorithm. It must define the type of the query (“how many” is a strong hint that the answer must be a number, and that several objects must be detected on an image), determine the object that is being counted or detected (“buses”) and detect the context for the query (“the bus stop” — if there are other parts to the image, they will need to be ignored by the algorithm).

This information alongside the input image is then passed to the computer vision component of the system, a series of algorithms designed for several different CV problems. Based on the information in the query, a segmentation algorithm is used to filter the surrounding area to that of the bus stop, and a multiple-object detection algorithm is used to detect “bus”-type objects on the image. Their amount is once again returned to the NLP component, which converts the simple numeric answer (2) to a human-readable format (“*There are two buses at the bus stop*”) before finally displaying it to the end user, whether on-screen or using a text-to-speech algorithm.

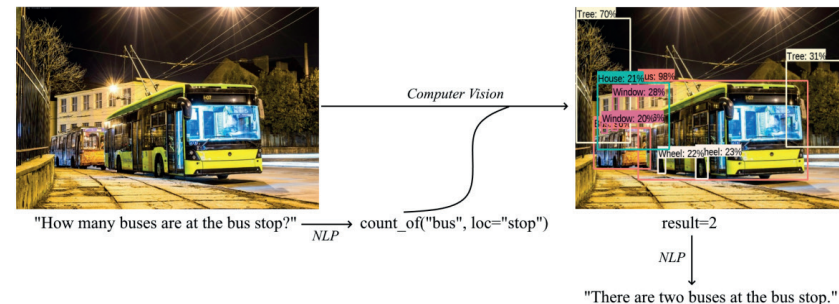


Figure 1. An example workflow of a visual question answering problem

Review of existing datasets. In every machine learning problem, the availability of large datasets is paramount to training a successful mathematical model, and VQA is no exception. Many datasets have been made available to researchers that contain visual images, questions about the images and human-curated answers to these questions. A combination of input data from several different datasets can be used to train a robust question answering model.

During training, a VQA model, just like many other supervised learning methods, needs to utilize an evaluation metric to determine how close its answers are to the truth and adjust its operating parameters accordingly. Simple accuracy — the percentage of all answers produced by a ML model that are a perfect match for the reference answers — can be used as a simple evaluation metric. However, it disproportionately penalizes outputs that do not exactly match the reference answers while being sufficiently similar. Custom-made metrics based on Levenshtein distance solve this problem by calculating a mathematical difference between the computed and correct answers, and giving small penalties to answers where that difference is sufficiently low.

Another custom metric introduced by the VQA dataset [1] can be used in cases where there are several valid answers to a question:

$$accuracy = \min\left(\frac{\# \text{ humans that provided the answer}}{3}, 1\right).$$

In other words, an answer generated by a model is considered 100 % accurate if 3 or more people annotating the dataset have provided that answer to the same question.

Many datasets in the VQA field are based on an existing object detection dataset enhanced with natural-language questions. For instance, Micro-

soft's COCO (Common Objects in Context) contains over 330,000 images separated into 91 object types, containing a total of 1.5 million labeled object instances [2]. It has been used as a baseline for several VQA-specific datasets such as COCO-QA [3] and VQA 2.0 [1], although the latter includes abstract scenes alongside COCO photographs.

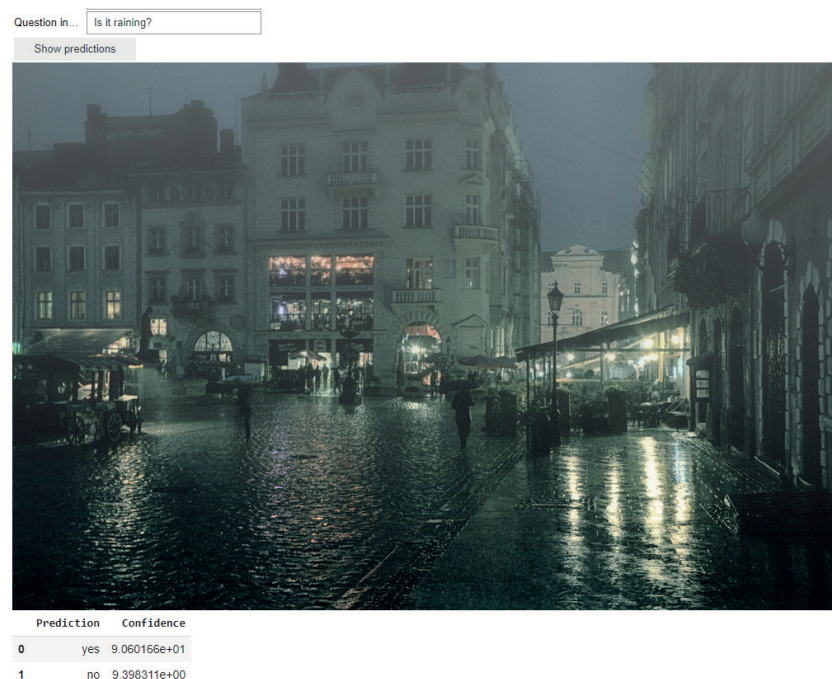


Figure 2. The output of a machine learning model trained on the VQA 2.0 dataset. With 90 % certainty, it correctly predicts that it is raining in the image

Other datasets may contain their own sets of images, questions and answers based on specific domain needs. The DocVQA dataset is sourced from 12,000 printed or typewritten documents in the UCSF Industry Documents Library [4]. The VizWiz dataset utilizes over 31,000 real-world photographs made by blind people using a mobile phone application, meaning that input data is often low-quality with no clear answer [5].

Broader datasets designed to facilitate cognitive understanding of images by AI can also be used for visual question answering problems. For instance, the Visual Genome dataset contains over 100,000 images with a

set of objects (mapped to regions within an image), attributes of these objects, and relationships between them [7]. This dataset could be extended with a series of synthesized questions based on object attributes and relationships to provide a suitable basis for training a visual question answering algorithm.

A major unsolved problem in the VQA domain is biased reasoning. There is evidence that models achieve good benchmark results for the wrong reasons, such as discovering statistical patterns in the training data (e.g., the answer to the majority of “how many X...” questions is “2”) while disregarding the image itself [8]. Several recent datasets have been specifically designed to discourage flawed reasoning by rebalancing the data to reduce inherent biases or presenting several low-level questions that, when combined, form a complex fact about an image [9].

Current machine learning methods. As previously mentioned, one can think of a VQA model as having three core components: a model extracting features from the natural-language questions, a model extracting features from an image, and an algorithm that combines their results to produce a natural-language answer. The first two components are by far the most complex, and the focus of most research within the area.

To turn questions into numeric arrays that can be processed by a neural network, VQA models often use a tokenization algorithm such as Google's BERT. Conversely, features of an input image are extracted using convolutional neural networks, pre-trained on large image datasets such as ImageNet to achieve an understanding of several common classes of objects. In the simplest case, the image and textual features are combined based on simple mathematical methods such as vector concatenation and addition or in a more complex weighted manner. A combined question/image vector is used as the input of a neural network, which learns to produce an answer to the posed question.

Modern algorithms iterate on this baseline approach by using a mechanism called “visual attention” to focus on certain parts of the image based on the posed question. In the bus example above, a visual attention method would focus on a bounding box rectangle containing the bus itself while ignoring other parts of the image, which can help object detection methods achieve a higher level of accuracy. Soft visual attention blurs the parts of the image that are considered irrelevant, whereas hard attention crops them out entirely; despite the loss of extra context, the latter approach has been found to have superior performance to soft-attention methods [6]. Alternative approaches to attention treat it as a multi-modal mechanism, just like visual

question answering itself, and often include information about the question while working with visual features.

Conclusions and future work. The task of visual question answering is a novel combination of computer vision and natural language processing fields. In addition to assisting visually impaired people with succeeding in their everyday goals, it can be used as a benchmark for general artificial intelligence, as an algorithm that has the capacity to achieve understanding of any given visual input would match the criteria for intelligence.

Visual question answering is far from a solved problem: the current state-of-the-art algorithm on the real-world VizWiz dataset achieves 56.3 % accuracy, with a maximum of 79.85 % for simple “yes”/“no” questions [5]. Furthermore, VQA algorithms based on deep neural networks suffer from a lack of explainability that may lead to flawed reasoning and the inability of the model to generalize to previously unseen input images [8].

Further improvements can be made to all core components of VQA systems, with methods that exploit the relationships between questions and images as well as transparent, explainable algorithms appearing the most promising avenues of research.

REFERENCES

1. Y. Goyal, T. Khot, D. Summers-Stay, D. Batra, and D. Parikh, “Making the V in VQA Matter: Elevating the Role of Image Understanding in Visual Question Answering,” arXiv:1612.00837 [cs], May 2017, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1612.00837>.
2. T.-Y. Lin et al., “Microsoft COCO: Common Objects in Context,” arXiv:1405.0312 [cs], Feb. 2015, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1405.0312>.
3. M. Ren, R. Kiros, and R. Zemel, “Exploring Models and Data for Image Question Answering,” arXiv:1505.02074 [cs], Nov. 2015, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1505.02074>.
4. M. Mathew, D. Karatzas, R. Manmatha, and C. V. Jawahar, “DocVQA: A Dataset for VQA on Document Images,” arXiv:2007.00398 [cs], Jul. 2020, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2007.00398>.
5. D. Gurari et al., “VizWiz Grand Challenge: Answering Visual Questions from Blind People,” arXiv:1802.08218 [cs], May 2018, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1802.08218>.
6. M. Malinowski, C. Doersch, A. Santoro, and P. Battaglia, “Learning Visual Question Answering by Bootstrapping Hard Attention,” arXiv:1808.00300 [cs], Aug. 2018, Accessed: Oct. 06, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1808.00300>.
7. R. Krishna et al., “Visual Genome: Connecting Language and Vision Using Crowdsourced Dense Image Annotations,” Int J Comput Vis, vol. 123, no. 1, pp. 32–73, May 2017, doi: 10.1007/s11263-016-0981-7.
8. Aishwarya Agrawal, Dhruv Batra, Devi Parikh, and Aniruddha Kembhavi. Don’t Just Assume; Look and Answer: Overcoming Priors for Visual Question Answering. CoRR, abs/1712.00377, 2017. <http://arxiv.org/abs/1712.00377>.
9. Ramprasaath R. Selvaraju, Purva Tendulkar, Devi Parikh, Eric Horvitz, Marco Ribeiro, Besmira Nushi, Ece Kamar. SQuINTing at VQA Models: Introspecting VQA Models with Sub-Questions, 2020. <https://arxiv.org/abs/2001.06927>.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ МУЗИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Войтко В. В., Ставицький П. В.

Основними структурними компонентами системи синтезу та аналізу музичних звуків є два. Перший забезпечує функціонал розпізнавання музичних композицій на основі награного уривку. Другий забезпечує функціонал створення власних музичних композицій. Розпізнавання відбувається на основі дискретизації вхідного аудіосигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Наступним кроком є створення на основі перетворених даних так званих хеш-відбитків, що дають змогу пошуку та співставлення співпадінь задля швидкого отримання метайнформації про бажану музичну композицію, працюючи в умовах зашумленості початкового вхідного сигналу. Синтез музичних композицій побудовано у вигляді секвенсора, де користувач має змогу ручного створення власних композицій. Крім того, використання набув комбінований метод, що дозволяє перетворювати мелодію, награну голосом, у певну музичну послідовність, яка, в свою чергу, може бути редагована. Для розробки такої системи важливою є якісна програмна реалізація, яка задовольнить базові характеристики: швидкодію, багатоплатформність, кросплатформність. Багатоплатформність полягає в адаптації розробленої системи до багатьох платформ, таких як Android, iOS, Web, а також настільних платформ. Кросплатформність полягає в можливості спільної кодової бази одночасно встановлюватися на низку платформ. Саме тому розглянуто ряд технологій, які містять свої переваги і недоліки, проте дозволяють досягти поставленої мети. Крім того, важливим компонентом такої системи є серверна складова, яка повинна тримати основне навантаження під час пошуку співпадінь музичних композицій. Важливими є підходи до обробки запитів клієнтських додатків, а також методи оптимізації пошуку даних у базі.

The primary structural components of the system of music synthesis and analysis are music recognition and sound synthetic components. Former provides a functionality of a music recognition of the music based on a provided fragment. Latter allows user to create custom music tracks. Sound recognition is based on a Fast Fourier Transform which allows to transform input sound signal to the format suitable for analysis. The next step is to create a number of fingerprints that represent local extremes of the input signal which in turn allows to work in noisy environments. Such approach provides an efficient way to recognize compositions and display their metadata. Sound synthesis functionality is represented as a sequensor where user is able to create custom music sequences and turn them to music tracks. Moreover, it is important to mention a combined method which adds another input channel for the music creation feature. Use is able to play the desired melody with his voice and than it can be transformed to editable sound sequences as an addition to tracks being edited. To create such a software system it is important to have an implementation which will satisfy the following criteria: speed, multiplatform, crossplatform. It is important for a modern software product to be multiplatform which means its availability on a various range of platforms such as Android, iOS, Web and desktop. Furthermore, it can be beneficial to make it crossplatform which means having single codebase targeting multiple platforms. That is why it is important to consider a set of various modern technologies which allow to achieve such an approach. Each of them has its own advantages, disadvantages and conceptual differences with competitors, that is why needs to be properly analyzed. The crucial part of the system overall is the server-side. It is the component which handles system load balancing and recognition functionality. It is important to consider optimization approaches of this components as well.

Під час розробки таких програмних продуктів, як система розпізнавання музичних композицій [1], варто приділяти велику увагу, як алгоритмічній складовій розробки, так і програмній імplementації клієнтських додатків та серверній частині. Необхідно розробити надійне рішення з мінімальною кількістю повторюваного коду задля високої ефективності роботи та процесу розробки системи. Важливо тут розглянути підходи кросплатформних технологій розробки додатків. Крім того, необхідно забезпечити можливість швидкого пошуку музичних співпадінь з боку серверної складової для високої швидкодії системи. Саме тому слід проаналізувати підходи та алгоритми, що дозволять збільшити швидкість роботи процесів задля забезпечення задовільного досвіду використання системи.

Однією з основних переваг розроблюваного програмного продукту є застосування комбінованого методу створення музичних композицій, який базується на використанні технологій синтезу музичних звуків та алгоритмів їх аналізу.

Розроблюваний додаток складається з модуля синтезу музичних звуків і модуля порівняння та аналізу музичних композицій [1].

У модулі аналізу та порівняння музичних композицій під час запису сигналу за допомогою мікрофону отримується масив, який є поданням звукового сигналу в часовій області. Для отримання частотних характеристик сигналів, розгорнутих у часі, необхідно використовувати дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) [2].

Алгоритм роботи компонента розпізнавання композицій наведено на рисунку 1.

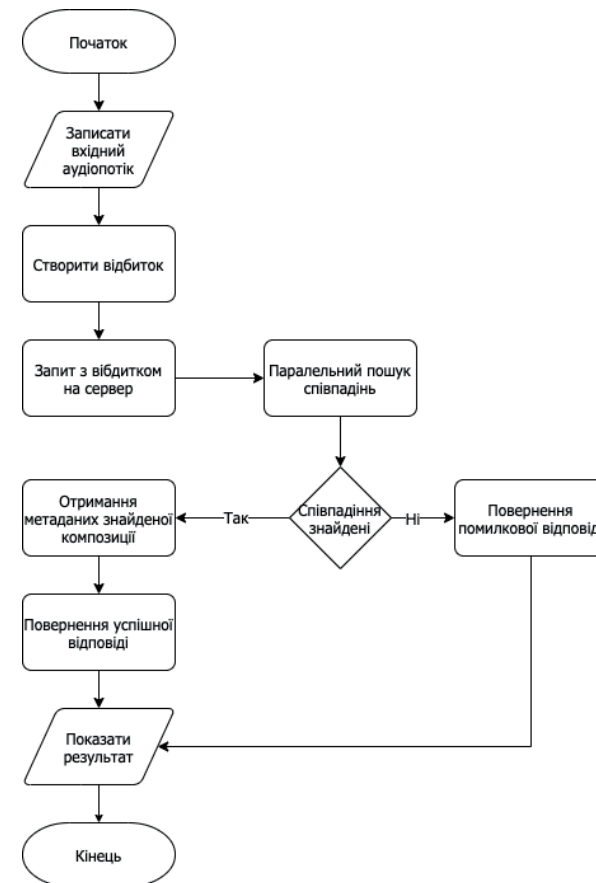


Рис. 1. Алгоритм роботи компонента розпізнавання музичних композицій

Для спрощення пошуку музичних композицій їх сигнатури використовуються як ключі в хеш-таблиці. Ключам відповідають значення часу, коли набір частот, для яких знайдена сигнатура, з'явився в композиції, та ідентифікатор самої композиції (наприклад, назва пісні та ім'я виконавця).

Важливою також є наявність локального сховища, що виконує кешування та пришвидшує роботу додатку в деяких сценаріях [3].

Іншою важливою складовою системи є серверна частина. Після того, як відбитки музичної композиції створено, вони передаються від клієнта до сервера за допомогою HTTPS протоколу.

Задля регулювання навантаження на сервер використовується система балансування навантаження, що урівнює навантаження на кластери системи. Після того, як серверна частина отримує дані, вони передаються у модуль пошуку співпадінь. Сервер повинен містити хеш-значення відбитків музичних композицій, серед яких відбуватиметься пошук. Важливою є реалізація процесу паралельного пошуку співпадінь, що дозволяє пришвидшити пошуковий процес.

Одним з таких підходів є «шардинг» бази даних, що виконує горизонтальне розбиття бази даних [4]. Такий підхід дозволяє розділити базу даних на декілька складових, кожна з яких містить певний сегмент загального набору даних. Такі дані можуть бути згрупованими за різним контекстом, що дозволяє виконувати паралельні запити до центрального сховища.

Найпростішим підходом у реалізації програмної системи розпізнавання музичних композицій є використання готових хмарних сервісів, що надають подібний функціонал для своїх користувачів. Одним з прикладів таких сервісів є хмарний сервіс ACRCLOUD, який включає хмарне рішення з наперед розробленим функціоналом розпізнавання музичних композицій, а також готову базу відбитків музичних композицій. Для того, щоб використати такий підхід, необхідно інтегрувати клієнтську бібліотеку, яка містить у собі відповідні алгоритми та програмну логіку взаємодії з серверною частиною.

Перевагами такого підходу є те, що він надає готове рішення та алгоритми розпізнавання музичних композицій, які розробник має змогу інтегрувати у власну програмну систему. В такому разі користувач сервісу фокусується на розробці власних користувацьких сценаріїв, користувацького інтерфейсу та бізнес-логіки. Таким чином, можна досягти досить природної інтеграції у розроблювану систему з

отриманням необхідного функціоналу розпізнавання музичних композицій.

Недоліком такого підходу є те, що він інколи не дозволяє досягти бажаної гнучкості. Його програмне забезпечення є закритим, тому розробник не має змоги аналізувати або модифікувати вихідний код бібліотеки та серверної складової. Деякі користувацькі сценарії потребують спеціальної оптимізації та модифікації для плавного користувацького досвіду. Наприклад, таким сценарієм є використання відповідних технологій для награвання мелодій з метою їх подальшого редагування.

Одним з кросплатформних рішень реалізації програмної системи є використання Kotlin Multiplatform, що дозволяє об'єднати програмний спільний код на базі Android, iOS. Крім того, існує можливість використання спільного коду з серверною складовою на базі JVM. Такий підхід можливий завдяки використанню технології збірки проєктів Gradle та набору відповідних плагінів для цього. Код користувацького інтерфейсу тоді необхідно імплементувати для кожної платформи окремо, проте в той же час у розробників є можливість перевикористання спільного коду, що реалізує спільну логіку та алгоритми для усієї системи.

Іншим підходом до розробки системи буде використання Flutter. На відміну від Kotlin Multiplatform, основним призначенням цієї технології є узагальнення логіки користувацького інтерфейсу. Проте також існує можливість використання спільної логіки та алгоритмів. Серверну ж частину необхідно розробляти окремо, адже основним призначенням Flutter є удосконалення процесу розробки користувацького інтерфейсу.

Третім підходом є використання нативного платформного коду для користувацького інтерфейсу. Проте спільна логіка може бути реалізована мовами C++ або Rust. У такому разі в розробників є можливість використання системи збірки Bazel, основною перевагою якої є можливість роботи з різними мовами програмування одночасно. Іншою особливістю є гранулярність, тобто можливість роздроблення модулів на менші компоненти, що дозволяє пришвидшувати процес збірки проєкта завдяки паралельному виконанню.

При реалізації власного рішення розробник має можливість повного контролю програмного рішення та його налаштування під конкретний сценарій використання розроблюваної системи. Звісно, такий підхід потребує більших інженерних рішень та ресурсів, тому

необхідно проаналізувати можливі підходи і технології, що дозволяють досягти найбільш ефективного результату.

Однією з основних складових розроблюваної системи є користувацька частина, а саме можливість використання програмного продукту на різних платформах, таких як: Android, iOS, Web, desktop тощо. Основною ціллю тут є ефективна інтеграція алгоритмів розпізнавання музичних композицій з найменш можливою повторюваністю написаної програмної логіки під кожен з таких платформ. Повторюваний код займає більше часу на створення, а також потребує самоповторення різними мовами програмування, що підвищує складність, а також імовірність виникнення помилок у реалізації [3].

У будь-якому разі, при тому чи іншому підході до розробки системи не вдається уникнути використання декількох мов програмування. Кожна з клієнтських платформ має свої особливості роботи з апаратним забезпеченням, архітектура якого може відрізнятися. Таким чином, навіть при використанні кросплатформних технологій певну кількість програмного коду необхідно розробити нативними засобами. Саме тому важливим є вибір системи збірки проекту, яка б полегшила процес взаємодії різних компонентів системи та підвищила б швидкість комплектації проекту і загальну продуктивність процесу розробки.

Системою збірки для операційної системи Android «за замовчуванням» є Gradle. Така система є досить гнучкою та простою в конфігурації за рахунок використання окремої доменної мови для написання скриптів. Крім того, існує можливість розширення налаштувань збірки за рахунок написання власних плагінів. При розробці додатків на базі iOS та OS X зазвичай використовується стандартна система, розроблена тією ж компанією Apple Xcode. При розробці серверного рішення вибір системи збірки також відрізнятиметься залежно від вибору мови програмування.

Важливою особливістю та відмінністю інструментів розробки кросплатформних програмних додатків є їх фундаментальний підхід до вирішення проблеми. Одні фокусуються на узагальненні процесу розробки користувацького інтерфейсу додатку, роблячи його загальним та спільним компонентом. Інші ж навпаки наполягають на нативних підходах до розробки користувацького інтерфейсу, проте об'єднують побудовану бізнес-логіку системи, тобто саме той функціонал, який вона виконує.

Розроблювана програмна система складається з серверної та клієнтської складових. Обидві використовують центральний модуль аудіообробки, що є однією з основних складових алгоритму розпізнавання музичних композицій. Даний модуль є спільним задля можливості віддаленого автономного виконання на боці сервера за наявності музичних композицій або уривків для розпізнавання. Центральний модуль аудіообробки включає в себе дискретизацію аудіосигналу для подальшої обробки, а також алгоритм хешування для значного зменшення об'єму оброблюваних даних та відсіювання сторонніх шумів, що не є складовою музичної системи.

З боку клієнта система отримує аудіодані за допомогою відповідного модуля обробки вхідних даних, що зчитує аудіосигнал з мікрофону пристрою. Реалізація цього модуля є окремою для кожної платформи. Це зумовлено тим, що такий функціонал тісно взаємодіє з апаратним забезпеченням, а тому має особливості реалізації з боку кожної платформи. Можна зазначити, що з боку Android використовуються технології AAudio та OpenSL ES, а з боку Apple пристроїв використовується AVFoundation API.

Крім того, отриману інформацію з бази даних необхідно дуже швидко обробити. Пошук співпадінь можна виконати за допомогою паралельного опрацювання на різних процесах центрального процесора. Проте навіть серверне апаратне забезпечення не дозволить мати достатньо велике значення рівня паралельної обробки даних, адже кількість ядер процесора є обмеженою. З іншого боку, графічний процесор дозволяє виконувати сотні або навіть тисячі паралельних потоків, кожен з яких зайнятий незначною кількістю обчислень. Такий підхід дозволяє в разі підвищити швидкість паралельного виконання завдань. У результаті при використанні графічного процесора можна досягти паралельного виконання процесів у кількості тисяч або навіть десятків чи сотень тисяч потоків, що значно підвищує ефективність роботи програмного модуля знаходження співпадінь музичних композицій.

Висновок. Розглянуто основні складові системи синтезу та аналізу музичних звуків, зокрема компонент розпізнавання музики та компонент синтезу аудіоконтенту, що забезпечує можливість створення власних музичних композицій. Розглянуті підходи до реалізації функціоналу системи розпізнавання мелодій орієнтовані на забезпечення перспектив використання програмного сервісу на різних технічних засобах відтворення. Крім того, приділено увагу

комбінованому методу, що базується на поєднанні принципів аналізу і синтезу звуків та підвищує швидкість і якість процесу створення музичних композицій. Розглянуті засоби та підходи до програмної реалізації системи розпізнавання мелодій дозволяють використання хмарних рішень та формують переваги розробки власної програмної системи. Засоби кросплатформної розробки базуються на використанні спільної бізнес-логіки для декількох платформ водночас, включаючи серверну та клієнтську складові. Структурний опис системи розпізнавання музичних композицій передбачає виконання процесів паралельного пошуку співпадінь аудіофрагментів. Для розробки програмного прототипу, що демонструє можливості системи, може бути обрано розробку клієнтської складової на базі платформи Android мовою Kotlin/JVM і серверної складової, реалізованої тією ж мовою, що дозволить використовувати спільну кодову базу для загальних компонентів. Порівняльний аналіз підходів до розробки кросплатформних клієнтських рішень на базі операційних систем Android, iOS, а також Web та настільних платформ забезпечує розуміння особливостей програмної реалізації аудіосистеми. Розглянута технологія Flutter дозволяє сфокусуватися на розробці спільного користувацького інтерфейсу для бажаних платформ, а технологія Kotlin Multiplatform базується на функціоналі мови програмування Kotlin та дозволяє об'єднувати бізнес-логіку для декількох платформ. Крім того, описані системи збірки проєктів, такі як Gradle, Bazel та Xcode, дозволяють автоматизувати процес програмної реалізації системи. Аналіз особливостей розробки клієнтських кросплатформних програмних систем та засобів оптимізації пошуку даних з боку серверної складової спрямований на забезпечення високої ефективності і швидкодії системи синтезу та розпізнавання музичних композицій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтко В., Бевз С., Бурбело С., Ставицький П. Моделі системи аналізу та розпізнавання музичних композицій / Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: міжнародний науково-технічний журнал. — Вінниця: ВНТУ, 2020, № 1. — С. 32–38.
2. Voitko V. V., Bevez S. V., Burbelo S. M. et al. Automated system of audio components analysis and synthesis: Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 110450V (15 March 2019). — URL: <https://doi.org/10.1117/12.2522313>
3. Войтко В., Бевз С., Бурбело С., Ставицький П. Аналіз сучасних засобів створення та обробки аудіоконтенту // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. — 2020. — Т. 31(70), № 1, ч. 1 — Київ: Видавничий дім «Гельветика» — С. 55–59. — URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-1/10>
4. Annamalai M, Ravichandran K., Srinivas H. et al. Sharding the Shards: Managing Datastore Locality at Scale with Akkio, October 8–10. — Carlsbad, CA, USA, 2018. — ISBN 978-1-939133-08-3

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ЛАНДШАФТУ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ

Жуковецька С. Л.

У розділі розглянуті проблеми формування 3D моделі місячної поверхні з метою її подальшого використання в анімаційному ролику. Задача формування реалістичного ландшафту є досить складною, ресурсомісткою, і, в той же час, актуальною і затребуваною. Всі елементи ландшафту повинні складати єдину систему і підкорятися певному художньому задуму. Запропоновані методики вирішення проблеми з мінімальними витратами на процеси моделювання та візуалізації.

This article examines the problems of forming a 3D model of the lunar surface in order to further use it in the animated video. The task of forming a realistic landscape is quite complex, resource-content, and, at the same time, relevant and in demand. All elements of the landscape should make a single system and obey a certain artistic idea. Proposed technologies to solve the problem with minimal costs for modeling and visualization processes.

Вступ. Процес створення ландшафту і його якість в сучасній практиці 3D-моделювання надзвичайно важливий. Комп'ютеризація дизайну дозволяє оптимально вирішувати завдання художньо-образного моделювання та композиційного формоутворення.

Головна перевага цифрових технологій в тому, що екранний образ є пластичним і змінюваним. Створення «віртуальної бази» дизайн-проєктів і забезпечення умов «проживання» віртуальної події дозволить вибирати дійсно функціонально й естетично необхідні об'єкти, а потім і матеріалізувати тільки їх.

Визначення задач. Огляд референсів дає уявлення про вигляд об'єкта моделювання. Характерна особливість місячного рельєфу — численні кратери. Місячна поверхня покрита шаром реголіту (пісочного пилу чорного кольору). По поверхні розсипане каміння різної величини. Рослинності та водних каналів немає. По лінії горизонту проходять невисокі гірські хребти. На темному зоряному небі сходить освітлена сонцем Земля (рис. 1).

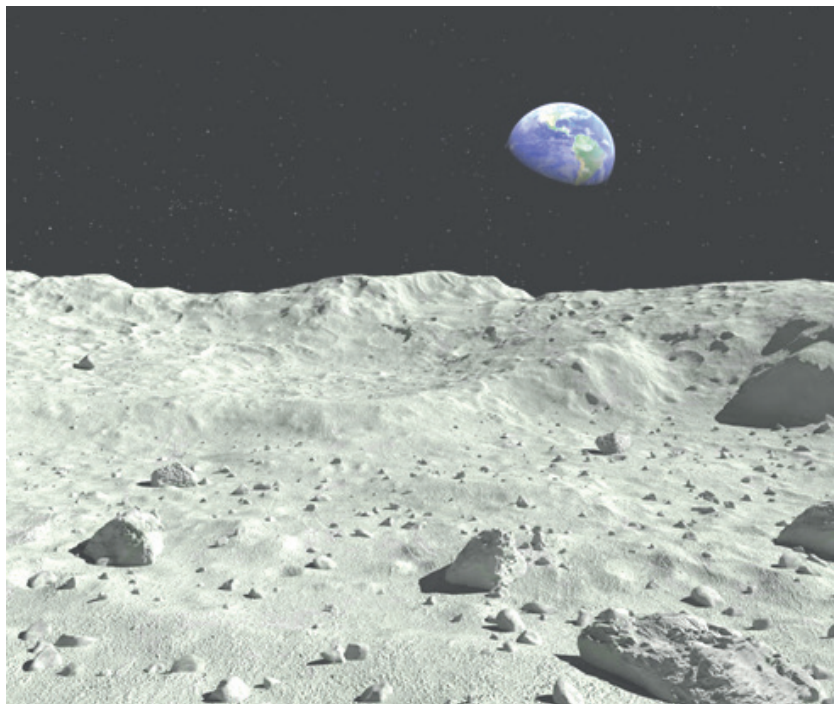


Рис. 1. Базовий референс

Таким чином, виявлені три принципово різні складові моделі: террейн, каміння, специфічний фон.

Методика моделювання базової сітки террейну. Террейн не є однорідним, він розбитий на кілька зон, що відрізняються своєю будовою: ділянки зі щільним покриттям кратера, ділянки невеликої висоти та ділянки великої висоти. Моделювання різних складових потребує використання різних методів та інструментів.

Створення ландшафту вручну зміщенням вершин базового мешу займе багато часу і не дасть потрібного результату. Існують програми, що спрощують створення ландшафту, такі як Vue d'Esprit, Bryce або Terragen. Для створення ландшафтів використовуються два методи: стандартний і процедурний. Стандартним методом ландшафти створюються за допомогою кистей і ефектів, а процедурним — за допомогою редактора функцій.

Для створення базової сітки террейну використаний процедурний ландшафт. Особливістю процедурного методу є представлення моделі у вигляді пов'язаних вузлів, кожний з яких містить визначені властивості. Вигляд графа вузлів створеного процедурного ландшафту показаний на рисунку 2.

Такий підхід дає можливість більш гнучкого редагування форми на рівні складових її фракталів. Фрактальні настройки рельєфа встановлюються за допомогою Fractal Settings (фрактальні настройки). Процедурні гори мають більш складну топологію, причому щільність сітки такого об'єкта залежить від відстані до нього — чим далі відстоїть від віртуальної камери процедурна гора, тим менше її деталізація і, отже, менша кількість полігонів використовується.

За допомогою налаштувань регулюються зовнішній вигляд гори і деталі поверхні. Далі за допомогою кистей і ефектів в процедурний ландшафт додають кратери і пагорби. Вигляд базової сітки з накладеними ефектами показаний на рисунку 3.

Таким чином створюються чотири ділянки поверхні з різною будовою. Сформовані террейни імпортовані в сцену Maya, де з них сформований єдиний об'єкт. Роботу над створенням террейну завершує ретопологія об'єкта. Мета цієї дії — створити геометрично правильну мультиполігональну сітку.

Методика мікродеталізації террейну. Моделювання всіх деталей мікроструктури об'єкта досить трудомісткий обчислювальний процес, тому імітація оптичних властивостей матеріалу відбувається за допомогою заздалегідь підготовлених текстурних карт. Існують підходи, що дозволяють використовувати карти нерівностей для зниження геометрії в складних сценах. Найбільш відомі методи симуляції нерівностей: Displacement Mapping, Bump Mapping, Normal Mapping, Parallax Mapping.

Підхід, який використовує Bump Mapping (бамппемпінг), імітує нерівності, не додаючи геометрії в сцену. Метод полягає в тому, що відхилення кожного пікселя від нормалі до поверхні об'єкта виглядає

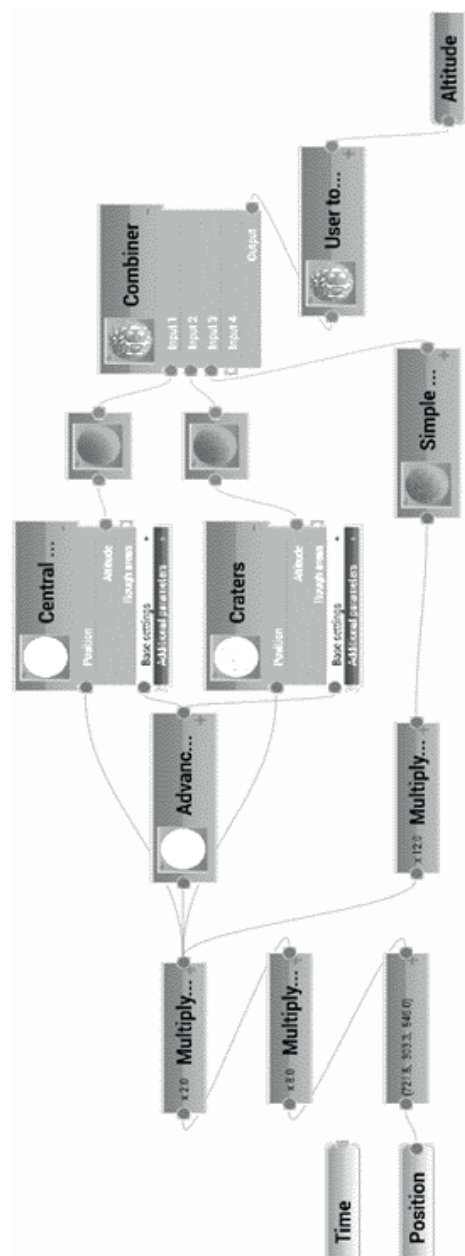


Рис. 2. Вікно Fractal Settings

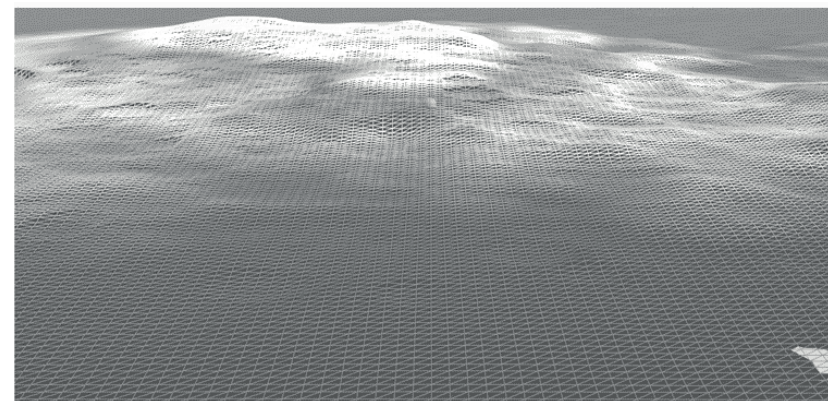


Рис. 3. Вигляд базової сітки з накладеними ефектами

в карті висот (поле висот) і застосовується перед обрахунком освітлення. Ступінь освітленості поверхні залежить від кута падіння світла. На нерівній поверхні ступінь освітленості в кожній точці буде різним. Карта висот задає висоту відповідної точки поверхні за допомогою градацій сірого кольору.

Більшість редакторів (зокрема Maya) мають вбудовані вузли для створення процедурних текстур, наприклад, градієнта, малюнка шахівниці або фрактального шуму. Зміна малюнка процедурної текстури проводиться шляхом редагування її атрибутів. Для текстуровання ґрунту використовуються процедурні текстури Fractal і Noise, що створюють нерегулярний малюнок. Текстура Fractal додана до атрибуту Color (колір). На основі текстури Noise створена карта мікрорельєфу. Процедурна текстура відображається у вигляді графічної блок-схеми пов'язаних між собою вузлів (рис. 4).

Методика моделювання розсипаного каміння. Проблема моделювання розсипаного каміння полягає у необхідності створення каменів в кількості 300–400 штук і розкидати їх у випадковому порядку по певній площі. Бажано, щоб лягли вони у відповідності зі своєю геометрією.

Пропонується методика рішення, заснована на використанні частинок. Системи частинок (Particle Systems) — це сукупність керованих за допомогою параметрів малорозмірних об'єктів, кількість і вид яких різні в кожному кадрі анімації. Розташування частинок залежить від: 1) типу емітера, який їх генерує, 2) від впливів фізичних сил, 3) від геометрії поверхні зіткнення.

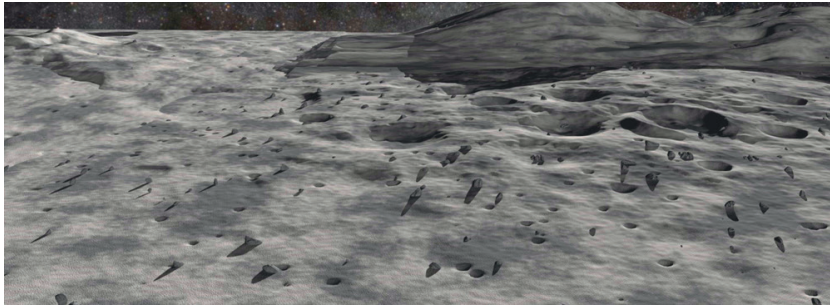


Рис. 5. Місячна поверхня, засіяна камінням

Методика створення заднього плану. Задній план є важливою деталлю сцени. У випадку моделювання місячної поверхні заднім планом є небо, Земля.

Для більшої реалістичності небо втілено за допомогою текстурованого джерела світла. Джерело світла V-Ray Light / Dome — імітація купола, що світиться. V-Ray Dome Light є півсферою, яка виконана параметричною геометрією у вигляді контейнера, що випускає світло з усіх стінок купола всередину. У цьому випадку створюється ефект світіння зірок і відбиття. Текстура джерела світла задається файлом HDRi- формату із зображенням зоряного неба.

Землю можна уявити як сферу з накладеною текстурою. Освітлення Землі має імітувати сонячне. Для цього треба використати два спрямованих джерела світла: перший — не дуже яскравий, потрібен для висвітлювання текстури; другий — дуже яскравий, для створення яскравого контуру.

Результат моделювання представлений на рисунку 6.

Висновки. Використання можливостей комп'ютерів дозволяє перейти на принципово новий рівень проектності. Технологія інтерактивних мультимедіа об'єднує різні художні форми, інтеграція яких перевищує дії, що надаються кожним компонентом окремо, утворюючи не сукупність багатьох середовищ, а єдиний простір, головним елементом якого є людина.

Графічний редактор 3D Maya є зручним середовищем для моделювання складної просторової моделі. Потрібний ландшафт, складений за допомогою сформованих у програмі Vue (E-on software) та імпортованих в сцену Maya террейнів. Моделювання деталей мікроструктури відбувається за допомогою текстурних карт. За допомогою техноло-

гії системи частинок із використанням об'єкта-замінювача створене розсіпане каміння. За допомогою текстурованого джерела світла створено фон зоряного неба.

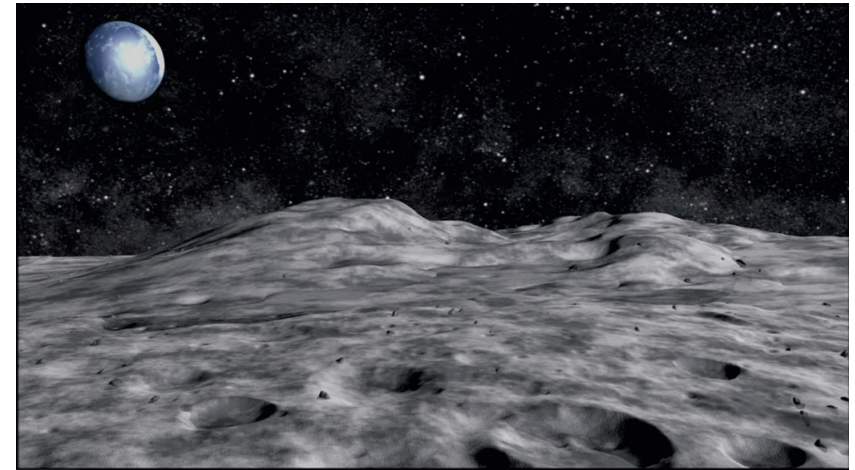


Рис. 6. Візуалізація моделі

Правильний вибір технології створення об'єктів зменшує загальну полігональність моделі, що в свою чергу безпосередньо впливає на швидкість виконання моделювання і рендеринга.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чехлов Д. Визуализация в Autodesk Maya. Mental ray renderer. — М.: ДМК Пресс, 2016. — 696 с.
2. Абрамова О. Ф., Книжко А. В. Исследование методов текстурирования ландшафта со сложным рельефом [Электронный ресурс] // NovaInfo. Ru — 2016. — № 55—3. — Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/8950>.
3. Осипов М. П. Фотореалистичное моделирование и визуализация районов городской среды: учебно-методическое пособие. — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. — 50 с.
4. Кулагин Б. Ю., Яцюк О. Г. 3ds Max в дизайне среды. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 976 с.

ПОБУДОВА ШКАЛИ СКЛАДНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАДАНОГО КЛАСУ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

Мочурад Л. І., Потокій М. С.

У розділі проаналізовано складність розпізнавання об'єктів залежно від типу шуму та значення інтенсивності шуму. Інформаційна система використовує дані, надані користувачем під час використання програми. Потрібно пройти тести на розпізнавання об'єкта з типом шуму та інтенсивністю, встановленими раніше. Аналіз проводиться з накопиченою інформацією з декількох тестів. Результат роботи корисний для оцінки помилок у місцях, де аналіз зображень виконується людиною. Результати дослідження дозволяють оцінити величину помилки та точність висновків, наданих людьми в результаті їх діяльності.

The paper analyzes the complexity of object recognition depending on noise type and noise intensity value. Information system is using the data given from the user during using of the application. The should take tests on object recognition with the noise type and intensity previously set. The analysis is performed with the accumulated information from several tests. The result of the work is useful for evaluation of errors in areas where analyzing images is performed by humans. The results of the research allow to evaluate the error magnitude and the accuracy of conclusions provided by humans as a result of their activity.

Цифрові зображення постають важливим джерелом інформації в сучасному світі. У різних сферах життя людини зображення відіграють велику роль. Наприклад, у медицині зображення у різних ділянках спектру дають змогу дізнаватися детальну інформацію про стан здоров'я пацієнтів, аналізувати та прогнозувати діяльність тих чи інших органів. Також чималого значення зображення набувають у космологічній сфері — дають змогу отримати знання про навколишнє середовище, а також прогнозувати природну ситуацію в світі.

Сфера опрацювання зображень попри свою важливість має деякі недоліки. Зокрема наявність шуму на зображеннях ускладнює їх опрацювання як людиною, так і комп'ютерними системами. Завдяки розвитку ділянки оброблення зображень зараз є можливість використовувати набуті знання для їх покращення та усунення завад. Шуми на зображеннях з'являються на різних етапах їх формування та використання — від реєстрації цифровими носіями до передавання між користувачами. Вони з'являються з різних причин, які інколи усунути важко. Опрацювання зображень дозволяє усунути небажані

дані, підсилити можливість сприйняття їх людиною в процесі своєї діяльності.

Аналіз зображень має широке застосування для:

- аналізу та обробки двовимірних зображень (фотографій) при стисненні, кодуванні, розпізнаванні об'єктів, покращенні якості зображень;

- аналізу та обробки рухомих зображень при стисненні відео, автоматичному контролі якості продукції, стеженні за транспортними засобами;

- біомедичного застосування (аналіз та розпізнавання зображень, які отримані в результаті ультразвукової діагностики (УЗД), магнітно-резонансної томографії (МРТ), комп'ютерної томографії (КТ) та ін. технік.

Вагомим є внесок алгоритмів цифрової обробки зображень у галузь діяльності комп'ютерного бачення. Комп'ютерне бачення часто використовує алгоритми цифрової обробки для досягнення своїх цілей, таких як емуляція людського зору, виявлення дефектів, автоматичне кермування тощо. В комп'ютерному баченні метою роботи комп'ютерів та машин є набуття розуміння вхідних цифрових зображень чи відео з метою автоматизації завдань, виконуваних людиною [2].

Шум — це будь-який недолік на зображенні, спричинений зовнішніми завадами. Він є очікуваним у випадку, якщо зображення передається через мережеві кабелі, безпроводні технології чи отримується з супутника. Шум часто характеризують як небажаний побічний ефект при отриманні зображення [3]. Саме шум на зображенні є фактором, який визначає ефективність тих чи інших методів покращення зображення чи його структуризації, більшість з яких не даватиме бажаних результатів за наявності великого рівня шуму.

Джерела шуму на цифрових зображеннях поділяються на:

- фізичні — пов'язані з природою світла чи оптичними артефактами. Сюди можна віднести шум темного сигналу та фотонний шум. Шум темного сигналу створюється електронними коливаннями, що спричинені накопиченням теплових електронів у сенсорі. Це пов'язано з тепловим шумом і може бути зменшено шляхом охолодження сенсора. Фотонний шум також називають шумом Пуассона, оскільки він підпорядковується розподілу Пуассона;

— механічні — пов'язані з апаратним забезпеченням цифрової камери, набуті під час перетворення електричних сигналів у цифрові дані. Сюди відносять шум з фіксованою схемою, що спричинений недоліками сенсорів [4].

Шум на цифрових зображеннях може виникати на трьох етапах їхньої обробки:

1) на етапі оцифровування зображення виникають шуми, викликані зовнішніми впливами (електромагнітними, тепловими) на сенсори та аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) системи реєстрування;

2) на етапі кодування зображення виникають шуми, викликані квантуванням та стисненням даних з втратами;

3) на етапі передавання можуть виникнути шуми, спричинені частковим спотворенням чи втратою даних в результаті впливу завад.

Залежно від складності обробки шуму на зображенні його можна поділити на адитивний, мультиплікативний та імпульсний шум.

Адитивний шум впливає на всі пікселі зображення. Найчастіше він моделюється Гауссовим розподілом та описується формулою:

$$f(i, j) = s(i, j) + b(i, j), \quad (1)$$

де $f(i, j)$ — вихідне зображення, $s(i, j)$ — зображення без шуму, $b(i, j)$ — шумова частина зображення.

Адитивний Гауссовий шум часто називають гомогенним, що пояснюється тим, що дисперсія шуму є сталою для всіх пікселів, і позиція чи яскравість пікселя не впливає на величину шуму [5].

Мультиплікативний шум описується формулою:

$$f(i, j) = a(i, j)s(i, j) + b(i, j), \quad (2)$$

де $f(i, j)$ — вихідне зображення, $s(i, j)$ — зображення без шуму, $b(i, j)$ — шумова частина зображення, $a(i, j)$ — мультиплікативний фактор, що впливає на кожен піксель.

Вплив мультиплікативного шуму залежить від початкової інтенсивності пікселя: чим більше значення пікселя, тим більшим буде вплив шуму на нього.

Імпульсний шум є випадковими «випадами» бітів із зображення. Найчастіше він спричинений помилками при передачі даних. Щоб позбутися такого виду шуму, найкращий ефект дає медіанний фільтр, що змінює значення відсутнього пікселя на усереднене значення навколишніх пікселів.

Наявність шуму на зображенні значно впливає на можливість зображення бути носієм інформації. На практиці рівень зашумленості сигналів та в тому числі зображень визначають за допомогою співвідношення сигнал — шум.

Співвідношення сигнал — шум (SNR, signal-to-noise ratio) дозволяє визначити якість зображення. Цей показник може визначатися по-різному, залежно від виду сигналу, для якого вираховується. Для зображень ефективним є спосіб визначення цього відношення за формулою:

$$SNR = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{sig}}, \quad (3)$$

де $\mu_{sig} = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} x_{ij}$ — середнє значення яскравості зображення,

$\sigma_{sig} = \sqrt{\frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (x_{ij} - \mu_{sig})^2}$ — стандартне відхилення.

Отже, для визначення співвідношення сигнал — шум необхідно розрахувати середнє значення яскравості зображення. Для цього значення всіх пікселів сумуються та діляться на їх кількість. Знаменником вищевказаної формули є стандартне відхилення. В цьому випадку цей показник вимірює «силу» шуму: чим вище стандартне відхилення, тобто різниця між середнім значенням яскравості та поточним, тим сильніший шум. При збільшенні стандартного відхилення значення SNR зменшується [6].

Розпізнавання об'єкта на зображенні є можливим завдяки різному рівню яскравості фону та розташованому об'єкту. Це означає, що контраст об'єкта має бути значнішим за рівень шуму на зображенні.

Рис. 1 ілюструє здатність людського ока розрізняти об'єкти на зображенні. Залежно від умов спостереження мінімальний контраст, який може помічати людське око, має бути в межах 0,5 % — 5 %. Іншими словами, людське око може розрізняти від 20 до 200 відтінків сірого між найбільш чорним та найбільш білим. Точне число залежить від багатьох факторів, таких як яскравість зовнішнього освітлення, відстань між двома регіонами, що порівнюються, та спосіб формування зображення [7].

Здатність людини розпізнавати об'єкти на кольоровому зображенні визначається яскравістю та співвідношенням сигнал — шум за всіма каналами зображення. В представленій роботі для проведення

дослідження використовується кольорове RGB-зображення, на яке накладається шум певного виду та інтенсивності, а також об'єкт, що підлягає розпізнаванню.

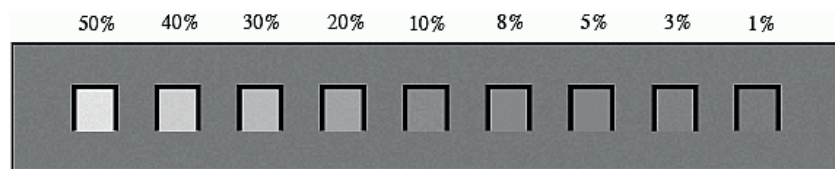


Рис. 1. Контрасти зображення, що здатне сприймати людське око

Обробка цифрових зображень широко використовується у різних галузях науки, таких як медицина — аналіз рентгенівських знімків, магнітно-резонансна томографія, комп'ютерна томографія, космологія — збір інформації з супутників, їх передача та аналіз. Шум на зображеннях супроводжує будь-який з етапів опрацювання зображення — від їх отримання до сегментації та розпізнавання об'єктів.

Аналіз існуючих аналогів. Існує чимало як безкоштовних, так і платних програмних засобів, які здійснюють обробку зображень, зокрема працюють з шумом. Такі налаштування є ефективними саме для обробки зображень, зменшення рівня шумів. Проте вони не дають можливості проаналізувати надане зображення та оцінити складність розпізнавання об'єктів на ньому. Найбільш популярними наявними рішеннями є:

1) Adobe Photoshop — чи не найпотужніший засіб для роботи з цифровими зображеннями. Він дозволяє очищувати зображення від шуму різними способами, зокрема з використанням плагінів.

Це програмне рішення дозволяє застосовувати алгоритми очищення, задаючи власні параметри, вказуючи рівень шуму та освітленості. Adobe Photoshop дозволяє застосовувати різноманітні техніки та засоби для обробки зображень, зокрема для роботи з шумом. Проте він не надає достатньої інформації про рівень шуму та не дозволяє оцінити спотвореність наданого зображення. Тому цей продукт є корисним для обробки зображень, але для їх аналізу він не є ефективним.

2) ERDAS IMAGINE — растровий графічний редактор та програмний продукт, передусім призначений для обробки даних дистанційного зондування. Він дозволяє обробляти, виводити на екран монітора та готувати для подальшої обробки растрові зображення. Це

програмне рішення дозволяє здійснювати обробку картографічних даних. Прикладом аналізу зображень є розробка просторової моделі обробки даних, ортотрансформування, створення мозаїки із зображень, отримання стереозображень.

3) MacSADIE — налаштування для Macintosh, що дозволяє обробляти як кольорові, так і зображення в сірих тонах для наукових, інженерних робіт та дослідницької діяльності. Він містить біля 50 команд для аналізу зображень, просторової фільтрації, багатоспектральної обробки та класифікації. MacSADIE пропонує широкий вибір для аналізу та обробки цифрових зображень.

Описані програмні рішення дозволяють здійснювати широкий спектр операцій з обробки зображень та, зокрема, для роботи з приглушення рівня шуму. Наші дослідження дозволяють отримати інформацію про зображення та складність його сприймання людиною залежно від виду та інтенсивності шуму. Така інформація може бути корисною для застосування у різних сферах, де людина стикається з роботою з цифровими зображеннями.

Постановка задачі. Метою роботи є проектування та розробка системи, яка дозволить отримати інформацію про залежність складності виявлення об'єктів на зображенні залежно від шумової компоненти зображення. Така інформація може бути корисною для оцінки можливості використання зображення для певної сфери діяльності, маючи дані про характер завад на зображенні.

Весь обсяг роботи над системою можна розділити на три загальні завдання:

- 1) визначення способів накладання шуму на зображення;
- 2) формування методів збору інформації;
- 3) опрацювання зібраної інформації та формування висновків.

Для вирішення задачі визначення способів накладання шуму на зображення необхідно використати алгоритми цифрової обробки сигналів. Необхідно дослідити, які умови та причини викликання певних видів шуму на зображенні.

Формування методів збору інформації — основна частина роботи, суть якої полягає в тому, щоб розробити графічний користувацький інтерфейс, який дозволить шляхом проходження тестів накопичити інформацію для подальшого аналізу. До такої інформації належить кількість розпізнаних об'єктів на зображенні протягом тривалості тесту з використанням обраного виду шуму та його інтенсивності. Розроблене середовище тестування має бути

простим та зручним у використанні, інтуїтивно зрозумілим для користувача.

Кінцевою метою розробленої системи є подання інформації у вигляді числових показників. Графічне зображення отриманих результатів аналізу дасть змогу швидше зрозуміти висновки щодо впливу шумів на здатність сприйняття зображення людиною.

Інформаційне та математичне забезпечення. Для вирішення поставленої задачі необхідно розділити завдання роботи на наступні складові (етапи):

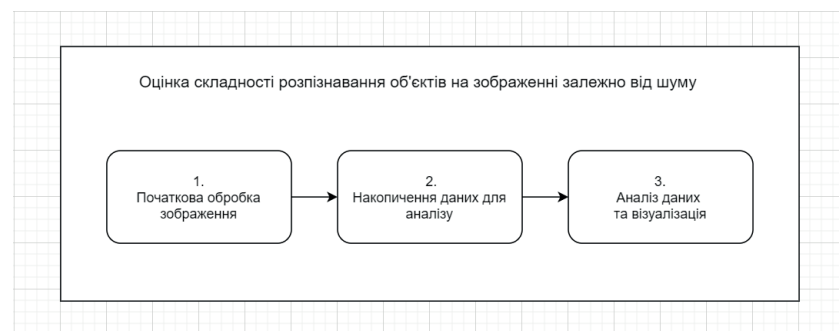


Рис. 2. Етапи здійснення дослідження

Організація збору даних є основною частиною роботи, оскільки саме вона відповідає за безпосередню взаємодію з користувачем для отримання необхідної інформації. Для збору даних необхідна програма-тренажер — система, яка дозволить користувачу проходити тести з розпізнавання об'єктів на зображенні.

Організація збору даних передбачає такі етапи:

- робота з зображенням;
- накладання об'єкта на зображення — операція, вхідною інформацією якої є початкове зображення, на яке необхідно накласти об'єкт;
- основне зображення — фонове зображення, що слугує основою для накладання об'єкту;
- об'єкт — це однотонне переважно червоного кольору зображення, яке менше від основного мінімум у 10 разів;
- пошкодження зображення — процес накладання шуму визначеного виду та інтенсивності на зображення з об'єктом;
- проходження тесту — взаємодія користувача з графічним інтерфейсом програми.

Тест — обмежений в часі процес, за період дії якого користувач розпізнає об'єкти на зображенні з обраним видом шуму та інтенсивністю.

Аналіз даних та візуалізація передбачає опрацювання отриманої інформації про кількість розпізнаних об'єктів на зображенні за певний період часу. Візуалізація даних є кінцевим етапом роботи, що дозволяє наочно оцінити вплив конкретного виду шуму на сприйняття зображення залежно від його інтенсивності.

Шуми — небажана інформація, що міститься на зображенні. Вони проявляються у вигляді випадкових стрибків інтенсивності пікселів та призводять до складнощів при аналізі. Шуми можуть виникати на різних етапах отримання зображень, проте часто є спричиненими фізичними недоліками при реєстрації. Зокрема фотонний шум є наслідком дискретної природи світла, що представляє потік дискретних частинок фотонів. Оскільки фотони потрапляють на поверхню фотоприймача невпорядковано, їх кількість змінюється і породжує шум, що залежить від шуму Пуассона [2].

Шум темного сигналу визначається термоелектронною емісією. Шум зчитування виникає при виведенні сигналу з матриці і його перетворенні в напругу з подальшим посиленням.

Шум скидання пов'язаний з виведенням наявного заряду з вузла-детектора перед введенням в нього сигнального заряду. Для цієї операції використовується транзистор скидання. Оскільки електричний рівень скидання залежить тільки від температури і ємності вузла, то це і є причиною шуму [7].

Моделювання різних видів шуму дозволяє отримати спотворене зображення, на основі якого можна розробити методи запобігання утворенню шуму та покращення якості зображення при реальній необхідності. Серед найбільш поширених моделей шуму є: моделі Гаусса, Пуассона, імпульсна модель та інші.

Модель шуму Гаусса описується такою щільністю розподілу:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

де x — значення яскравості, μ — середнє значення випадкової величини, σ — середньоквадратичне відхилення [1].

Найчастіше гауссовий шум з'являється на цифрових зображеннях на етапі отримання зображень. Це може бути шум сенсора, спричинений слабким освітленням або високою температурою.

В результаті додавання на зображення шуму Гаусса з середнім 0 та відхиленням 100 було отримано такий результат:

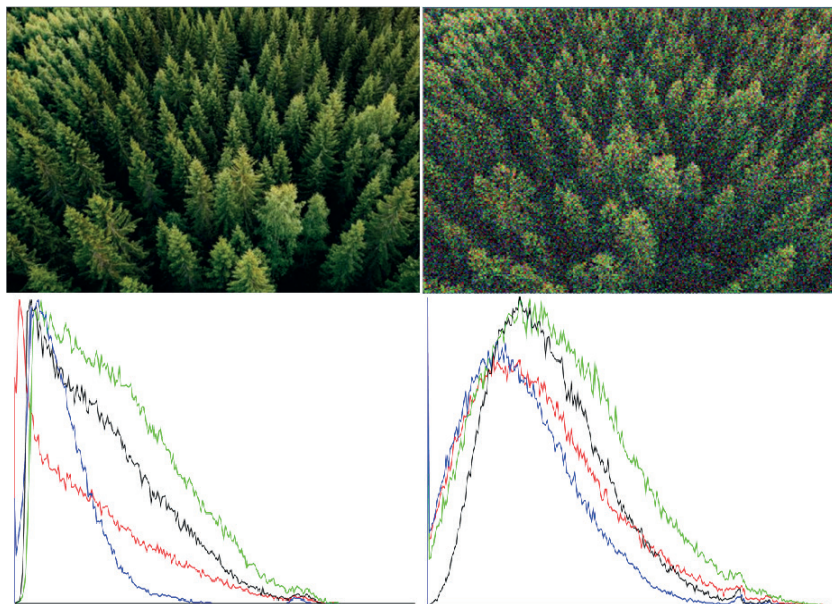


Рис. 3. Гістограма зображення з накладеним шумом Гаусса

Гауссовий шум на зображеннях проявляється у вигляді точок випадкової інтенсивності, розміщених по всій площі.

Імпульсний шум проявляється у вигляді чорних та білих пікселів, що відповідають місцям втрати інформації при передаванні через канали зв'язку. Якщо імпульсний шум є біполярним, тобто присутні елементи як максимальної, так і мінімальної інтенсивності, та особливо якщо вони мають майже однакову ймовірність, то він схожий на крупинки солі та перцю, розсипані по зображенню. Саме з цієї причини імпульсні завади ще називають шумом «сіль та перець» [1].

Наклавши на вихідне зображення імпульсний шум, отримуємо такий розподіл інтенсивностей пікселів (рис. 4).

Проаналізувавши отримані гістограми, можна зробити такі висновки. Шум Гаусса зсуває гістограму зображення у відповідності з законом розподілу. Всі три канали зображення були опрацьовані незалежно, що привело до появи завад різного кольору. Інтенсивність більшості пік-

селів на початковому зображенні була близькою до 0, а у випадку додавання завад за законом Гаусса — збільшилася за всіма каналами.

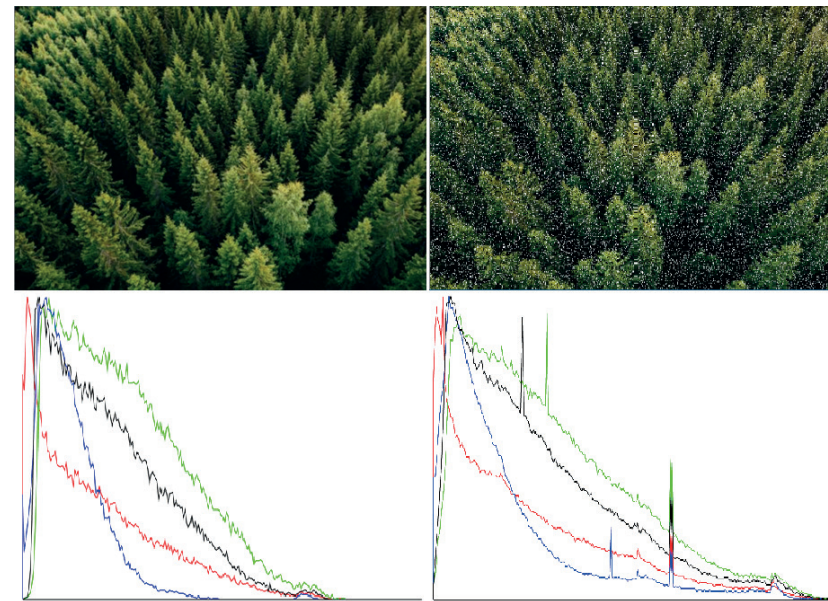


Рис. 4. Гістограма зображення з накладеним імпульсним шумом

Імпульсний шум залишає попередній вигляд гістограми, проте додає випадкові піки на зображенні. Значення деяких пікселів стають або максимальної інтенсивності, або мінімальної, що можна легко побачити на гістограмі.

Дослідження складності розпізнавання об'єктів заданого класу на зображенні базується на таких вхідних даних:

- вид шуму;
- інтенсивність шуму;
- кількість розпізнаних об'єктів на зображенні.

Вид шуму може бути таким, що підпорядковується закону розподілу Гаусса, або ж імпульсним шумом.

Інтенсивність шуму залежить від виду шуму. Якщо шум підпорядковується закону розподілу Гаусса, то інтенсивність визначається стандартним відхиленням — чим більше стандартне відхилення, тим шум на зображенні густіший.

Значення кількості розпізнаних об'єктів на зображенні визначається шляхом проходження тесту людиною, коли людина шукає об'єкти на зображенні. За допомогою цієї величини вираховуються числові показники складності, як середнє значення кількості знайдених об'єктів.

Вихідними даними системи аналізу складності розпізнавання об'єктів заданого класу є відносний показник складності, що залежить від кількості знайдених об'єктів.

Оскільки у розробленому додатку значення інтенсивності зображені у відсотках, необхідно вказати відповідність між значеннями у відсотках та числовими показниками. Це можна зробити за допомогою таблиці:

Таблиця 1

Відповідність між значеннями у відсотках та числовими значеннями

Gaussian noise		"Salt and Pepper" noise	
%	value	%	value
0	0	0	0
25	100	25	20
50	150	50	30
75	200	75	40
100	250	100	50

Розглянемо вихідні дані, сформовані на основі проведених тестів для Гауссового шуму. Табл. 1 показує вирахований відносний показник складності для кожного рівня інтенсивності. Для того, щоб цей показник вирахувати, спочатку вираховується середня кількість розпізнаних об'єктів, потім це значення нормалізується шляхом ділення на максимальне. Після цього відносний показник складності обчислюється за формулою:

$$\text{Відносний показник складності} = (1 - \text{Нормалізоване значення}) * 100 \%$$

За результатами дослідження можна зробити висновок, що зображення з найбільшим значенням інтенсивності Гауссового шуму має показник складності розпізнавання 55,21 % (табл. 2), тобто об'єкти на

Таблиця 2

Результати оцінки складності для Гауссового шуму

Вид шуму	Інтенсивність (%)	Середня к-сть розпізнаних об'єктів	Нормалізоване значення	Відносний показник складності (%)
Гауссовий	0%	21,1	1,00	0,00
	25%	17,8	0,84	15,64
	50%	15,26	0,72	27,66
	75%	11,2	0,53	46,92
	100%	9,45	0,45	55,21

Таблиця 3

Результати оцінки складності для шуму «Сіль та перець»

Вид шуму	Інтенсивність (%)	Середня к-сть розпізнаних об'єктів	Нормалізоване значення	Відносний показник складності (%)
"Сіль та перець"	0	21,1	1,00	0,00
	25	20,4	0,97	3,32
	50	14,43	0,68	31,62
	75	14,70588235	0,70	30,30
	100	11,92857143	0,57	43,47

такому зображенні найважче виявляються людським оком. Для Гауссового шуму інтенсивність 100 % відповідає значенню стандартного відхилення 200. З поданої таблиці можна побачити, що кількість розпізнаних об'єктів зменшується зі зростанням інтенсивності шуму.

На основі поданих в таблиці 2 даних можна побудувати шкалу складності розпізнавання об'єктів заданого класу на зображення залежно від шуму. Побудована шкала подана на рис. 5.

Результати дослідження над моделлю шуму «Сіль та перець» можна подати наступною таблицею 3.



Рис. 5. Шкала складності розпізнавання для Гауссового шуму

Проведене дослідження над моделлю шуму «Сіль та перець» показує, що для найбільшої інтенсивності зі значенням (100 %) відносний показник складності відповідає значенню 43,47 %. Найбільш складним для розпізнавання є зображення з найвищою інтенсивністю шуму. Незначне коливання відносного показника складності присутнє для інтенсивності шуму зі значенням (60 % та 80 %), що може бути спричинене різною кількістю пройдених тестів.

За результатами дослідження було побудовано таку шкалу (рис. 6).



Рис. 6. Шкала складності розпізнавання для шуму «Сіль та перець»

Для порівняння відносного показника складності між різними видами шуму (Гауссовий і «Сіль та перець») було побудовано таблицю:

Таблиця 4

Порівняння Гауссового шуму та шуму «Сіль та перець»

Вид шуму/Інтенсивність шуму	Гауссовий	«Сіль та перець»
0 %	0,00 %	0,00 %
25 %	15,64 %	3,32 %
50 %	27,66 %	31,62 %
75 %	46,92 %	30,30 %
100 %	55,21 %	43,47 %

Для шуму Гаусса можна помітити більш прямолінійне зростання відносного показника інтенсивності, ніж для шуму «Сіль та перець». За найбільших інтенсивностей шуму модель Гаусса показує вищу складність розпізнавання об'єкта, аніж шум «Сіль та перець». Такий результат можна обґрунтувати специфікою самої моделі шуму: шум Гаусса накладається на всі 3 канали зображення, що спричиняє «затирання» (зниження яскравості) об'єкта, що розпіз-

нається, в той час як модель шуму «Сіль та перець» не впливає на яскравість об'єкта, що розпізнається, а тільки може показати «випадаючі» пікселі.

Результати проведеного дослідження можуть бути вагомими для галузей безпосередньої взаємодії людини з цифровими зображеннями, такими як медичні, в яких використовується діагностика з допомогою цифрових зображень. Отримані висновки можуть бути використані для розрахунку можливості похибки та залежності між зашумленістю зображення та величиною похибки.

Моделювання та проектування системи є необхідним заходом для того, щоб уникнути надмірної складності в побудованій системі. Чітке визначення вимог та засобів для розробки системи на етапі проектування дозволяє вирішити можливі проблеми до початку розробки інформаційної системи. Концепція моделювання може бути застосована до дизайну програмного продукту та його розробки двома способами:

1. дизайн може зображатися абстрактною моделлю системи, яка розробляється;
2. дизайн та розробка можуть бути представлені ще більш абстрактними моделями для простоти аналізу [9].

Проектування системи здійснюється шляхом побудови концептуальної моделі системи, яку необхідно розробити.

Висновки. Використання зображень для передачі інформації в сучасному світі користується значним попитом. Найбільш вагомою галуззю, в якій вони використовуються, є медицина. Саме там від зображення, отриманого під час дослідження пацієнта, залежить діагноз та подальше лікування. Найменші завади на зображенні можуть спричинити великі труднощі у роботі лікаря. У медичній галузі використовують різні способи отримання зображення — магнітно-резонансна томографія (МРТ), комп'ютерна томографія (КТ), рентгенівські промені. Значною мірою шуми на зображенні залежать від сенсора, за допомогою якого воно реєструвалось.

Шуми на зображенні можуть завдати збитків у різних галузях, оскільки зображення є широко використовуваними засобами передачі. Саме тому доцільним є здійснення аналізу можливих похибок при опрацюванні зображення. У роботі було здійснено порівняння складності розпізнавання об'єктів на зображенні залежно від типу шуму та його інтенсивності. Так, Гауссова модель шуму є найбільш подібна до зображень, спотворених на етапі реєстрації при несправ-

ностях сенсора (наприклад, перегрів), а імпульсна модель «Сіль та перець» — до помилок на етапі передачі даних.

Для проведення дослідження було побудовано систему, що дозволяє накопичити дані для аналізу. Процес накопичення даних полягає у проходженні тестів тривалістю 30 секунд з обраними типом шуму та його інтенсивністю. Після накопичення даних можна проводити їх аналіз для формування висновків.

У результаті проведеного дослідження було з'ясовано, що шум Гаусса спричиняє вищу складність розпізнавання об'єктів на зображенні, ніж шум «Сіль та перець». Також зі зростанням інтенсивності шуму Гаусса лінійно зростає і складність розпізнавання. Такий результат може бути зумовленим тим, що при спотворенні зображення Гауссовим шумом об'єкт, що підлягає розпізнаванню, також зазнає ефект розмитості, оскільки псується всі три канали зображення. При наявності шуму «Сіль та перець» помітні тільки випадуючі пікселі, а сам контур об'єкта спотворень не зазнає.

Отримані результати дослідження є актуальними для використання у медичній галузі, оскільки там зображення широко використовуються для діагностики пацієнтів. Також цифрові зображення використовуються в астрономії для космології для дослідження небесних тіл. Результати дослідження можуть бути використані для оцінки похибок при опрацюванні цифрових зображень, зокрема розпізнаванні об'єктів на них, що підкреслює актуальність проведених експериментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — Москва: Техносфера, 2005. — 1072 с. — ISBN 5-94836-028-8.
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-image-processing-and-computer-vision/>
3. A Novel Approach to Identify the Presence of Noise in Under Water Sea Images [Електронний ресурс] / N. Jayachandra, IIdr. A. R. Nadira Banu Kamal. — Режим доступу: <http://ijarcsst.com/conference/first/conf82.pdf>.
4. Julliard T., Nozick V., Talbot H., Image Noise and Digital Image Forensics. IWDW 2015, Oct 2015. Tokyo, Japan. — P. 3—17.
5. Shapiro L., Stockman J. Computer vision. — М.: Bynom, Laboratory of Knowledge, 2006. — 716 p.
6. Bansal M., Kumar M., Kumar, M. 2D Object Recognition Techniques: State-of-the-Art Work. *Arch Computat Methods Eng.* — 2020. — Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09409-1>

7. Jingwei Li, Hua Yang, Lin Chen, Cheng Zhi Image semantic segmentation optimization by Conditional Random Field integrated with object clique potential. *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2017 IEEE International Symposium on.* — 2017. — P. 1–6, 2017.
8. Data Structures for Image Analysis c Bryan S. Morse, Brigham Young University, 1998–2000. Last modified on Monday, January 10, 2000 at 9:30 PM [Electronic resource]. — Access mode: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/data-structures.pdf
9. Gruzman I. S., Kirichuk V. S. etc. Digital image processing in information systems. Novosibirsk: NGTU Publishing House, 2002. — 352 p.

ВИКОРИСТАННЯ 3D-СКАНЕРІВ НІГ

**Романюк О. Н., Бажан В. М., Вяткін С. І.,
Михайлов П. І., Чехмestрук Р. Ю., Перун І. В.**

Наведено аналіз використання тривимірного моделювання ніг з застосуванням 3D-сканерів. Показано, що такі технології ефективно можуть бути задіяні в медицині для діагностики захворювань, для проектування та виготовлення устілок, у галузі протезування, для підбору та виготовлення взуття.

Розглянуто особливості використання 3D-сканерів для зазначених застосувань. Сформовано вимоги для 3D-сканування. Наведено характеристики 3D-сканерів для ніг. Проаналізовано ринок продажу.

An analysis of the use of three-dimensional modeling of the legs with the use of 3D-scanners. It is shown that such effective technologies can be used in medicine for disease diagnosis, for the design and manufacture of insoles, in the field of prosthetics., For the selection and manufacture of footwear.

Features of use of 3D-scanners for the specified applications are considered. Generate requirements for 3D scanning. The characteristics of 3D foot scanners are given. The sales market is analyzed.

Стопа — це найнижча точка людської ноги. Форма стопи поряд з природними системами балансу тіла робить людей здатними не тільки ходити, але і бігати, підніматися і здійснювати інші види діяльності. Комплексна структура стопи містить понад 100 сухожиль, зв'язок і м'язів, які переміщують багато суглобів, в той час як кістки забезпечують структуру.

Зараз більше 90 % міських жителів нашої країни мають проблеми зі стопами, і не просто слабкі порушення, а больові деформації, за-

пальні процеси в суглобах, швидку стомлюваність від ходьби, варикоз, судоми і спазми, травми.

Важливим питанням є розробка устілок з використанням тривимірного сканування [1–7]. Такий підхід є значно ефективнішим порівняно з іншими.

На рис. 1 наведено основні області використання устілок.

Існує шість показників просторових характеристик стопи [6], наприклад, довжина стопи, довжина поздовжньо-серединного зводу стопи, довжина поздовжньо-бокового склепіння стопи, ширина в діагональній площині, ширина в горизонтальній площині і ширина п'яти.

В таблиці 1 наведено просторові характеристики стопи.

Комп'ютерна діагностика стоп — це сучасний метод виявлення патологій стопи і оцінки правильності розподілу навантаження.

На рис. 2 наведено зображення 3D сканера ніг та отриману тривимірну модель.

Отримана тривимірна модель може використовуватися для медичних досліджень, зокрема виявити плоскостопість та інші деформації; побачити наявність різниці в довжині стоп; оцінити правильність навантаження в положенні стоячи і під час ходьби; діагностувати наявність захворювань суглобів і хребта; правильно підібрати коригувальні вироби для різного типу взуття; провести тривалий моніторинг, перевірити ефективність лікування.

Найбільше поширення тривимірне моделювання ніг (стопи) отримало для медичної діагностики та лікування, підбору взуття, протезування, виготовлення устілок.

3D сканер [1–3] — спеціальний безконтактний пристрій для отримання високоточних тривимірних моделей ніг.

Пристрої для 3D-сканування [4] дозволяють зняти багато обмежень, які є у традиційного вимірювального обладнання. Такі звичні для метролога інструменти, як шаблони, мікрометри, штангенциркулі коштують недорого, але відрізняються суб'єктивністю показань і не підходять для складних вимірювань. Координатно-вимірювальні машини мають більшу точність, ніж 3D-сканери, але вони дорожче, більш габаритні і вимагають спеціальної підготовки оператора.

Дуже важливе значення 3D-сканування полягає в тому, що воно абсолютно нешкідливе. Рентген і МРТ використовують випромінювання для створення зображень тіла. Але це завжди несе в собі ризик. З 3D-сканером не існує такого ризику. Положення об'єкта фіксується

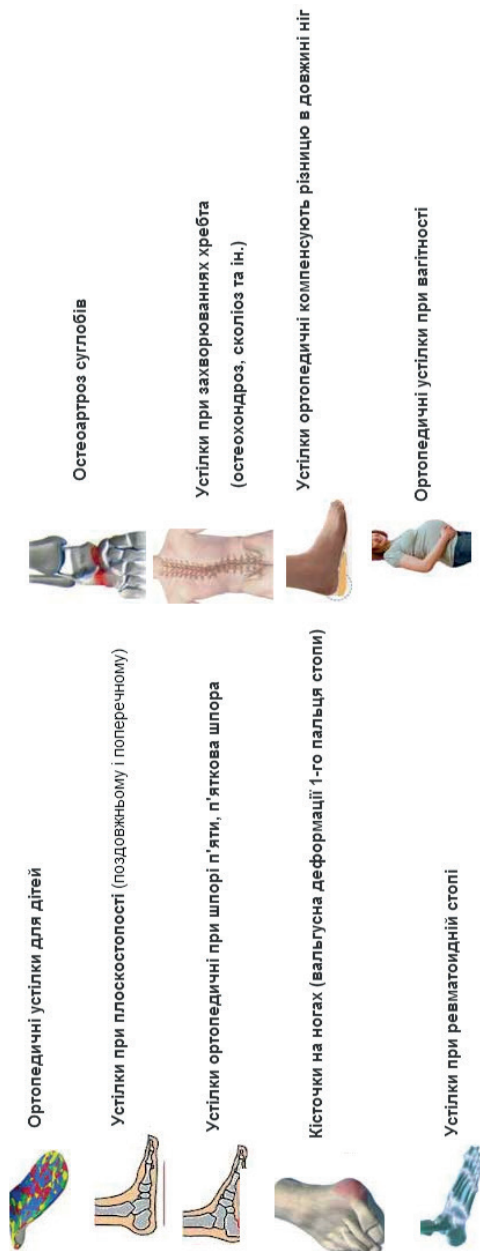


Рис. 1. Основні області використання устілок

Таблиця 1

Визначення просторових характеристик стопи

Просторова характеристика	Визначення
Довжина стопи	Пряма від крайньої точки п'ятки до найвищої точки найдовшого пальця. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Довжина поздовжньо-серединного зводу стопи	Пряма від крайньої точки п'ятки до плюснової великоберцової точки стопи. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Довжина поздовжньо-бокового склепіння стопи	Відстань від кінцевої точки п'ятки до плюснової малоберцової точки стопи. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Ширина в діагональній площині	Відстань від плюснової великоберцової точки стопи і плюснової малоберцової точки стопи. Проектування виконується на стоячу поверхню
Ширина в горизонтальній площині	Горизонтальна відстань між плюсновою великоберцовою точкою стопи і плюсновою малоберцовою точкою стопи
Ширина п'яти	Ширина 16 % від усієї довжини стопи прямо від крайньої точки п'ятки до пальців



Рис. 2. Зображення 3D-сканера ніг та отримана тривимірна модель

в просторі. Дані реєструються у віртуальній реальності за допомогою фотографій, світла або лазерного променя.

У найближчі роки світовий ринок [9] 3D-сканерів буде мати швидкий розвиток. Так, у період з 2019 по 2023 рік середньорічний темп зростання в складних відсотках (показник CAGR) про-

гнозується на рівні 21,2 %. У результаті, до 2023-го обсяг перевищить 635 млн одиниць. У 2023 році видатки в області 3D-сканерів досягнуть практично \$ 3,0 млрд. Аналітики IDC стверджують, що швидкому розвитку галузі сприяють кілька чинників. Це розширення функціональності пристроїв і покращення супроводжувального програмного забезпечення. Крім того, поступово знижується вартість обладнання. Нарешті, йдеться про розширення сфери застосування 3D-сканерів.

Щоб отримати уявлення про динаміку змін в будові стопи, рекомендується проходити комп'ютерну діагностику стоп регулярно: — дітям — кожні 4 місяці, дорослим — кожні 4–6 місяців. Основними показаннями для комп'ютерної діагностики є: ризик виникнення плоскостопості в зв'язку з вагітністю, фізичними перевантаженнями і спадковою схильністю; наявність захворювань суглобів, таких як артроз, артрит, остеохондроз; цукровий діабет; наявність зайвої ваги; реабілітація після серйозних травм гомілковостопного суглоба; регулярна ходьба на каблуках; професійне заняття спортом; скарги на біль, тяжкість і високу стомлюваність ніг; розвиток стоп в дитячому віці.

Тривимірне сканування може бути статичним, коли пацієнт стоїть, і динамічним, коли він крокує на місці. Платограма з розшифровкою видається лікарю для діагностики та пацієнту, результати зберігаються в базі, що дозволяє при повторному зверненні провести порівняльний аналіз стану стопи;

Використовуючи дані 3D-сканування й аналізу тиску стоп можна прогнозувати розвиток захворювання. Це дозволяє лікарям вибирати правильний метод лікування і в подальшому його контролювати.

Вимоги для 3D-сканування:

1. При скануванні стопи повинні враховуватися індивідуальні фактори рухливості і больові пороги чутливості стопи. Завжди потрібно пам'ятати, що стопа — це не жорсткий об'єкт!
2. Загальний час сканування має бути вкрай мінімальним, так щоб звести до мінімуму всі тремтіння і погойдування людини.
3. Фактична точність сканування повинна бути в районі 0,15–0,2 мм з урахуванням тремтіння людини. Цієї точності цілком достатньо.

Використовуючи дані 3D-сканування й аналізу тиску стоп, можна прогнозувати розвиток захворювання. Це дозволяє лікарям вибирати правильний метод лікування і в подальшому його контролювати.

При тривимірному скануванні важливо записувати та відображати розподіл тиску (рис. 3) по стопі пацієнта в стані стоячи або при ходьбі, знаходити аномалії й асиметрії стоп, визначати ділянки з високим навантаженням, що призводить, в кінцевому підсумку, до хворобливих відчуттів в колінних і тазостегнових суглобах.



Рис. 3. Розподіл тиску

На підставі комп'ютерної діагностики стоп лікар ортопед-травматолог допомагає підібрати пацієнтові ортопедичне взуття, а також приймає замовлення на виготовлення індивідуальних устілок або тупора.

Динамічна діагностика дозволяє точно визначити розподіл навантаження на стопу клієнта під час руху. Навантаження, що динамічно перетікає від п'яткової відділу до переднього відділу стопи, показує можливі відхилення не тільки в стопах, але і в колінах, стегнах і навіть хребті.

Останнім часом виробники взуття, ортопедичні салони і медичні центри все частіше впроваджують в свій робочий процес 3D-сканери для ніг для створення тривимірних моделей, які, на відміну від двомірних зображень, дають повне уявлення про проблеми та потреби клієнта або пацієнта і надають більш широкий інструментарій для розробки взуття.

З'явився ефективний інструмент для зменшення кількості повернень з 40 % до 15–20 %. Це середній показник, в якому гарантовано переконалися на власному досвіді магазини в багатьох країнах, де використовується технологія. Магазин може запропонувати клієнтам безпрецедентну можливість купувати з упевненістю, що розмір обов'язково підійде. Тепер покупці зможуть заощадити завдяки безпомилковому вибору до 15 % від вартості замовлення.

Переваги використання тривимірного моделювання для підбору взуття: клієнту достатньо безконтактно просканувати свою ногу, щоб отримати високоточну індивідуальну тривимірну модель; легкість і висока швидкість визначення правильного розміру; гарантія зручності навіть для маленьких дітей, які ще не вміють розмовляти; точне визначення ширини халяви в процесі замовлення жіночих чобіт; економія часу, оскільки взуття не доведеться відправляти назад в магазин; можливість користуватися сервісом online і offline.

Результат сканування може використовувати в подальшому базу даних для зіставлення з існуючими параметрами, що допомагає скласти точні рекомендації у підборі взуття. Дані сканування відправляються клієнту електронною поштою і стають основою для майбутніх маркетингових і торговельних можливостей

Отримане сканування дозволяє створити точну цифрову модель стопи, на основі якої можуть бути виготовлені індивідуальні ортопедичні устілки.

Після сканування на екрані комп'ютера стопи відображаються у всіх трьох проекціях (рис. 4). У тому числі зони підвищеного навантаження всіх відділів стоп, поздовжнє і поперечне сплюснення, ступінь стиснення переднього відділу, деформацію пальців і т. д. Виходячи з цього, можна поставити діагноз і порекомендувати пацієнту, які йому потрібні устілки.

Виробники взуття намагаються знайти оптимальний варіант форми устілки і колодки для виготовлення взуття, але стопа кожної людини унікальна. Стандартне взуття добре підходить людям без відхилень у будові стоп, але їм може знадобитися коригування положення стопи в черевик.

Для зниження рівня дискомфорту та компенсації положення стопи в черевик розробляють ортопедичні устілки. Одні з них продаються готовими, розрахованими на середньостатистичну стопу з тим чи іншим відхиленням, інші ж можуть виготовлятися індивідуально.

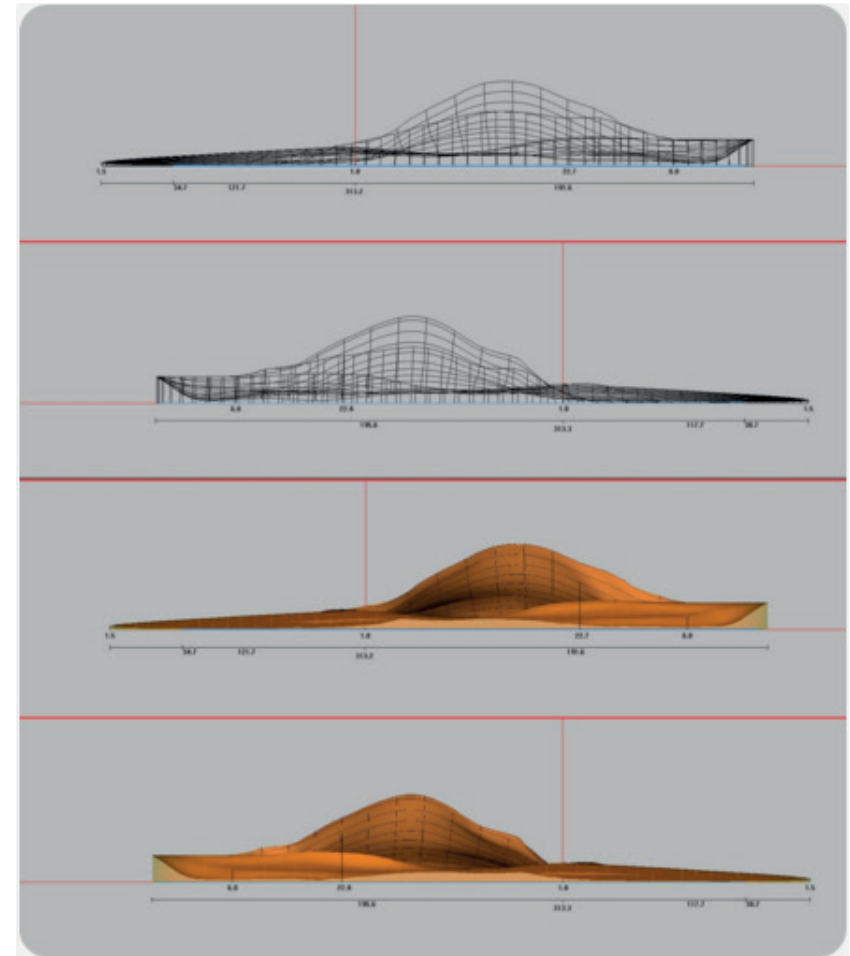


Рис. 4. Розробка устілок

Незаперечною перевагою 3D-технологій для розробки устілок є те, що вони виготовляються індивідуально під ногу пацієнта, і комфорт від носіння буде помітний відразу ж після установки устілки в черевик.

Ця технологія, крім створення зручних і комфортних устілок, дозволяє проводити лікування та робити устілки, в яких закладено коригувальний ефект для компенсації дефекту стопи.

Пацієнт приходить до клініки або ортопедичного салону, де і відбувається 3D-сканування ноги.

Участь лікаря в цей момент не потрібна. Сканування може здійснюватися силами співробітників ортопедичного салону відповідно до інструкції. Нічого складного в цій процедурі немає — пацієнт розміщує спершу одну ногу на сканер, оператор контролює правильність розміщення, а після пацієнт змінює ногу і процес повторюється для другої ноги.

Отримані на першому етапі файли потрапляють до лікаря, і він, відповідно до плану лікування, приступає до моделювання майбутньої устілки.

При моделюванні необхідно задати такі базові параметри, як товщина і ширина устілки, її висота. В основному це залежить від типу взуття, під який проектуємо устілку. Універсального рішення тут немає, під спортивне взуття повинна бути одна устілка, а під класичні туфлі — інша.

Відбувається оцінка прилягання устілки до ноги в поперечному перерізі.

Багато функцій програми автоматизовані, але водночас залишається можливість ручного коригування параметрів устілки по баченню лікуючого лікаря. При створенні устілки лікар в будь-який момент може оцінити стан ноги на устілці та її прилягання до неї, а також внести коригування та редагування.

Наведемо найвідоміші фірми [7; 9; 10], які спеціалізуються на виготовленні сканерів.

Компанія Willaston Physio and Rehab представила інноваційний інструмент [10], який дозволить більш точно і поглиблено проводити аналіз ортопедичних захворювань. Новий сканер, який отримав назву Dynamic 3D Scanner Foot (рис. 5), призначений для сканування ніг, що дозволить полегшити діагностику різних хвороб опорно-рухового апарату, в тому числі стоп ніг.

Виходячи з даних, отриманих за допомогою цього пристрою, лікар зможе визначити оптимальні методи лікування, а також підібрати спеціальні устілки, які зможуть боротися з різним спектром недуг.

Dynamic 3D Scanner Foot дозволить:

знайти аномалії й асиметрію ніг;

визначити області високого тиску на поверхні стоп, що призводить до больових відчуттів в колінах і тазостегновому суглобі;

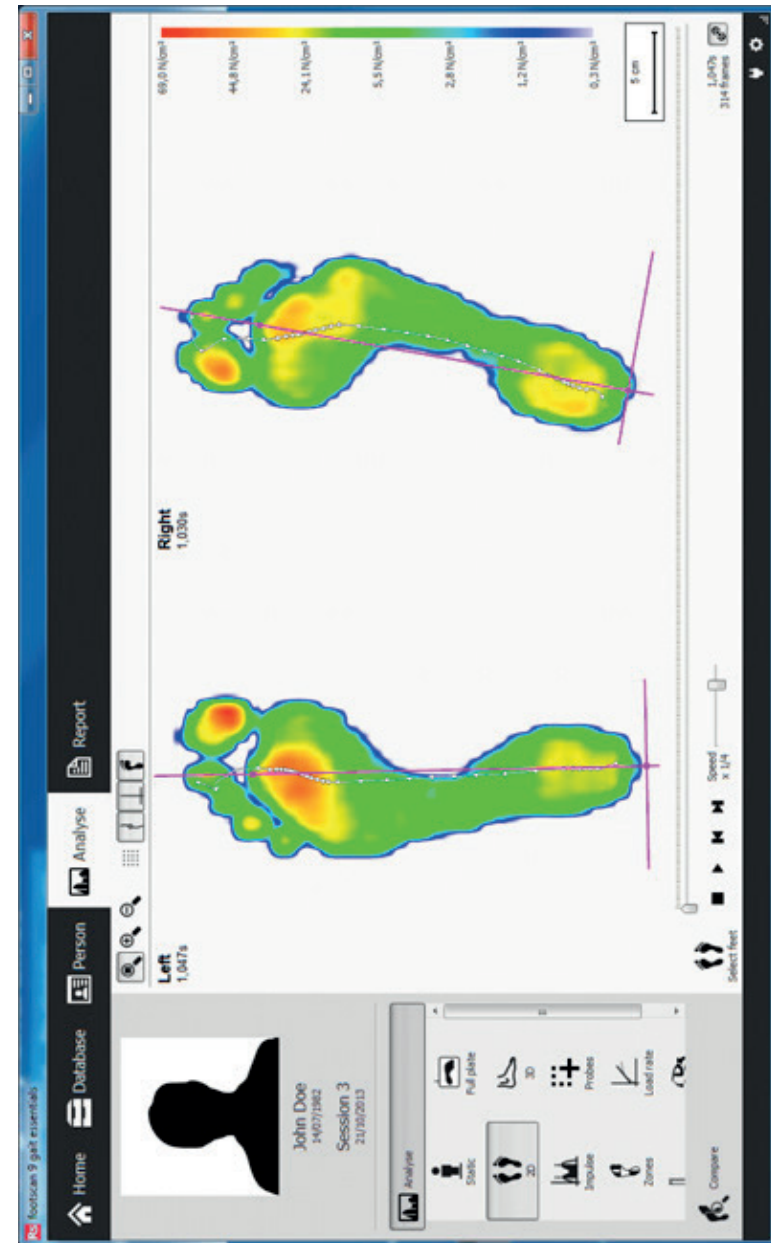


Рис. 5. Приклад роботи Dynamic 3D Scanner Foot

зафіксувати особливості будови стопи, які неможливо визначити при первинному огляді.

Використовуючи новий пристрій від організації Willaston Physio and Rehab, лікарі зможуть відстежувати безпосередньо сам процес лікування у всіх подробицях. Лікарі та фізіологи отримають можливість підібрати правильний метод для коригування тазостегнових суглобів, колін, поперекових відділів хребта, зниження болю, нормалізації ходи своїх пацієнтів. За допомогою 3D-сканера для стоп лікарі зможуть: оцінити стан хворого протягом 60 хвилин; виконати замовлення ортопедичних засобів для лікування захворювань; отримати результати вимірювань, проведених протягом останніх 6 тижнів; переглянути поточні звіти.

UPOD-S від ScanPod3D [7] — це зручний лазерний 3D-сканер ніг, вагою всього 10 кг, що підтримує як кольорову текстуру знімків, так і монохромну. Вигідно вирізняється високою швидкістю повного сканування, простими системними вимогами, великою глибиною сканування. UPOD-S дає точне 3D-зображення всієї стопи, яке можна повертати, масштабувати і вимірювати (43 можливих вимірювань). Передбачена можливість порівняння даних правої і лівої стопи (рис. 6). Переваги:

- автокалібровка;
- діагностика стоп без навантаження, з неповним навантаженням і з повним навантаженням;
- компактний розмір, всього 520 мм * 270 мм * 220 мм;
- повне 3D сканування виконується за 3,2 сек в одну сторону;
- висота сканування 115 мм;
- обсяг сканування 330 мм * 130 мм * 115 мм;
- зручна й інформативна кольорова текстура знімків;
- можливість вибору: кольоровий знімок або монохромний;
- дозволяє сканувати стопу, зліпок і колодку, що зручно для виготовлення індивідуального ортопедичного взуття та устілок;
- зручна автоматична діагностика;
- запуск сканування через інтерфейс або за допомогою ногого перемикача, що поставляється в комплекті;
- експорт результатів в форматах stl / wrl, jpg / png;
- формування звітів pdf, файли даних у csv форматі;
- автоматична підготовка відправки завдання на виготовлення взуття / устілки в ftp форматі;
- багатомовний інтерфейс програмного забезпечення;

- налаштування форми гх для виготовлення індивідуального взуття та устілки;
- виклик сканера за cmd / tcp протоколом для інтеграції з власним по і базою даних;
- шифрування даних сканерів для забезпечення безпеки файлів;
- міжнародна сертифікація ce / fda / pse;
- розробка замовленого ПЗ.

3D-сканер STT Podia (рис. 6) призначений для отримання точної 3D-моделі всієї стопи. Цей швидкий, точний, компактний та простий в експлуатації пристрій широко застосовують не тільки в конструюванні взуття, але в наукових дослідженнях, педіатрії тощо. Сканер оснащено найсучаснішими камерами та лазерами. Сканування виконується повністю автоматично. Загальні відомості:

Висота сканування — до 250 мм.

Програмний пакет включає призначену для користувача базу даних і програму для зняття основних розмірів стопи. У стандартну ліцензію також входять функції зняття антропометричних параметрів.

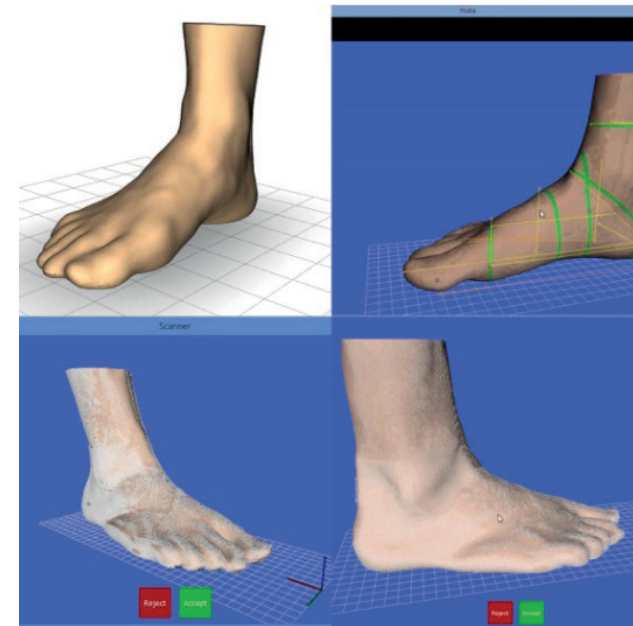


Рис. 6. Результат роботи 3D-сканера STT Podia

Використовується як автономний пристрій для вимірювання стоп і оцінки розмірів або в комплексі з ПО Insole Studio для проектування устілок.

Пристрій підходить для сканування відбитків і колодок.

Простота у використанні.

Для друку устілок найчастіше використовують термопластичний поліуретан ТПУ (TPU). Це матеріал, що відноситься до класу еластомерів — речовин з підвищеною еластичністю. Він в два рази еластичніший гуми, одночасно здатний зберігати свої властивості і геометрію протягом тривалого терміну експлуатації.

Цей матеріал виробляють багато компаній, але практики рекомендують матеріал eTPU від ESUN, оскільки він має максимальну стабільність від партії до партії і не створює додаткових проблем власникам 3D-принтерів.

Провідні фірми часто використовують нитки, які забезпечують високу гнучкість і високу пружність, що значно знижує постійну деформацію матеріалу, в той же час устілка отримує вологонепроникність і стійкість до гідролізу. Устілки можна прати. Вони витримують холодні та теплі умови. Будучи екологічно чистим матеріалом, він друкується плавно, без запаху і не вимагає нагріву нижньої пластини при друку. Поверхня виробу також легко забарвлюється.

3D-принтер для друку устілок повинен відповідати таким характеристикам: технологія друку FDM, володіти екструдером типу Direct і мати ділянку друку, відповідну максимальному розміру ноги. Якщо розглядати бюджетне рішення, то одним з таких принтерів є Raise3d E2.

Залежно від бажання та необхідного фінішного покриття устілки ви можете задавати заповнення, а також вибрати заливку першого і останнього шару. Це впливає на швидкість друку, а також покращує адгезійні властивості поверхні при використанні деяких важких матеріалів обробки верху устілки.

3D-друк має важливе значення для хірургічної підготовки. Друк використовується для копіювання специфічних для пацієнта органів, які згодом використовуються для вправ, для підготовки до складних операцій. Це дає виразно кращі ефекти і точність, ніж при використанні рентгеновського випромінювання, комп'ютерної томографії та магнітного резонансу. 3D-метод прискорює процедури і зводить до мінімуму травми пацієнтів. Здатність моделювати пружні властивості тканини, тестувати імплантацію та фізичний контакт з моделлю є до-

додатковим позитивним аспектом. Операційні моделі найчастіше використовуються при корекції стопи, операціях, пов'язаних із заміною кісток на штучні, а також при скануванні і відновленні переломів і тріщин. Іншою перевагою є здатність хірурга фізично маніпулювати і візуалізувати анатомічну модель конкретного пацієнта. Відбиток в 3D дозволяє дізнатися про точну анатомію пацієнта з багатьох точок зору і, таким чином, передбачити, чого очікувати під час операції, що збільшує ймовірність успіху лікування. Крім того, хірургічне моделювання операцій і підготовки з використанням 3D-друку може призвести до величезної економії коштів і часу.

Тривимірне моделювання широко використовується в галузі протезування [5].

Процес налаштування традиційних протезів під кожну конкретну людину вимагає часу, численних вимірів і внесення змін у вже готову конструкцію. Пацієнтам доводиться миритися з протезом, який виглядає громіздко та постійно привертає увагу оточуючих

Сучасний протез (рис. 7) створюється за допомогою 3D-сканера і принтера, що зробило його наближений за будовою до здорової ноги, а також значно зменшити у вазі порівняно з ранніми моделями.



Рис. 7. Вигляд протеза

Для розробки та виготовлення протезу виконується тривимірне сканування здорової ноги, за 3D-моделлю реалізуються подальші етапні дії.

Одним із найбільш перспективних напрямків сучасної медицини слід вважати виробництво протезів за допомогою 3D-друку. Однак поки що технологія виготовлення протезів далека від готовності до масового застосування. Проте це може забезпечити високу точність виготовлення протезу за короткий період часу порівняно з традиційним способом. Ціна нового виробу не є вищою за звичайні способи виготовлення з різних металів та полімерів. Такий підхід до виробництва суттєво зменшує час, витрачений на виготовлення нового протезу. Досягнення у сфері використання 3D-принтерів дають змогу друкувати об'єкти великих розмірів. 3D-друк пластиків у наш час має досить широке застосування та є досить доступним. За допомогою 3D-принтингу є можливість виготовляти деталі, які можуть бути використані як для міцного каркасу, так і для виконання зовнішнього вигляду, наприклад, для цієї ж моделі друкується й поверхневий шар силікону, що імітує шкіру. Така технологія має значні переваги перед існуючими методами виготовлення протезів. Особливо широке застосування має в медицині, де важливу роль відіграє точність, а розмір деталей відносно невеликий.

Використовуючи властивість симетрії людського тіла, можливо отримати максимально схожу копію протеза не лише візуально, а й вирахувати усі важливі аспекти при створенні протеза, серед яких важливими є вага та її розподіл, підхід конструктивного розташування механічного забезпечення руху (за необхідністю).

На рис. 8 наведено приклади сучасних протезів.

Серед переваг використання 3D-сканера та метода симетричного отримання даних про заміри та форму кінцівок для людини [11]:

- заміна тривалих і непростих ручних вимірювань, які не завжди достатньо точні;
- автоматичне тривимірне безконтактне вимірювання тіла людини з подальшою обробкою даних;
- моделювання на екрані індивідуальних протезів;
- висока точність отриманих цифрових даних, необхідних для якісного налаштування;
- можливість віртуально приміряти протез і проаналізувати, чи подобається те чи інакше рішення як з точки зору естетики, так і з боку практичного застосування.



Рис. 8. Приклади протезів

АВС-пластик є найбільш популярним матеріалом для 3D-друку. Він досить еластичний, не має запаху, витримує температуру до 100 °С. Температура плавлення пластику — 220–260 °С. Однак єдиний істотний недолік — вразливість до прямих сонячних променів.

PLA-пластик — головний конкурент ABS-пластику з температурою плавлення від 190 °С. Екологічно чистий. До того ж PLA-пластик з часом розкладається, що є як плюсом, так і мінусом. Менш міцний, ніж ABS, втрачає свої властивості вже при температурі 80 °С. Найчастіше використовується для друку найменш вразливих місць.

Металевий порошок використовується в професійних моделях принтерів, оскільки для створення якісних деталей вимагає специфічних умов. Плавлення порошку забезпечується оптоволоконним лазером потужністю від 200 Вт і відбувається в герметичній камері, заповненій інертним газом. Найбільш популярним металом є титан, що не викликає алергії. Проте можливе використання міді, золота, срібла, алюмінію. Використання такого матеріалу є досить дорогим порівняно з іншими матеріалами, але забезпечує максимальну міцність та оптимальну вагу протеза.

Тривимірні сканери ніг широко використовуються в різних галузях для діагностики та лікування, підбору взуття, протезування, виготовлення устілок.

Використання тривимірного сканування ніг дає можливість підвищити діагностику захворювань, зменшує час дослідження, підвищує точність виготовлення устілок та взуття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D-сканер [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80>.
2. Чан А. Л. В., та Романюк О. Н. Аналіз пристроїв 3D-сканування. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 143–147.
3. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А. Аналіз боді 3D-сканерів людини. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 181–184.
4. Профессиональные решения для 3D-сканирования | Artec3D. 2020. *3D-Сканеры*. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners>. Доступ 23 листопада 2020.
5. Романюк О. Н., Кательников Д. І., Шмалюх В. А. Комп'ютерне моделювання протезів Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві : колективна монографія / За загальною редакцією Райко Г. О. — Херсон: ФОП Вишемирський В. С., 2020. — С. 19–32.

6. Сравнительный анализ 3D-сканирования стопы с традиционными методами исследования. Информационно-обучающий портал травматологов-ортопедов [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd>. Доступ 23 листопада 2020.
7. Представляем ортопедические 3D-сканеры ScanPod3D [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dtoday.ru/blogs/cvetmir3d/orthopedic-3d-scanners-scanpod3d/>. Доступ 23 листопада 2020.
8. Этапы 3D-производства ортопедических стелек в Москве [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/ortopedicheskie-stelki/>. Доступ 23 листопада 2020.
9. На мировом рынке 3D-сканеров ожидается быстрый рост [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dnews.ru/1002491/>. Доступ 23 листопада 2020.
10. Willaston Physio & Rehab представили 3d сканер стоп [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3d-daily.ru/medicine/foot-3dscanner.htm/>. Доступ 23 листопада 2020.
11. Composites: going bone-deep into medical applications [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.healthcareasia.org/2016/materials-news-composites-going-bone-deep-into-medical-applications/>. Доступ 23 листопада 2020.

АНАЛІЗ 3D-BODY СКАНЕРІВ

Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Михайлов П. І., Чехмиструк Р. Ю., Перун І. В.

Сьогодні широко застосовуються 3D-сканери у науці, медицині, комерції. Вони стають все більш доступними й інтегруються у повсякденне життя людей. 3D-сканери застосовуються не лише для сканування статичних об'єктів неживої природи, а й для формування моделі людини. Цифрова копія людини може надати багато корисної інформації, наприклад, відобразити точні розміри будь-якої частини тіла, дати можливість сформувати цифровий 3D-аватар чи спроектувати ідеальний протез для пацієнта. Зокрема поєднання передових технологій та 3D-сканерів можуть формувати багатифункціональні пристрої, такі як 3D-рентген. Ринок 3D-сканерів постійно розвивається, поширюючи асортимент доступних товарів для застосування в різних галузях. Популяризація використання призводить до появи принципово нових технологій сканування та створення програмного забезпечення для формування більш якісних моделей сканованого тіла.

Today, 3D scanners are widely used in science, medicine, commerce. They are becoming more accessible and integrated into people's daily lives. 3D scanners are used not only to scan static inanimate objects, but also to form a human model. A digital copy of a person can provide a lot of useful information, such as displaying the exact dimensions of any part of the body, enabling the formation of a digital 3D avatar, or designing the perfect prosthesis for a patient. In particular, a combination of advanced technology and 3D scanners can form multifunctional devices, such as 3D X-rays. The 3D scanner market is constantly evolving, expanding the range of products available for use in various industries. The popularization of use leads to the emergence of fundamentally new scanning technologies and the creation of software for the formation of better models of the scanned body.

3D-сканери тіла людини [1–4] — це сканери, які можуть сканувати все тіло людини або лише окремі частини, такі як руки, ноги, вуха або голова. Виконавши необхідну множину знімків тіла людини методом обробки програмним забезпеченням, формують цифрову 3D-модель, яка готова для подальшого опрацювання.

Існують сканери для всього тіла, що називаються 3D-кабінками, вони можуть захопити людину у повний ріст, і портативні 3D-сканери, які підходять для зйомки як всього тіла, так і окремих частин тіла. Окрім апаратного забезпечення, яке сканує тіло, існує також програмне забезпечення для обробки 3D, яке аналізує всі вихідні дані та отримує моделі вимірювань. Існують 3D-сканери тіла, засновані на технології структурованого світла, лазерної тріангуляції ліній, фотogramметрії. Існують також мобільні додатки, які використовують камеру смартфона й алгоритми машинного навчання для створення реалістичних 3D-аватарів та моделей людини.

Одним із ранніх і найбільш простих методів 3D-сканування є отримання 3D-сітки за допомогою контактного методу. Цей процес здійснюється за допомогою механічних датчиків, що отримують інформацію про висоту точок тіла над поверхнею сканування, як зображено на рис. 1.

За допомогою отриманих замірів будується 3D-макет [1]. Матриця будується за допомогою набору даних трьох позицій кожного датчика та його розміщенню у площині заміру. Відповідно до рис. 1, H — загальна висота датчика від поверхні сканера до точки дотику до тіла, h — висота висуву, L — відстань між датчиками. За допомогою цього проектується відповідний 3D-макет у програмному забезпеченні. Недоліком такої технології є те, що якість сітківки сканування залежить від розміру та кількості елементів заміру. Також це не є доцільним і

раціональним способом для заміру усього тіла людини, адже прилад такого розміру коштуватиме дорого, буде громіздким і може бути небезпечним для застосування, адже механічні датчики можуть дати збій, що може призвести до травм. Також такий замір не є практичним для застосування на будь-якій частині тіла, адже не передбачає високоточного рельєфного сканування. 3D-сканери на основі контактів досить прості та недорогі. Однак вони повільні порівняно з іншими сканерами [2].

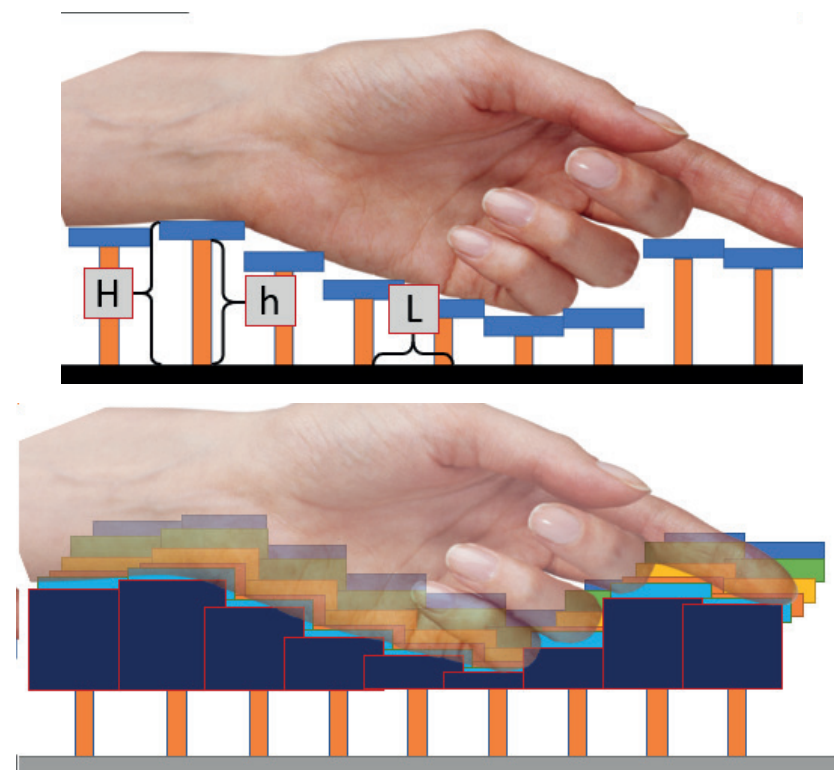


Рис. 1. 3D-сканування контактним методом

Кабіни 3D-сканування тіла — це стаціонарні кабінки або платформи, які зазвичай оснащені сканерами, датчиками або дзеркальними фотокамерами (або комбінацією всіх трьох) навколо особи, щоб захопити тіло з усіх кутів [3]. У той час, як людина (або кілька людей)

знаходиться у центрі кабіни у певній позі, як зображено на рис. 2 [3], оператор сканування виконує всі необхідні підготовки та запускає налаштування системи для отримання 3D-моделі.



Рис. 2. Кабіна 3D-сканування тіла

Залежно від апаратного та програмного забезпечення, встановленого у кабіні, весь процес може зайняти всього кілька секунд, що полегшує людині зберегти позу, не рухаючись. Результатом сеансу сканування кабіни є кольорова 3D-модель, яку можна надрукувати на 3D-принтері або провести ряд дій у програмному забезпеченні для формування рухомої комп'ютерної моделі. Поєднуючи зображення об'єкта, зафіксованого під різними кутами, та точки збігу між різними зображеннями для ідентифікації особливостей, створюють 3D-модель за допомогою комп'ютерного обладнання, як зображено на рис. 3.

Така техніка заснована на інтелектуальному програмному алгоритмі для пошуку границь об'єкта, виявлення відповідних повторів і реконструкції у тривимірному просторі. Найбільшою перевагою використання фотограмметрії є те, що метод не вимагає складного обладнання. Для використання необхідно мати декілька або одну високоякісну камеру.

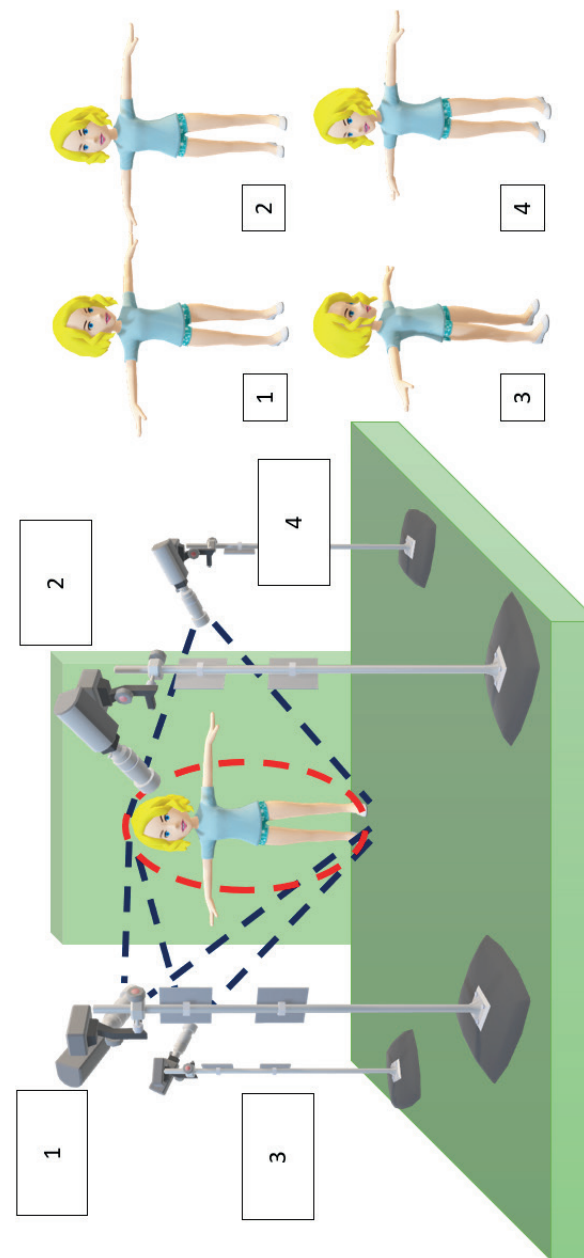


Рис. 3. Отримання 3D-моделі за допомогою статичного методу

Сучасним прогресивним прикладом використання такої технології є TOB 3D GENERATION [4] (<https://www.3dgeneration.com>) та дочірня 3D GENERATION UA, які професійно займаються розробкою та виготовленням панорамних сканерів високої розподільної здатності, які ефективно можуть бути використані в медичній практиці. На рис. 4 [4] зображено один з них, який включає 112 камер з сенсором IMX219, кожна з яких має 8 мегапікселів.



Рис. 4. Панорамні сканери TOB GENERATION: а) зовнішній вигляд сканера; б) внутрішній вигляд сканера; в) набір точок у спеціалізованому пакеті програм для фотограмметрії

Такий підхід гарантує тривимірне сканування, що забезпечує високу точність передачі кольору. Для отримання високої якості 3D-моделей використовуються новітні підходи в електроніці та ав-

томатизації процесів, а для обробки зображення відбувається коригування власними технологіями штучного інтелекту для досягнення максимальної якості кінцевого продукту.

Іншими прикладами 3D-систем захоплення тіла є 3D-дзеркала, 3D-примірки та набори для домашнього сканування тіла. Такі пристрої зазвичай використовують комбінацію технологій тривимірного зображення. Вони можуть бути інтегровані в дзеркало або підставку, яка обертається навколо людини, яка стоїть на спеціальній платформі, як зображено на рис. 5. Підставка може виконувати функцію ваг і передавати інформацію до програмного забезпечення. У деяких випадках сама платформа обертається на 360 градусів, тоді як стаціонарний сканер робить 3D-знімки тіла.

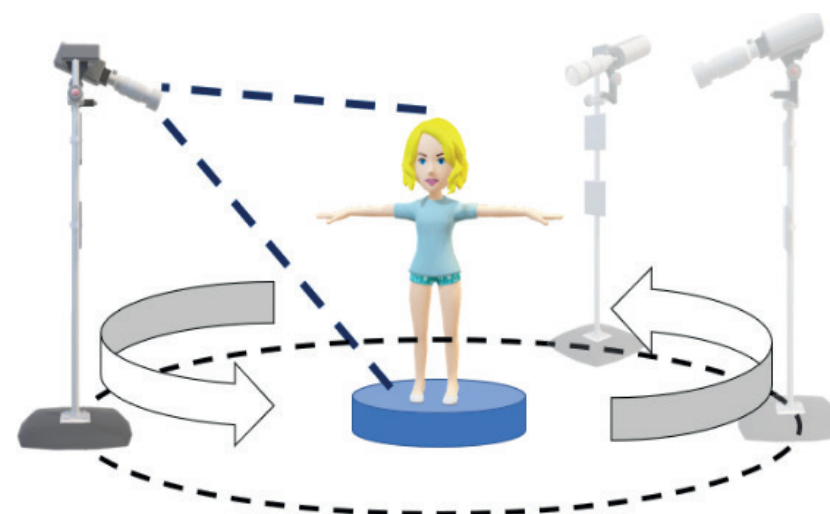


Рис. 5. Отримання 3D-моделі за допомогою динамічного методу

3D-сканери для тіла можна використовувати в різних додатках, починаючи від створення надрукованих 3D-фігурок до збору даних про вимірювання тіла, відкриваючи нові можливості для технологічного прогресу в таких галузях, як медицина, дієтологія та мода [3–5].

Результатом роботи 3D-сканерів є не просто модель людини (як правило, без текстури), а серія 3D-вимірювань і параметрів, які цей певний 3D-сканер здатний отримати. Зазвичай такі системи вико-

ристовуються у спорті та фітнесі для відстеження прогресу тіла під час фізичних вправ, а дієтичні програми або марки одягу для фіксації індивідуальних вимірів тіла для створення персоналізованого та спеціально підібраного одягу.

Портативні 3D-сканери для тіла є на ринку вже досить давно, і на відміну від статичних, ці сканери також можуть бути використані для зйомки з високою деталізацією окремих частин тіла, як зображено на рис. 6 [3], або кінцівок [3–4].

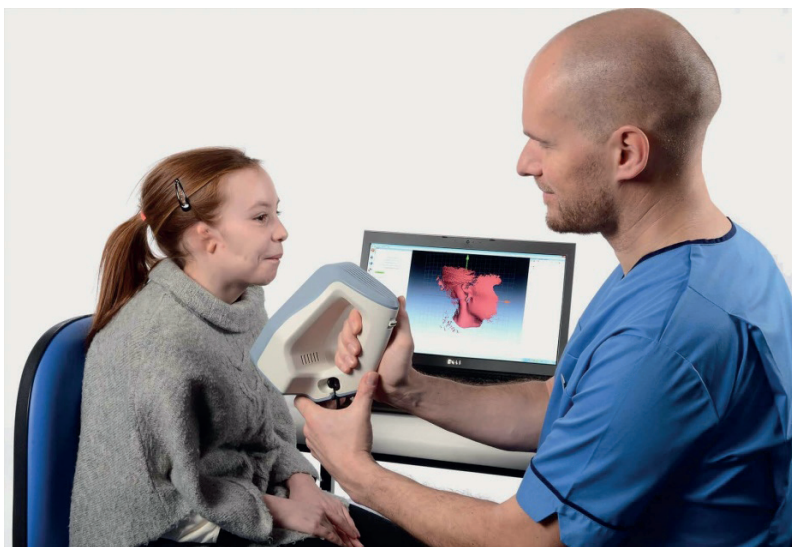


Рис. 6. Використання портативного сканера для сканування ураженої частини тіла пацієнта

Такі пристрої є більш функціональними, і їх можна переміщувати навколо об'єкта для виконання сканування. Після сканування вихідні 3D-моделі експортуються у спеціалізоване програмне забезпечення для подальшої обробки, наприклад, для створення спеціальних протезів, ортопедичних виробів або персоналізованих аксесуарів, таких як ювелірні вироби або окуляри.

Поява технологій 3D-сканування тіла надає можливість отримати множину точних вимірювань тіла пацієнта повністю автоматично всього за кілька секунд. Такі дані можуть використовуватися для [1–6]:

1. Створення індивідуальних протезів.

2. Оцінки стану шкіри, починаючи від зморшок та пігментації, закінчуючи меланомами, для раннього виявлення раку.

3. Контролю та аналізу тіла пацієнта, зміни форми та реакції під час вагітності, планування спеціального лікування (наприклад, ожиріння, гормони), дієтичних програм або фізичних вправ.

4. Розрахунку дози ліків, променевої терапії та хіміотерапії.

5. Моделювання та візуалізації результату косметичної хірургії.

3D-сканери та спеціальне програмне забезпечення для смартфонів, що формують 3D-моделі тіла, набувають все більшої популярності серед фітнес-клубів, тренажерних залів, спортсменів, персональних тренерів та їх клієнтів. Вони дають можливість відстежувати зміну тіла для досягнення певних цілей у фітнесі чи дієті, таких як нарощування м'язів або втрата жиру. Такі 3D-сканери не тільки здатні сканувати тіло в 3D, але також аналізують дані та отримують всі види вимірювань від базової лінії талії та стегон до форми тіла, постави та ваги. Крім того, вони надають інтерактивні сповіщення про те, як організм змінюється з часом, і дозволяють користувачам візуально бачити та відстежувати прогрес свого тренувального плану. Такі пристрої, як правило, не фіксують колір і текстуру тіла та в основному фокусуються на формі тіла та її зміні з часом [5].

Швейна промисловість вимірювала людські тіла задовго до того, як на сцену вийшли 3D-сканери. До початку XX століття одяг здебільшого виготовляли на замовлення та шили за індивідуальними мірками замовника, як правило, їх робив професійний кравець. Люди бувають різних форм і розмірів, і важко підібрати стандартний діапазон розмірів для усіх.

Сучасні бренди одягу [5] почали використовувати 3D-сканери, щоб надати послуги, що відповідають вимогам замовників, для додаткової персоналізації, а також заміни старих і тривалих методів ручного вимірювання. Замість того, щоб проводити замір мірною стрічкою, точні вимірювання тепер можна зафіксувати за короткий час та використати для створення ідеально підібраного одягу.

Деякі бренди включають 3D-сканери у свої примірки безпосередньо в магазині та дозволяють своїм клієнтам приміряти одяг віртуально, змінювати кольори, підбирати аксесуари — і все це без необхідності роздягатись. Інші бренди включають у свої веб-магазини віртуальні примірки, щоб допомогти своїм клієнтам вибрати одяг, який найкраще пасує, і приміряти його, не виходячи з дому. Клієнт може просто завантажити свій 3D-аватар та приміряти одяг [4].

3D-лазерне сканування — це передова технологія цифрового моделювання, яка здатна створювати високоточні 3D-моделі методом математики та лазерного світла. Незалежно від типу лазерного 3D-сканера сканування за допомогою лазерної точки або лазерної лінії — їх використання застосовується для отримання 3D-моделі об'єкта, як зображено на рис. 7.

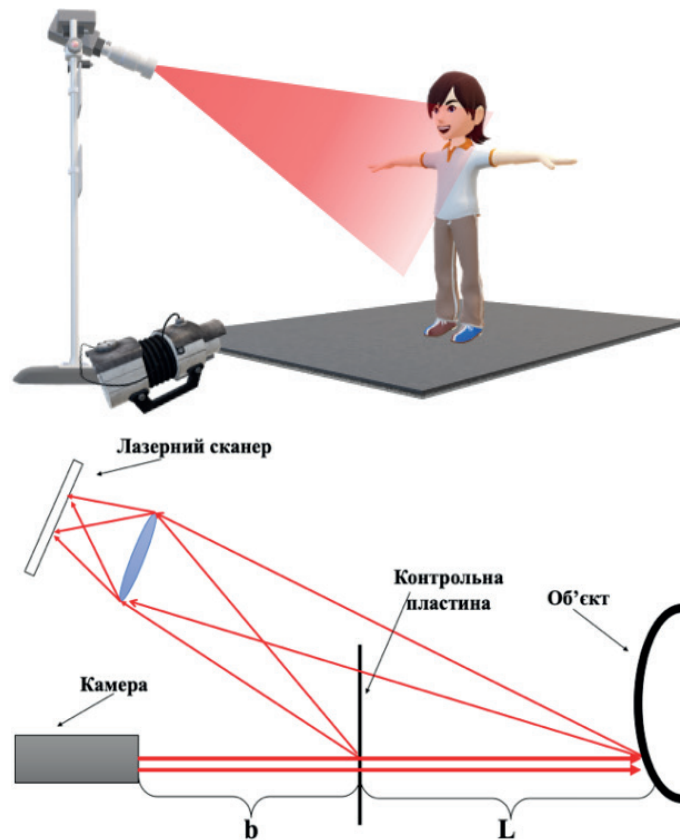


Рис. 7. Лазерний 3D-сканер та модель роботи сканера

Кожен пристрій постачається зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яке опрацьовує отриманні дані під час сеансу сканування, створюється триангуляція для запису точок даних та контакту з матеріалом. Усі ці точки відображаються на програмному забезпе-

ченні як декартові координати (X, Y та Z). Під час кожного сеансу апарат може просканувати сотні тисяч точок даних і вони записуються під різним кутом, дозволяючи отримати дані з усіх сторін об'єкта. У подальшому використанні є можливість інженером чи програмним забезпеченням створення сітки або цифрового файлу об'єкта.

3D-лазерне сканування застосовується в різних галузях і може використовуватися для зворотного проектування, забезпечення якості, обстеження й аналізу розмірів. Точність сучасних лазерних 3D-сканерів коливається від 0,01 мм до 0,1 мм. Це значить, що використовуючи даний тип сканерів, можна досягти хорошої деталізації об'єкта.

Перспективним напрямком є створення рентген 3D-сканерів [7–8]. Комп'ютерна 3D-томографія — метод тривимірного дослідження внутрішніх органів й анатомічних структур за допомогою рентгенівського випромінювання. За час експозиції (близько 15 секунд) конусно-променевий комп'ютерний томограф фіксує позиції тіла в різних проекціях. Потім комп'ютер обробляє знімки та будує 3D-модель людини. Результат дослідження зберігається в електронній базі даних. Проект медичного сканера був розроблений у 2011 році, але був завершений лише в 2018 році. Апарат під назвою EXPLORER, який зображено на рис. 8 [7], використовує гібридну технологію комп'ютерної томографії в поєднанні з позитронно-емісійною томографією.

Сучасні комп'ютерні потужності, які застосовуються в апараті EXPLORER, дозволяють створювати статичну картинку внутрішніх органів людини в тривимірній моделі. Ще однією корисною функцією 3D-сканера є запис процесу поширення препаратів і ліків організмом. Для відстеження додаються спеціальні маркери, наприклад, ізотопи цукру.

Апарат створює квантові хвилі спеціальної довжини залежно від досліджуваного елемента — наприклад, кальцію. Кожен елемент отримує свій окремий колір, а потім отримані дані перетворюють у повноцінне тривимірне монохромне або кольорове зображення [7–8].

За прогнозами, ринок 3D-сканерів збільшиться в чотири рази за період з 2020 по 2030 роки, згідно з недавнім маркетинговим дослідженням Future Market Insights [9]. Це означає, що ринок сканерів щорічно зростатиме на 14 % за це десятиліття. Цей ріст стимулюється широким спектром галузей, що застосовують і налаштовують 3D-сканування для власних цілей та для комерційного використання.

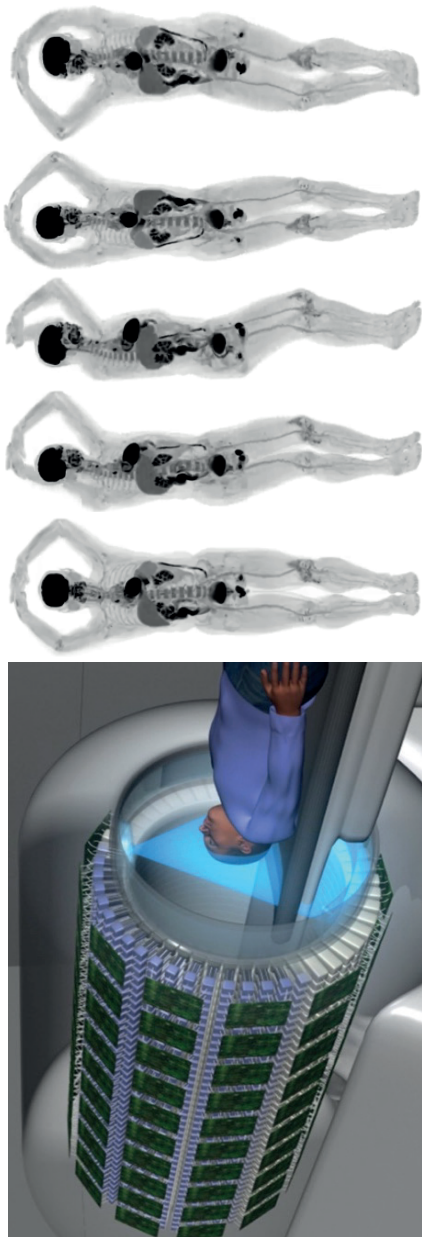


Рис. 8. Томографічний 3D-сканер та отримані моделі тіла

Наприклад, у секторі охорони здоров'я 3D-сканери збирають дані з органів і тканин пацієнта для моделювання органів тіла у трьох вимірах. Потім вони використовуються для створення спеціальних протезів, імплантатів, опор та бандажів. Моделі також можуть бути використані для полегшення управління ранами та формування імплантатів.

Це зростання також відбувається, незважаючи на стримування, спричинене пандемією COVID-19, яка серйозно поглинула норму прибутку виробників електроніки у всьому світі. Це, в свою чергу, створило тижні затримок для компаній, що займаються 3D-сканерами, через дефіцит сировини [9]. Крім того, виробнича та автомобільна промисловість є ключовими ринками для 3D-сканерів, і пандемія сильно вплинула на ці дві галузі. Більшість виробників прогнозували падіння продажів протягом перших двох кварталів 2020 року, але понад 60 % планували відновити ділові операції до жовтня цього року. 3D-сканери / апаратні засоби продовжуватимуть утримувати провідну частку ринку протягом наступного десятиліття через кілька факторів. Очікується, що серед усіх інженерних послуг протягом найближчих років тривимірне проектування та моделювання розширяться за найвищим рівнем показника CAGR. Учасники ринку продовжують концентрувати увагу на портативних 3D-сканерах, тоді як 3D-сканери, що встановлюються на роботах, пропонують потенційні можливості захоплення вартості. 3D-сканери короткого діапазону (менше 3 футів) отримають помітну частку доходу; 3D-сканери великого діапазону (більше 900 футів) отримають підйом у наступні роки.

Охорона здоров'я та обробна промисловість залишатимуться ключовими кінцевими споживачами тривимірних сканерів, і найближчим часом виробництво показуватиме найбільші перспективи.

Збільшення використання 3D-сканерів для виявлення зіткнень збільшить їхню частку на ринку в автомобільній промисловості. 3D-сканери використовуються для уникнення зіткнень, а також для навігації автомобіля [10]. Ці сканери оснащені такими функціями, як високоточні вимірювання та документація, що робить їх корисними для виявлення / уникнення зіткнень та відновлення аварій. Крім того, ручні 3D-сканери ширше використовуються для реєстрації салонів пошкоджених автомобілів, дозволяючи вимірювати та аналізувати пошкодження. Перехід на більш автономні транспортні засоби також зробить вбудовані

3D-сканери важливими для картографування автомобільних доріг та околиць.

Проаналізувано найкращі за версією ANIWAA панорамні сканери з метою вибору для конкретної предметної галузі. В таблиці 1 наведено відомості панорамних сканерів за версією ANIWAA [11].

Таблиця 1

Найкращі 3D-сканери 2020 за версією ANIWAA

3D-сканер	Країна виготовлення	Ціна*
TC2–21B	United States of America	\$30,000
3dMD 3dMDbody System	United States of America	
botspot botscan NEO	Germany	
Canfield Vectra XT	United States of America	
ESUN Display Twinlike 3D Body Scanner	China	
Fit3D Proscanner	United States of America	\$10,000
Size Stream SS20 3D Body Scanner	United States of America	\$15,000
Telmat Industrie Symcad III	France	\$15,900
Texel Portal MX	Russia	\$25,000
TG3D Studio Scanatic 360 Body Scanner	China	\$15,000

1. TC2–21B

Технологія — фотограмметрія. TC2 Labs TC2–21B здатний відсканувати людину за 1 секунду та витягувати дані всього за 9 секунд, що включає створення аватара. Забезпечене самообслуговування можливе за допомогою інтегрованого сенсорного екрану.

2. 3dMD 3dMDbody System (рис. 2)

Технологія — фотограмметрія. Сканувальна система фіксує 360 ° зйомки за лічені мілісекунди. Вона використовує велику кількість камер машинного зору із системою спалаху промислового рівня. За даними виробника, такий сканер може сканувати до 4 людей за хвилину.

3. botspot botscan NEO

Технологія — фотограмметрія. Цей сканер німецького виробника відрізняється своєю модульною конструкцією і піддається налаштуванню. Така система використовує комбінацію структурованого світла і фотограмметрії, щоб забезпечити точні кольорові сітки. Для легшого користуванням сканером застосовують спеціально створений мобільний додаток. Його максимальна ємність сканування становить 1000 x 1000 x 2000 мм.

4. Canfield Vectra XT

Технологія — структуроване світло. Canfield — американський виробник, який спеціалізується на медичних системах візуалізації для естетики та дерматології. Ця сканувальна система розроблена спеціально для пластичної хірургії. Програмне забезпечення, яке постачається разом з нею, дозволяє хірургам показувати пацієнтам, як виглядатиме їх тіло після операції або без неї.

5. ESUN Display Twinlike 3D Body Scanner

Технологія — фотограмметрія. Ця 3D-сканувальна система складається чотирьох веж, на яких розташовані чотири промислові камери, а саме: дві камери DSLR та два проектори. На сканування тіла необхідно всього дві секунди та ще 5 хвилин на обробку даних та генерацію 3D-моделі.

6. Fit3D Proscanner

Технологія — структуроване світло. Це тривимірний сканер тіла для додатків, орієнтованих на фітнес та медичні послуги. Він розроблений для надання всебічної оздоровчої оцінки, заснованої на детальному 3D-знімку тіла. Така система сканування в основному використовується в тренажерних залах та фітнес-студіях. На сканування тіла, а також на аналіз постави, оцінки стану форми тіла необхідно 40 секунд.

7. Size Stream SS20 3D Body Scanner

Технологія — структуроване світло. Ця система сканування є універсальною. Вона призначена для збору тисяч точок даних для створення тривимірної моделі тіла. В основному її використовують для створення одягу на замовлення. Також може використовуватися для 3D-друку, різного роду вимірювань, визначення розмірів, у сфері медичного обслуговування та для фітнес-додатків.

8. Telmat Industrie Symcad III

Технологія — структуроване світло. Сканер спеціально розроблений для 3D-вимірювання тіла та спеціальних модних додатків. Він використовує технологію структурованого світла (майже інфрачервоного), оснащений 16 і більше датчиками. Здатний сканувати тіло за 1,5 секунди, а також може бути оснащений додатковими модулями для окремого сканування рук та ніг.

9. Texel Portal MX

Технологія — структуроване світло. Сканер російського виробника, який може використовуватися для індустрії розваг та реклами, медичних додатків і навіть як кімната цифрового обладнання. Для

сканування тіла необхідно 30 секунд та лише 60 секунд для створення цифрової 3D-моделі.

10. TG3D Studio Scanatic 360 Body Scanner

Технологія — фотограмметрія. Ця система сканування призначена для індустрії моди. Вона легка, тому її неважко зрушити з місця, і може бути легко інтегрована всередині будь-якого приміщення. Сканування займає 3 секунди, а кінцевий результат можна отримати вже за 30 секунд. Виробник розробляє програмне забезпечення та додатки, призначені для індустрії моди.

За прогнозами розвитку тривимірного сканування адитивні технології все ще знаходяться на стадії розвитку, незважаючи на те, що вони активно проникають в кожну сферу людської діяльності. Якщо вірити даним Marketsand Matkets, ринок тривимірних скануючих пристроїв сьогодні переживає пік популярності. Із кожним днем її поріг підвищується.

Фахівці прогнозують річний обсяг у цій області до 6 мільярдів доларів. Саме таку цифру повинні побачити виробники 3D-сканерів до 2022 року. Іншими словами, очікується приріст щорічного прибутку в 9,6 %. Не обійдеться і без впровадження пристроїв в системи з контролю якості виробництва на промислових об'єктах. Все це спровокує швидкість випуску виробів.

Фахівці вважають, що велика частка ринку буде належати саме лазерним тривимірним сканерам. Така популярність забезпечується ціновим доступністю, а також простотою експлуатації. Не можна не помітити, що швидкість розрахунків, які здійснюються із застосуванням фазового зсуву і лазерної триангуляції набагато вище, ніж у людини.

Що стосується самих сканерів, то вважається, що найпопулярнішою моделлю стане портативна координатно-вимірювальна машина. З її допомогою можна буде робити підрахунки і вимірювання в умовах обмеженого простору, де немає можливості помістити стаціонарний 3D-сканер.

Звіт Marketsand Matkets говорить, що найбільша частка ринку належатиме США. Саме там будуть розташовуватися найбільші центри з випуску тривимірного обладнання. Найбільш перспективними вважаються країни Азії за рахунок зростання попиту на лазерні 3D-сканери в сфері медицини, автомобілебудування, будівництва. Тісний взаємозв'язок тривимірного друку і сканування зумовлює зростання популярності адитивних технологій. У наступні кілька років вони стануть основою отримання фотореалістичних 3D- зображень [11].

Висновки. Отже, 3D-сканери широко застосовуються у промисловості й медицині завдяки здатності швидко і точно зчитувати необхідні дані. Без цих технологічних 3D-пристроїв вимірювання все ще проводилися б ручним способом, який є досить довгим та витратним. При виборі 3D-сканера для різних областей потрібно враховувати усі аспекти та спосіб, який планується в застосуванні. Дослідження, моніторинг стану та розробка індивідуальних рішень для кожного пацієнта. Швидкість, точність та безпека портативних 3D-сканерів дозволяють медикам впроваджувати такі передові технології, вдосконалюючи існуючу практику та створюючи нові методики. Медичні працівники можуть обробити дані сканування для моніторингу та аналізу змін параметрів тіла пацієнта. 3D-сканування також полегшує порівняння точних даних до та після хірургічних операцій. Ринок 3D-технологій перебуває у постійному розвитку. Створюються нові технології та підходи до сканування людського тіла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чан А. Л. В., Романюк О. Н. Аналіз пристроїв 3D-сканування. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 143–147.
2. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Аналіз боді 3D-сканерів людини. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 181–184.
3. Профессиональные решения для 3D-сканирования | Artec3D. 2020. 3D-Сканеры [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners>. Доступ 23 листопада 2020.
4. 3D generation. 2020. 3D-Figuren Erstellen Bei 3D GENERATION. Perfekte 3D-Druck & 3D-Scan [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.3dgeneration.com>. Доступ 23 листопада 2020.
5. Центр Л. 3D тіла сканування від А до Z [Електронний ресурс. *Професійні рішення 3D-сканування*. Artec3D [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/learning-center/3d-body-scanner>. [Доступ 23 листопада 2020].
6. Флінт. Що таке 3D-сканування? *3D Insider, 2020* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://3dinsider.com/what-is-3d-scanning>. Доступ 23 листопада 2020.
7. 3d сканер людини EXPLORER — технологія магнітного результату | Science Debate. *Sciencedebate2008.com, 2020* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sciencedebate2008.com/3d-skaner-cheloveka-explorer>. Доступ 23 листопада 2020.

8. Ученые разработали медицинский сканер, что создает 3D-ролик всего тела. *Ukrinform.ru*, 2020 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ukrinform.ru/rubric-technology/2585218-ucenye-razrabotali-medicinskij-skaner-cto-sozdaet-3drolik-vsego-tela.html>. Доступ 23 листопада 2020.
9. Itd R. Дослідження та ринки — Звіти про дослідження ринку [Електронний ресурс] *Researchandmarkets.com*. — Режим доступу: <https://www.researchandmarkets.com>. Доступ 23 листопада 2020.
10. Фінанси А. CAGR, Среднегодовой Темп Роста, Формула И Калькулятор [Электронный ресурс] А2 Фінанси. — Режим доступу: <https://a2-finance.com/ru/calculators/vse/cagr-srednegodovoi-temp-rosta>. Доступ 23 листопада 2020.
11. Романюк О. Н., Романюк О. В. Слукоська А. Ю. Аналіз найкращих панорамних сканерів. *Actual problems of science and practice ISG*. — Швеція, 2020. — С. 558–561.

ANALYSIS OF MICROFACET AND WAVE APPROACHES TO THE FORMATION OF REALISTIC IMAGES OF ANISOTROPIC SURFACES

Chan A., Romanyuk O. N.

Розглянуто особливості мікрофасетного та хвильового підходу до рендерингу візуально реалістичних зображень фізичних об'єктів на прикладі дистрибутивних функцій відбивної здатності та визначенні коефіцієнта шорсткості анізотропної поверхні за допомогою довжини хвилі світла.

Peculiarities of microphase and wave approach to rendering visually realistic images of physical objects on the example of distributive functions of reflectivity and determination of the roughness coefficient of an anisotropic surface using the wavelength of light are considered.

One of the important tasks of computer graphics today is to render images from existing digital models of physical objects. In most cases, the leading role is played by the correspondence to a certain level of photorealism, which allows to achieve a smaller difference between the image and the real object [1].

One of such situations is the process of visually realistic reproduction of anisotropic surfaces, which takes place in various information technology areas with computer graphics application — medicine (for example, to reproduce the surface of human skin), social security, game industry, cinema, design, visualization objects in various scientific studies, etc. Today, there

are many methods for modelling rough inhomogeneous surfaces with different approaches according to the field of application. However, many of them remain imperfect for a variety of reasons: the problem of real-time implementation; the complexity of calculations, which causes a high cost of resources, and, accordingly, increases the cost of the modelling process and so on. Therefore, in order to further address this type of shortcomings, it is important to study and compare existing methods of visually realistic reproduction of anisotropic surfaces using computer graphics.

When creating a visually realistic image of an object with a rough surface, you need to build a geometric model based on the reflectivity of the surface, which plays a leading role in photorealism. The directional reflectance distribution function of the surface is characterized by physical models built on the basis of algorithms for calculating the total illumination and of the incident light reflection. Accordingly, the reflective properties of any surface can be described by calculating the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) [2].

Most of the existing models of BRDF today are not universal in relation to the surfaces for which they are used for modelling. A specific model of BRDF may be better for determining the reflective properties of one surface and worse for others. This is due in particular to different approaches to the formation of surface illumination depending on the type of surface material. For the formation of rough surfaces, we can distinguish two approaches to the construction of the model BRDF — microfacet and wave. The first considers a rough surface as a set of microscopic flat planes at different angles relative to each other. The light wavelength is ignored and transferred to the RGB colour model. The second is based on the wave nature of light and determines the roughness coefficient of the anisotropic surface taking into account the light wavelength.

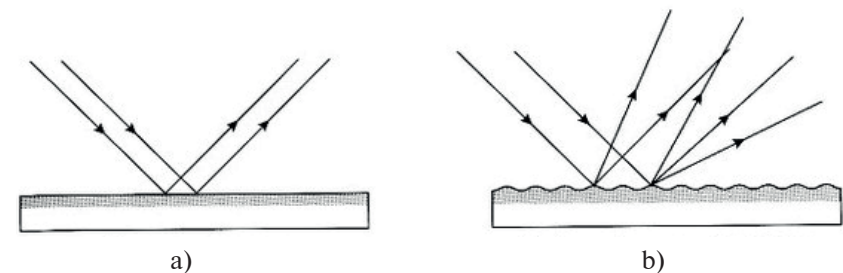


Fig. 1. Reflection of light on a homogeneous (a) and rough (b) surface

Consider in more detail the microfaceted approach. In the early stages of the development of computer graphics technology, Phong, Schlick, and Blinn models were used to form a model for illuminating various objects, each of which initially did not take into account the surface roughness factor. Such calculations are better suited for isotropic smooth surfaces on which incident light propagates without interference.

The Phong model is based on the calculation of the total illuminance of the surface at each point, which takes into account the sum of specular, diffuse and ambient light components, as well as the reflection coefficient of a smooth surface (depending on the surface properties) and a set of vectors (Fig. 2).

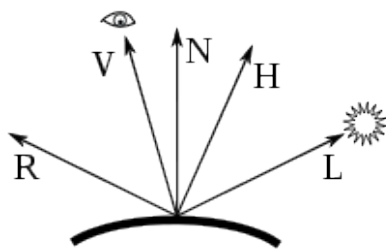


Fig. 2. The main vectors of the Phong model

The vectors in the direction of the observer (V), to the light source (L) and the normal to the surface (N) are taken into account. The vector with the direction of the reflected beam of light is quite difficult to calculate. Therefore, in the Blinn-Phong model, an additional vector H is introduced, which is the median of the angle between the vectors V and L. Thus, a certain simplification of the model is achieved. As a result of the calculation of the illuminance according to Blinn-Phong, the light on the surface is more diffused, compared with the result according to the Phong model (Fig. 3).

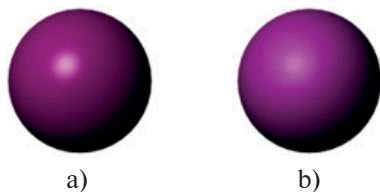


Fig. 3. Glare formation according to the model of Phong (a) and Blinn (b)

However, under such conditions, the possibilities of realistic reproduction of illumination of many materials are limited — the first models of calculating illuminance are better suited for forming images of smooth, mirror surfaces, but it does not take into account the heterogeneity of surfaces of complex materials. To date, many modifications have been made to existing BRDF, including the Phong lighting model.

One of them was the Ashikhmin-Shirley model, known in 2000 as the anisotropic Phong reflection model, designed to process the agreement between surface and body reflection from the observer's point of view. In this model there are no attempts to model shadows and masking, instead, there is a compromise between diffuse and mirror coefficients [3]. The model is to find the sum of these reflection coefficients and has the form:

$$I_d = \frac{28R_d}{23\pi}(1-R_s)\left(1-\left(1-\frac{(n,l)}{2}\right)^5\right)\left(1-\left(1-\frac{(n,v)}{2}\right)^5\right);$$

$$I_s = \frac{(n_x+1)(n_y+1)}{8\pi(h,l)\max((n,l),(n,v))}(n,h)^{n_u\cos^2\phi+n_v\sin^2\phi}F((h,l)).$$

$$I_r = I_d + I_s,$$

where n_u and n_v — coefficients that control the shape of the mirror particle. Different ratios of these coefficients give different results of illumination of the object.

Figure 4 shows the lighting for two bodies according to the Phong and Ashikhmin-Shirley models with the same degree of roughness. As can be seen from the figure, the anisotropic model is more suitable for illuminating rough surfaces, because according to Phong, objects still remain smoother and polished.

The Ashikhmin-Shirley model has a number of specific features, which is due to the realistic reproduction of rough surfaces. This model meets the principles of reciprocity and energy saving; allows to model reflections from anisotropic surfaces; the shape of the reflection function is determined by intuitive parameters; contains the Fresnel coefficient due to which the surface mirror reflectance increases with increasing angle of incidence; has a variable coefficient of diffuse reflection, which reduces the diffuse reflectivity with increasing angle of incidence [4].

To form the image of rough surfaces, methods of forming maps of coefficients are used, which help to calculate the scattering of incident rays more realistically and closer to how it occurs in nature. One of the distributive

functions that implement this approach is the Ward model, which has the following form:

$$I = e^{-k \frac{1 - (\vec{h} \cdot \vec{n})^2}{(\vec{h} \cdot \vec{n})^2}},$$

where I — an integral component of light, which is the result of calculating the relationship between background, diffuse and specular components; \vec{n} — normal to the surface; \vec{h} — normal to the surface, the bisector of the vectors from the light source l and the observer v , where:

$$\vec{h} = \frac{\vec{l} + \vec{v}}{|\vec{l} + \vec{v}|},$$

k — coefficient, which is set according to the surface material.

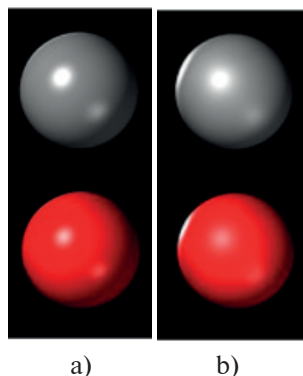


Fig. 4. Lighting of objects according to the model of Phong (a) and Ashikhmin-Shirley (b)

This coefficient is key in the process of creating a realistic image of a complex rough surface, as it is responsible for the shape of the reflection on the X and Y axes. To create images of complex surfaces for each pixel determines its surface coefficient, so we get a map of coefficients for Ward's anisotropic model.

$$k_{spec} = \frac{\rho_s}{\sqrt{(\vec{n} \cdot \vec{l})(\vec{n} \cdot \vec{v})}} \frac{\vec{n} \cdot \vec{l}}{4\pi\alpha_x\alpha_y} e^{-2 \left[\frac{\left(\frac{\vec{h} \cdot \vec{x}}{\alpha_x} \right)^2 + \left(\frac{\vec{h} \cdot \vec{y}}{\alpha_y} \right)^2}{1 + (\vec{h} \cdot \vec{n})} \right]}.$$

The coefficients α_x i α_y are used to adjust the anisotropic properties. The glare on the surface is formed elongated. This glare is characteristic of metal surfaces. Therefore, the anisotropic model of Ward lighting is the most effective in the application of the reproduction of metal surfaces [5].

As an example, Figure 5 shows the formation of a metal torus surface using the Phong model, which is more efficient for the formation of isotropic simple surfaces, and the Ward model with the formation of a map of the reflection coefficients.

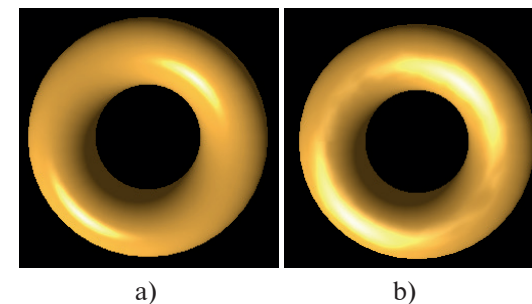


Fig. 5. Reproduction of the metal surface of the torus model Fong (a); Ward with a map of the reflection coefficients (b)

It is worth noting that taking into account the geometric component of the surface is also effective for rendering rough surfaces. The Cook-Torrance model describes its use in calculating the reflectivity to take into account the darkening and shielding of the microfaces of the facet surface.

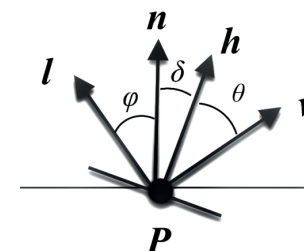


Fig. 6. Basic vectors and angles in the Cook-Torrance model

The root mean square slope of a microface is described by the angle δ between this microface and the normal to the surface:

$$h = \frac{l + v}{\|l + v\|} \quad \delta = (\theta - \varphi) / 2.$$

That part of the microfaces lying at an angle δ to the surface is determined by the Beckman distribution:

$$D(\delta) = \frac{1}{4m^2 \cos^4(\delta)} \cdot e^{-[tg(\delta)/m^2]}.$$

The surface roughness coefficient m usually varies in values $[0.2; 0.6]$. If the angle δ increases, the distribution of the orientation of the microfaces (Beckman distribution) will decrease.

The geometric component due to the shielding and darkening of the micro faces determines the intensity of the glare, which is formed from unshielded and undocked light. The latter is calculated by the following formulas:

$$G_m = \frac{2 \cdot (n \cdot h) \cdot (n \cdot v)}{(h \cdot n)}, \quad G_s = \frac{2 \cdot (n \cdot h) \cdot (n \cdot l)}{(h \cdot n)}.$$

The total geometric component is defined as the minimum value in a set consisting of three values — 1, G_m , G_s :

$$G = \min(1, G_m, G_s).$$

Given that microfaces are not perfectly mirrored parts of the surface, they are not able to reflect the incident rays of light completely. The reflected part of the light is defined as the Fresnel coefficient:

$$F(\varphi, \theta) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(g-c)^2}{(g+c)^2} \left[1 + \left(\frac{c \cdot (g+c) - 1}{c \cdot (g-c) + 1} \right)^2 \right].$$

The coefficients c and g are determined as follows:

$$c = \cos(\varphi) = (n \cdot l), \quad g^2 = \eta^2 + c^2 - 1.$$

The calculation of the total amount of reflected light according to the Cook-Torrance model also takes into account the regulation of the intensity of incident light. To do this, the product is calculated in the denominator of the general formula $(v \cdot n)$ [6]. Thus, the general formula of the Cook-Torrance reflection model has the form:

$$K = \frac{F \cdot G \cdot D}{(v \cdot n)(l \cdot n)}.$$

Figure 7 shows an example of the formation of an anisotropic surface using the Cook-Torrance model.

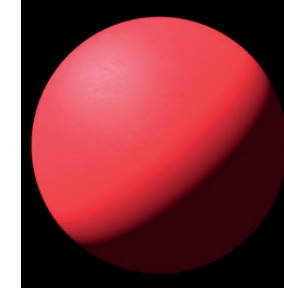


Fig. 7. Image of a sphere with an anisotropic surface using the Cook-Torrance model

Another common method of forming rough surfaces is the Monte-Carlo method. This method is presented as a numerical algorithm, which in turn uses a generator of pseudo-random variables and uses them in the process of solving problems by modelling and calculating the probabilistic characteristics of the obtained samples [7].

In practice, the Monte-Carlo method is most often used to render human skin, because when forming this type of rough surface it is necessary to take into account not only the coefficients of the glare of the upper layer but also to calculate behaviours — absorption and scattering of light rays entering the inner layers of skin.

The Monte-Carlo method was first used in cancer research to model human skin. To do this, a model of stable light propagation in multilayer skin tissue was developed. To simplify the calculations, the model applied only to perpendicularly incident rays. To increase the physical correctness of the construction and thus increase the realism of the image, such simplifications are discarded.

This model is based on the fact that the incident light, falling on the surface, is partially reflected, and the rest is absorbed. In this case, the reflected light is regulated by the Fresnel equation, and the absorbed light is scattered in random directions. Particles of light scatter and weaken. Scattered photons propagate in different directions and contribute to the diffuse distribution of light in the tissue. In this case, random directions of light particle propagation are calculated using a pseudo-random number generator. As a result, it becomes possible to create a realistic reflection and propagation of light from the skin. This distribution is as close as possible to a similar

natural phenomenon [7]. For comparison, Figure 4 shows an example of modelling a human face using the Phong distribution function and the Monte-Carlo method.

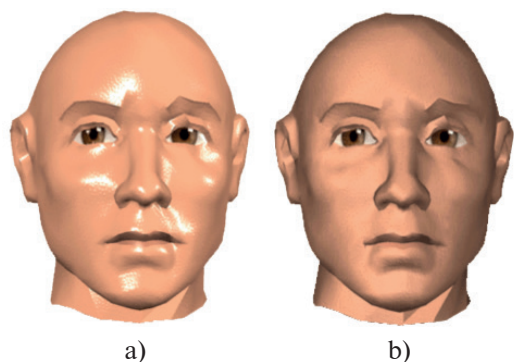


Fig. 8. Modelling of the human face: a) by the Phong BRDF; b) by the Monte-Carlo method

Due to the implementation of the generator of pseudo-random variables, their probabilistic calculation and analysis as models of the directions of motion of the photons of incident light absorbed by the inner layers of the skin tissue, the Monte-Carlo method is quite expensive and nonefficient in resources consumption. This makes this method difficult to implement real-time simulation. For this purpose, certain simplifications through which sometimes it is necessary to sacrifice realism are used.

As a result of the analysis of features of the described models of the formation of rough surfaces, it is possible to come to a conclusion that at a choice of an effective method of the image rendering it is necessary to pay attention to features of a surface, material, the resulting form of reflection which this or that physical model considers. By approximating the existing models, their modification, it becomes possible to reduce resource costs and hardware requirements, increase realism by taking into account additional physical features of the surface.

However, in contrast to the formation of the image of the surface by analysing it as a set of shiny microfaces and the corresponding calculation of the integral component of light, there is another approach.

An alternative to the microfacet approach is the use of wave optics models, which are also obtained by physical modelling, but including the dependence of the wavelength and surface properties. They are the result of a

scalar solution of Maxwell's equations, assuming a relatively high frequency. The results are more widely available than microfaceted models.

However, the obtained expressions are much more complex both in the calculation and in implementation, which becomes a certain disadvantage of this approach. The two surface parameters commonly used in these models are the surface height σ_s and the correlation length l_c . If it is assumed that the surface is anisotropic and changes the height and distance in different parts, these parameters statistically describe the layout of such irregularities. The height of the surface describes how high these irregularities are on average. The correlation length is a measure of how far on average these inequalities are [8].

The final result of the lighting model, which takes into account the length of light λ and the roughness coefficient g is the Krywonos Modified Beckmann-Kirchhoff model (KMBK), which looks like this:

$$f_{KMBK} = \frac{KQ\pi l_c^2}{2\lambda^2} \exp(-g) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{g^m}{m!m} \exp\left(-\frac{v_{xy}^2 l_c^2}{4m}\right).$$

The figure 9 shows the result of image formation by the wave method of building a lighting model.

It can be concluded that the approach of wave optics gives no less qualitative results, and in some cases may have an advantage over geometric due to its accuracy and detailed consideration of the features of anisotropic surfaces.

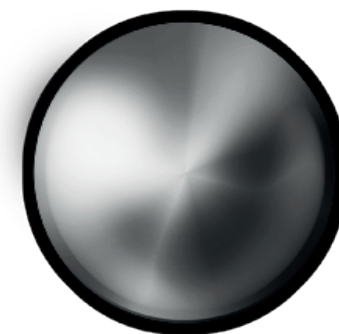


Fig. 9. Image of a rough metal surface according to the Ashikhmin-Shirley model

Conclusions: As a result of the analysis of all the above models for the formation of a photorealistic image of anisotropic, complex surfaces of ob-

jects, more commonly used are those models of reflectivity that consider the surface as a set of microfaces, due to a simpler approach.

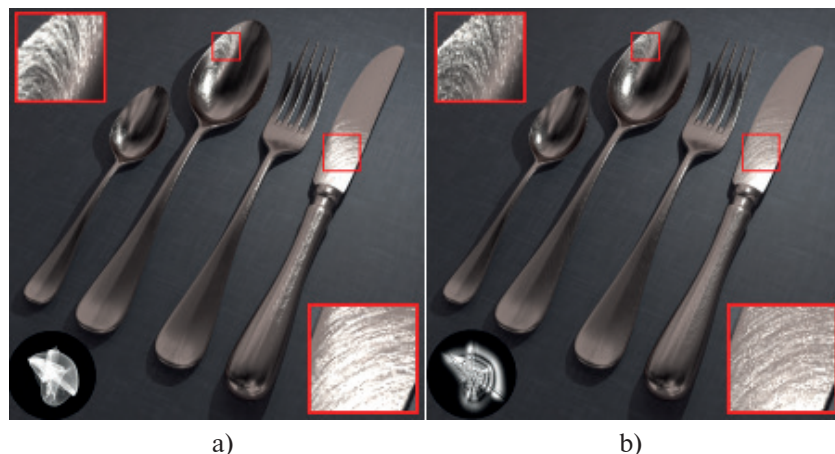


Fig. 10. Microfacet (a) and wave (b) image formation

However, some surfaces are sometimes easier to reproduce with a rendering approach that takes into account the wave nature of light. The resulting images of both approaches are quite realistic, which is the purpose of their study (Fig. 10).

When choosing an approach to image formation of an anisotropic surface should take into account not only its ability to reflect light incident on it but also its ability to absorb, scatter in the inner layers and re-release a certain part of it on the upper layer. There are separate lighting models for this.

Each method can be used in different areas of human activity, depending on the task. Accordingly, when solving some problems, the speed of calculations can be neglected (if the problem is not based on the formation of images in real-time), when solving others, the detailed accuracy of calculations may be irrelevant — simplifications become permissible when the accurate calculation of specific details is not required.

REFERENCES

1. Романюк О. Н. Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні / О. Н. Романюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. — 2008. — Вип. 9. — С. 145–151.

2. Чан А. Л. В. Аналіз відтворення поверхні шкіри людини використанням дистрибутивних функцій відбивної здатності / Чан А. Л. В., Романюк О. Н. // Молодь у світі сучасних технологій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Херсон, 4–5 червня 2020 р. — Херсон, 2020. — С. 230–233.
3. Morgan S., Gondek J., Meyer G. Light scattering simulations using complex subsurface models // *Graphics Interface*. 1997. Vol. 97.
4. Falski M. Przegląd modeli oświetlenia w grafice komputerowej // Uniwersytet Wrocławski, 2004.
5. Сравнение модели затенения по Фонгу и анизотропной модели Варда, Unic-Soft [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://unick-soft.ru/article.php?id=76>
6. Cook R. L., Torrance K. E. A reflectance model for computer graphics. *ACM Transactions on Graphics (ToG)* 1.1 (1982): 7–24.
7. И. Ю. Сесин, В. В. Нечаев, «Сравнительный анализ генераторов псевдослучайных чисел для решения задач рендеринга методом Монте-Карло // *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307–8162. — 2018. — Vol. 6, no. 10. — P. 34–40.
8. Freda S. E. Microfacet wavelength-scaling of the BRDF No. Afit-enp-16-j-015. Air force institute of technology wright-patterson afb oh wright-patterson AFB United States, 2016.

ІГРОВИЙ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ІГРАХ ЖАНРУ RPG

Шестопалов С. В., Григорюк Д. К.

Показана важливість ігор жанру role-playing game (RPG) на сьогоднішній день. Відзначена важлива роль ігрового штучного інтелекту (ІШІ) в цьому жанрі. Представлене поняття ігрового штучного інтелекту. Проаналізовані недоліки ІШІ в кращих іграх жанру RPG. Наведено неваді дії ІШІ в сучасних AAA проєктах. Показано історію становлення ІШІ від початкового етапу (на основі правил) до сучасного — адаптивного. Розглянуто основні методи реалізації ІШІ. Запропоновано найкращі методи реалізації ІШІ для ігор жанру RPG. Зазначено, що гарно спроектований ІШІ дозволяє неігровим персонажам вести себе більш реалістично, що робить більш цікавим геймплей та занурює гравця в гру.

The importance of role-playing games (RPG) today is shown. The important role of game artificial intelligence (GAI) in this genre is noted. The concept of game artificial intelligence is presented. Analyzed game artificial intelligence in the best

games of the RPG genre. Unsuccessful actions of GAI in modern AAA projects are presented. The history of the formation of GAI from the initial stage (based on rules) to the modern — adaptive is shown. The main methods of implementation of GAI are considered. The best methods of realizing GAI for RPG games are presented. It is noted that well-designed GAI allows NPCs to behave more realistically, which makes gameplay more interesting and immerses the player in the game.

На сьогоднішній день ігри займають чи не перше місце в сфері розваг у світі. Практично кожна людина принаймні пробувала грати в комп'ютерні, консольні або мобільні ігри. Одним із найбільш популярних жанрів сьогодення є жанр *role-playing game (RPG)*. В даному жанрі, окрім «відігравання ролі», чимале значення має ігровий штучний інтелект (ІШІ), який суттєво впливає на сприйняття геймплею в цілому. Основною складовою будь-якої сучасної гри є не надсучасна графіка, фізика а захоплюючий геймплей. Жодна людина не буде грати в гру лише через гарну картинку на моніторі. Для того, щоб геймплей був цікавим, необхідно, щоб були детально пропрацьовані ігрові механіки та поведінка керуємих комп'ютером персонажів (*NPC — Non-Player Character* — неігровий персонаж) була максимально наближеною до поведінки реальних людей, тварин і т. д. За поведінку *NPC* відповідає ігровий штучний інтелект (ІШІ) (не слід плутати з поняттям «штучний інтелект»).

Ігровий штучний інтелект (англ. *Game artificial intelligence*) — набір програмних методів, які використовуються в комп'ютерних іграх для створення **ілюзії інтелекту** в поведінці персонажів, керованих комп'ютером (*NPC*). ІШІ, крім методів традиційного штучного інтелекту, включає також алгоритми теорії управління, робототехніки, комп'ютерних графіків та інформатики в цілому [1].

Останнім часом спостерігають суттєві проблеми з ІШІ як в невеликих іграх, так і в іграх рівня *AAA*. Невдалу роботу ІШІ можна спостерігати в грі від *Bethesda — The Elder Scrolls V: Skyrim*, коли стражники або вороги не реагують ні на рух головного героя (інколи не помічають його навіть при наближенні впритул), ні на звуки [2]. При цьому навіть при виявленні головного героя стражники або вороги перестають його переслідувати, якщо він віддаляється від них буквально на декілька метрів. Аналогічні проблеми наявні і в *Kingdom Come: Deliverance* від компанії *Warhorse studios* [3], й у всій серії *Assassin's Creed* від *Ubisoft* [4] і навіть (хоча й в меншій мірі) в одній з найкращих *RPG* останнього десятиліття — *The Witcher 3: Wild Hunt* від компанії *CD Project Red* [5]. В зазначених іграх окремо слід згада-

ти «неадекватну» поведінку стражників або ворогів при колективній атаці на головного героя.

Враховуючи вищесказане, вибір та проектування методів ІШІ для ігор жанру *RPG* на сьогоднішній день є досить актуальною задачею. Для вирішення поставленої мети необхідно дослідити існуючі методи ІШІ, що зараз використовуються в *AAA* проектах жанру *RPG* та обрати сукупність найліпших для реалізації поведінкової моделі *NPC* в даному жанрі.

Для вирішення поставленої задачі спочатку розглянемо історію розвитку ІШІ.

1. Історія розвитку ІШІ. Номінально днем появи ІШІ, який здатний «думати» і моделювати свою поведінку на основі дій гравця, вважається 22 травня 1980 року [6]. Саме в цей день вийшов *Pac-Man*, і привиди, що невтомно переслідують бідного «Пакмена», стали справжнім нічним кошмаром геймерів 80-х. Їх інтелект, як і раніше, не міг похвалитися далекоглядністю, але при цьому вони «бачили» гравця по прямій траєкторії. Тобто в алгоритмі дій не враховувалися множинні розвилки лабіринту і привиди вибирали маршрут до гравця випадковим чином. Саме подібна недосконалість інтелекту привидів робила їх поведінку найчастіше «помилковою», але тим самим більш реалістичною і непередбачуваною.

Наступною віхою ІШІ можна вважати гру — *Dune 2*, що вийшла в 1992 році. На початку 90-х років концепція ІШІ, який діє незалежно від гравця і самостійно розвиває свою базу, здавалася чимось неймовірним. Але уважні гравці з легкістю угледіли патерни, за якими діють комп'ютерні суперники, як, наприклад, алгоритм побудови одних і тих же будівель в незмінному порядку. І ця проблема стосується практично всього ІШІ в іграх, чия суть існування полягає в конфронтації з гравцем.

Наступний етап розвитку штучного інтелекту в іграх пов'язаний з «безсмертним» симулятором людського життя — *The Sims*, випущеним у 2000 році. Творіння Уїлла Райта було приречене на успіх, адже *The Sims* давав можливість відчувати себе Богом і розпоряджатися людськими життями. Персонажі в грі жили своїм життям, спілкувалися один з одним, займалися дозволяям, знаходили проблеми і т. д. І все це без участі гравця!

Щоб створити «сімів» з максимально достовірною людською поведінкою, Уїлл Райт вирішив в якості прообразу взяти людей. Використавши як основу піраміду потреб по Маслоу, він розставив очки

пріоритету для кожної окремої категорії потреб: фізіологічні, потреби в безпеці, соціальні і т. д. Таким чином, стежити за поведінкою «смів» було вкрай цікаво. Вони по суті були відображенням людей.

Як би розробники відеоігор не старалися наділити комп'ютерних персонажів розумом і кмітливостю, однак електронний «болванчик», в будь-якому випадку, нескінченно далекий від реальних людей. ІШІ діє в заздалегідь заданому алгоритмі і повторює одні й ті ж помилки раз за разом. Єдиний порятунки в ситуації, що склалася, — це ІШІ, що здатний самонавчатися, і в великих іграх є кілька реалізацій (*Director AI* з *Left 4 Dead 2*, який здатний аналізувати дії гравця та на підставі цього вирішувати, яких супротивників протиставляти гравцеві, яку зброю розташувати на локаціях і яку погоду створити на рівні в даний момент). Необхідно також згадати *Metal Gear Solid V*, в якому ІШІ здатен адаптуватися до тактики геймера (наприклад, може забезпечити військових окулярами нічного бачення, якщо гравець вирішить влаштувати диверсії в нічний час доби). В цих іграх застосовується так званий адаптивний ІШІ, здатний адаптуватися до поведінки гравця.

Частіше всього наділити *NPC* ІШІ намагаються розробники ігор жанру *RPG*. Ідея наявності розпорядку дня у *NPC* стала практично повсюдним стандартом. Можна згадати останнього «Відьмака» або навіть *Kingdom Come Deliverance*. Правда, реалізація досі «шкутильгає на обидві ноги».

2. Існуючі методи реалізації ІШІ. Завдання штучного інтелекту полягає в «сприйнятті» (наприклад, отримання зображення поверхні, що знаходиться перед об'єктом, та намагання інтерпретувати побачене) і прийнятті, на основі сприйнятого, обміркованого рішення.

Щоб штучний інтелект міг приймати обмірковані рішення, йому необхідно якимось чином сприймати середовище, в якому він знаходиться. У простих системах таке сприйняття може обмежуватися простою перевіркою положення об'єкта гравця. У більш складних системах потрібно визначати основні характеристики і властивості ігрового світу, наприклад, можливі маршрути для пересування, наявність природних укриттів на місцевості, області конфліктів і т. д. При цьому організатори повинні придумувати спосіб виявлення і визначення основних властивостей ігрового світу, важливих для системи ІШІ. Наприклад, укриття на місцевості можуть бути заздалегідь визначені дизайнерами рівнів або заздалегідь обчислені при завантаженні або компіляції карти рівня. Деякі елементи необхідно обчислювати на льоту, наприклад, карти конфліктів і найближчі загрози.

Існують різні методи реалізації ІШІ. Розглянемо найбільш популярні серед них.

2.1. Система на основі правил. Найпростішою формою ІШІ є система на основі правил. Така система найбільш віддалена від справжнього штучного інтелекту. Набір заздалегідь заданих алгоритмів визначає поведінку ігрових об'єктів. З урахуванням різноманітності дій кінцевий результат може бути неявною поведінковою системою, хоча така система насправді зовсім не буде «інтелектуальною». Системи на основі правил є фундаментом ІШІ. Приклад системи на основі правил схематично зображено на рис. 1 [10].

Як видно на рисунку, в цьому прикладі зображені схеми руху кожного з привидів з гри *Pac Man*, де перший завжди рухається вниз та вправо, другий вліво та вниз, четвертий переслідує гравця а третій випадковим чином рухається вгору чи вниз. Кожен з видів руху складає систему правил для даного ІШІ.

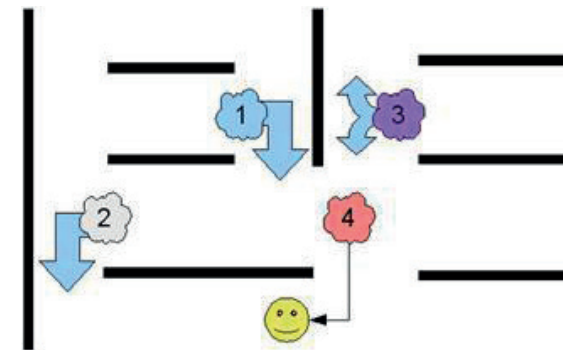


Рис. 1. Схематичне зображення системи на основі правил

2.2. ІШІ на базі кінцевих автоматів. Кінцевий автомат — машина з кінцевим числом станів — є способом моделювання і реалізації об'єкта, що володіє різними станами протягом свого життя. Кожен «стан» може представляти фізичні умови, в яких знаходиться об'єкт, або, наприклад, набір емоцій, які притаманні об'єкту. На рис. 2 [11] стани не мають ніякого стосунку до емоцій, вони відносяться до заздалегідь заданих поведінкових моделей, що вписуються в контекст гри [7]. Представлений ІШІ на базі кінцевих автоматів має декілька станів пошуку, патрулювання, атаки та звичайних станів, коли *NPC* роблять звичайні дії. На рис. 2 також представлені умови переходу

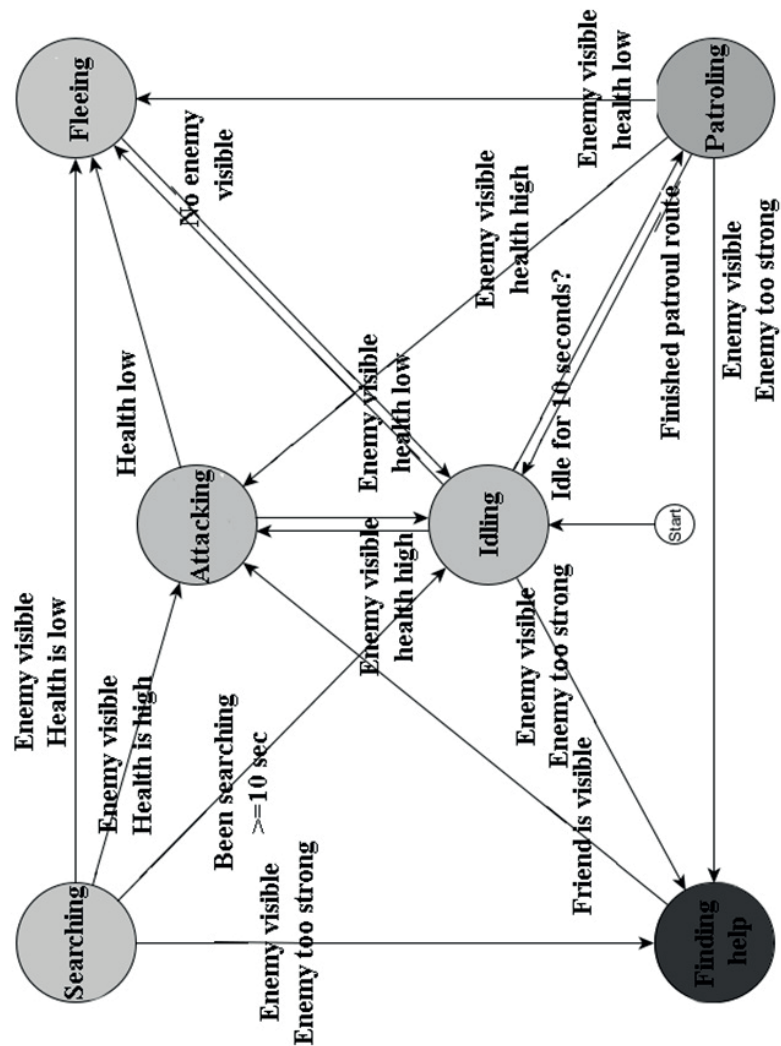


Рис. 2. Схематичне представлення кінцевих автоматів

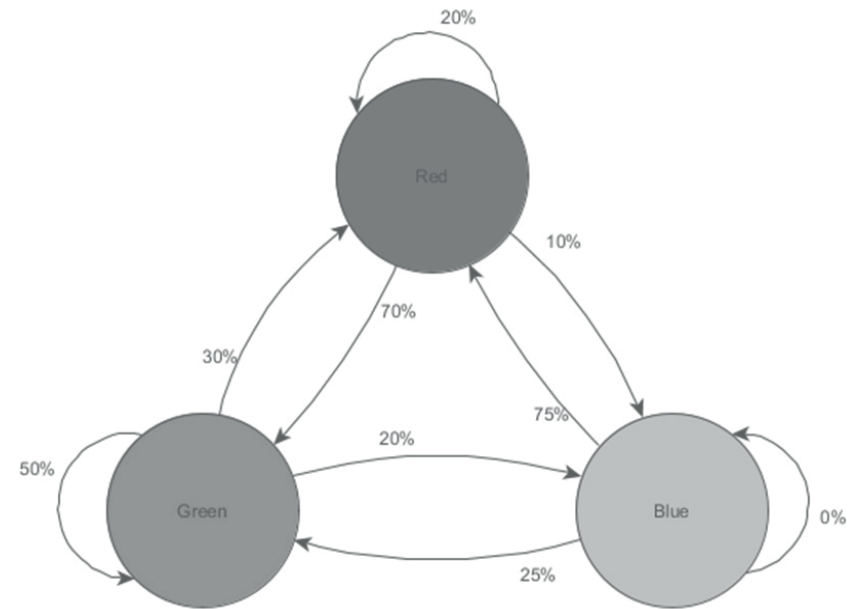


Рис. 3. Схематичне представлення адаптивного ІШІ

між цими станами (наприклад, якщо *NPC* бачить гравця та гравець має високий показник здоров'я, то він починає атакувати його, якщо *NPC* довго стоїть, він починає патрулювати і так далі).

2.3. Адаптивний ІШІ. Якщо в грі потрібна більша різноманітність, якщо у гравця повинен бути більш сильний і динамічний противник, то ІШІ повинен мати здатність розвиватися, пристосовуватися й адаптуватися. Здатність точно передбачати наступний хід противника вкрай важлива для адаптивної системи. Для вибору наступної дії можна використовувати різні методи, наприклад, розпізнавання закономірностей минулих ходів або випадкові здогадки. Схематичне представлення зображено на рис. 3 [12].

На рисунку зображено приклад, де *NPC* треба заходити в кімнати, що позначені різними кольорами, для пошуку гарного місця для пастки. На основі цих кімнат ІШІ будує граф, в якому для кожного з переходів до різних кімнат задані ваги для кількісного опису ймовірності потрапити у наступну кімнату заданого кольору. Значення ймовірностей потрапляння в кожну з кімнат досить рівномірне, що

не дає розуміння, яка ж саме кімната потрібна для пастки. Дані також можуть бути перекручені тим, що гравці рівномірно з'являються на карті і також можуть з однаковою ймовірністю з'явитись в будь-якій з цих трьох кімнат. Але на основі цих результатів можна прогнозувати рух гравців по карті.

Одним з найпростіших способів адаптації є відстеження рішень, прийнятих раніше, і оцінка їх успішності. Система ІШІ реєструє вибір, зроблений гравцем в минулому. Всі прийняті в минулому рішення потрібно якимось чином оцінювати (наприклад, в бойових іграх в якості міри успішності можна використовувати отримання або втрату переваги, втрачене здоров'я або перевагу за часом). Можна збирати додаткові відомості про ситуацію, щоб утворити контекст для рішень, наприклад, відносний рівень здоров'я, колишні дії і положення на рівні, розташування на рівні супротивників і т. д. Адаптивний ІШІ сприймає зовнішній світ завдяки «зору», «слуху», «дотику», «нюху»...

Віртуальні світи, в яких відбувається дія більшості ігор, мають величезну перевагу над реальним світом з точки зору ІШІ і його сприйняття. На відміну від реального світу, в віртуальних світах заздалегідь відома кількість буквально всього, що в них знаходиться: де серед ресурсів гри є список, де перераховується все, що існує в грі. Можна виконати пошук за цим списком, вказавши потрібний запит, і миттєво отримати інформацію, яку ІШІ зможе використовувати, щоб приймати більш обґрунтовані рішення. При цьому можна або зупинитися на першому ж об'єкті, який буде представляти інтерес для ІШІ, або отримати список всіх об'єктів в межах заданої дальності, щоб ІШІ зміг прийняти оптимальне рішення щодо навколишнього світу. Таким чином ІШІ «бачить» об'єкти навколо.

Разом з тим з кожною дією, яку може виконати об'єкт, пов'язується певний рівень звуку. Можна заздалегідь задати рівні звуку (для оптимізації ігрового балансу) або розраховувати їх на основі фактичної енергії звукових ефектів, пов'язаних з тими чи іншими діями (це дозволяє домогтися високого рівня реалізму). Якщо вироблений звук голосніше заданого порога, то ІШІ «почує» об'єкт, що видає звук.

Базова функціональність, необхідна для додання ІШІ «зору» і «слуху», може використовуватися і для імітації інших органів чуття (наприклад, нюху). Додавання нюху в гру не викликає особливих труднощів: досить призначити кожному ігровому об'єкту відмітний номер запаху і його інтенсивність. Інтенсивність запаху визначає два фактори: радіус запаху і силу запаху сліду, який залишається позаду. Активні об'єкти

гравців часто відстежують свої попередні положення з ряду причин. Однією з таких причин може бути використання об'єктів із запахом. З плином часу сила запаху сліду зменшується, слід «остигає».

Дотик в іграх підтримується з самого початку, оскільки в будь-якій грі вже є система автоматичної обробки зіткнень об'єктів. Досить домогтися того, щоб ІШІ реагував на події зіткнень і пошкодження.

У багатьох іграх зі стріляниною адаптивний ІШІ дозволяє ховатися ворогам за укриттями, якщо вони є поблизу, а не просто стояти під вогнем на відкритому місці. Для реалізації необхідно:

- по-перше, правильно розпізнати укриття на основі геометрії навколишнього світу;

- по-друге, потрібно правильно розпізнати укриття на основі об'єктів навколишнього світу.

Щоб визначити, чи здатне укриття захищати від атак, можна просто один раз порівняти розмір граничної рамки персонажа з розмірами можливого укриття. Потім слід перевірити, чи зможе персонаж захиститися цим укриттям. Для цього потрібно провести промені від положення стрілка до укриття. За допомогою цього променя можна визначити, чи «захищене» місце, що знаходиться за укриттям (якщо дивитися з боку стрілка), а потім позначити це місце як наступну мету переміщення.

Важливу роль при адаптивному ІШІ відіграє навігація. Схематичний приклад навігації зображено на рис. 4 [13]. Приймавши рішення, ІШІ потрібно зрозуміти, як переміщати персонаж з точки А в точку Б. Для цього можна використовувати різні підходи (наприклад, розширити просту подію зіткнення і забезпечити персонажів «пам'яттю»). Якщо персонажі здатні запам'ятовувати, де вони вже побували, то вони зможуть приймати більш грамотні рішення щодо того, куди повертати далі. Якщо ж повороти у всіх можливих напрямках не привели до удачі, ІШІ зможе повернути персонаж назад і вибрати інший маршрут руху. Таким чином, ІШІ буде проводити систематичний пошук шляху до мети.

В даному випадку ІШІ будує граф шляху для найкоротшого руху до необхідної точки. Найкоротший шлях обчислюється за правилами теорії графів.

Перевага цього методу полягає в невисокому навантаженні на обчислювальні ресурси. Це означає, що можна підтримувати велику кількість персонажів, що переміщаються, без уповільнення гри. Подібним чином може бути реалізоване і патрулювання в іграх. Необхідно лише вказати початкову, проміжні та кінцеву точки маршруту.

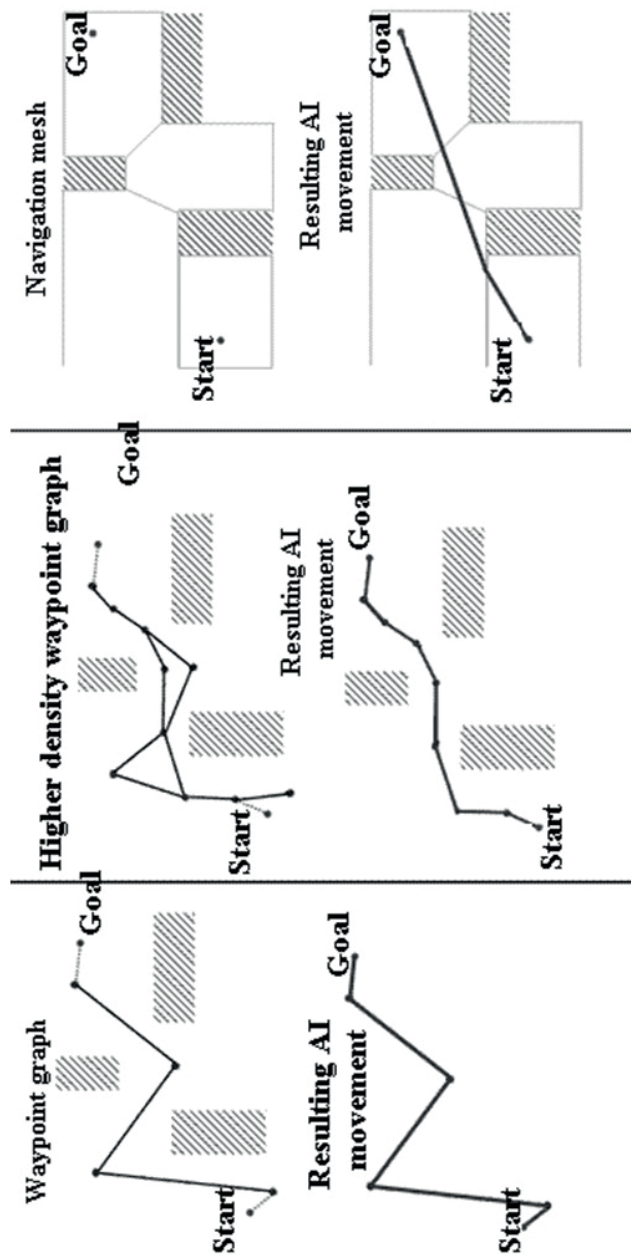
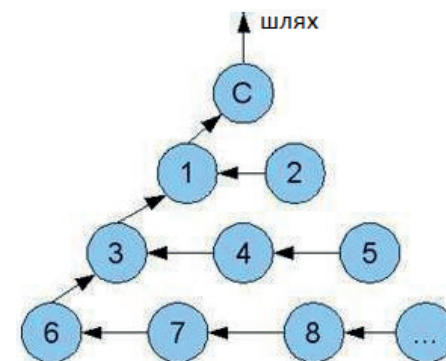


Рис. 4. Схематичний приклад навігації

2.4. Тактичний ІІІІ. Тактичний ІІІІ не обмежується тільки переміщенням, а включає також підтримку і ведення бою групою як єдиною командою. Приклад тактичного ІІІІ схематично зображено на рис. 5.

Рис. 5. Схематичне зображення тактичного ІІІІ — порядок руху «трикутним» строєм в грі *Overlord*

В грі *Overlord* рядові солдати пересуваються «трикутним» строєм (рис. 5). Маршрут повинен задавати командир групи (позначений літерою «С»). «Юніт 1» слідує за «Юнітом С» з такою ж швидкістю ззаду і трохи лівіше. «Юніт 2» стежить і рухається за «юнітом 1», знаходячись трохи в стороні. «Юніт 3» робить те ж саме, що і «юніт 1», але слідує за «юнітом 1», а не за командиром. Всі члени групи дотримуються цього порядку.

Командир приймає на себе обов'язки з планування та координації роботи команди. Для реалізації тактики груп можуть використовуватися раніше описані системи, наприклад, системи на основі правил або кінцеві автомати. Типові приклади поведінки груп в іграх: підтримка лікуванням (лікарі залишаються поруч з персонажами, які з найбільшою ймовірністю будуть атаковані), розвідка, прикриття вогнем, жертвування (заслін цінних персонажів менш цінними). Крім того, в групі може стати в нагоді ще один рівень аналізу — аналіз можливостей кожного члена групи. Важливо знати, в яких ситуаціях група може бути ефективна, коли група отримує перевагу, а коли група повинна відступити.

2.5. Стратегічний ІІІІ — це штучний інтелект вищого порядку, він управляє цілою армією і генерує оптимальні стратегії. Схематично приклад стратегічного ІІІІ зображено на рис. 6 [14].



Рис. 6. Схематичне зображення прикладу стратегічного ІШІ

На рис.6 зображено карту конфліктів, що використовується кожного разу, коли один з «юнітів-командирів» вступає в бій з противником, цей «юніт» оновлює карту конфліктів, передаючи такі дані як тип конфлікту, його сила, можливості і кількість «втягнутих» в конфлікт «юнітів».

Аналіз цієї інформації допоможе зробити потрібні висновки про ефективність розгорнутої оборони і нападу, а також про необхідні контрзаходи (залученні додаткових «юнітів»).

Стратегічний ІШІ зазвичай застосовується в стратегіях в реальному часі. Однак зараз його все частіше реалізують і в тактичних шутерах від першої особи, *RPG* та деяких інших ігрових жанрах. Керований гравцем командир може бути окремою системою або може бути налаштований як порожній об'єкт, який не має місця і графічного зображення, але оновлюваний і розмірковує. Командири підкоряються ієрархічним системам правил і кінцевим автоматам, які керують такою діяльністю як збір ресурсів, вивчення дерева технологій, створення армії і т. д. Як правило, для базової підтримки ігрових елементів не потрібно особливо складних інтелектів. Інтелект потрібен головним чином при взаємодії з іншими гравцями. Управління цією взаємодією (або боєм) — ось де перш за все працює ІШІ. Командир повинен вивчити карту гри, щоб виявити гравця, виявити основні області інтересу, наприклад, вузькі проходи, вибудувати оборону і проаналізувати оборону іншого гравця. Для цього використовуються карти рішень.

2.6. Карти впливу (Influence Maps). Стандартним завданням ІШІ є прийняття рішення про те, куди повинен рухатися агент. В шутері можна вибрати дію «Рухатися в укриття», але як вирішити, де знаходиться укриття, в умовах переміщення ворогів? Аналогічно з дією «Втеча» — куди безпечніше всього бігти? Або може знадобитися, щоб загони атакували слабе місце в обороні противника. Як визначити, де знаходиться це слабе місце? Всі ці питання можна вважати географічними завданнями, тому що задаємо питання про геометрію і форми оточення і положення в ньому сутностей. У грі всі ці дані швидше за все вже є, але надати їм сенс — непросте завдання. Наприклад, якщо треба знайти слабе місце в обороні ворога, то простий вибір позиції найбільш слабкої будівлі або зміцнення недостатній, якщо по флангах у них розташувалися дві потужні гарматні системи. Тут потрібен спосіб, що дозволяє врахувати локальну область і дає кращий аналіз ситуації.

Саме для цього призначена структура даних «карта впливу». Вона описує «вплив», який може надавати сутність на область навколо неї. Комбінуючи вплив декількох сутностей, створюємо більш реалістичний погляд на весь ландшафт. З точки зору реалізації апроксимується ігровий світ, накладаючи на нього 2D-сітку, і після визначення того, в якій клітині сітки знаходиться сутність, застосовується до цієї та оточуючих її клітин оцінка впливу, що позначає той аспект геймплея, який необхідно змоделювати. Для отримання повної картини накопичуються ці значення в тій же сітці. Після чого можна виконувати різні запити до сітки, щоб зрозуміти світ і прийняти рішення про позиціонування і цільові точки (рис. 7) [15].

Використовуючи карту впливу (рис. 7), можна вибрати безпечне місце для втечі. Для цього необхідно взяти карту впливу «ворогів» (*Foe*) і відняти карту «друзів» (*Friend*) — клітини сітки з найбільшим від'ємним значенням будуть вважатися безпечними.

Чим більш червона зона, тим небезпечніше, а чим зеленіша, тим безпечніше. Области, в яких вплив накладається один на одного, може повністю або частково нейтралізуватися, щоб відобразити конфліктуючі області впливу.

2.7. Дерево рішень — це система, в якій рішення вироблені у формі дерева та алгоритму, що ІШІ повинен пройти, щоб досягти «списку», який містить остаточне рішення щодо обираємої дії.

Розглянемо графічне представлення дерева рішень для алгоритму ракетки *Pong* за допомогою блок-схем (рис. 8) [16]. Кожну частину дерева рішень зазвичай називають «вузлом», тому що в ІШІ для опису

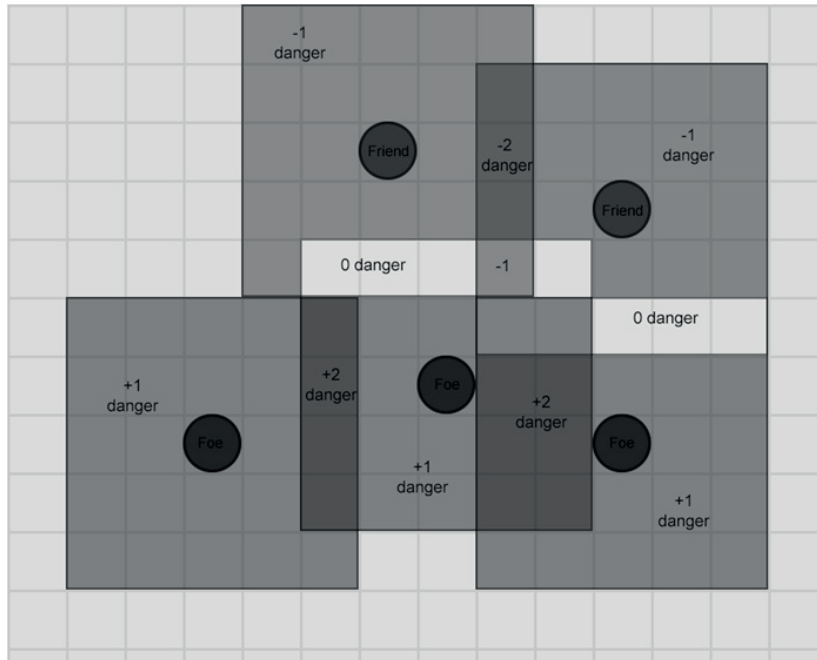


Рис. 7. Схематичне зображення карти впливу

подібних структур використовується теорія графів. Кожний вузол такого дерева може бути двох типів. Першим є вузол рішення, в якому проводиться вибір з двох альтернативних рішень на основі перевірки якості умов, що задані попереду цього вузла. Кожна така представлена альтернатива має свій власний вузол. Другий тип — це кінцеві вузли, суттю яких є виконання дії на основі остаточного рішення.

Алгоритм дерева рішень починає роботу з першого вузла, що називається «корінням» дерева, після чого або приймає рішення, переходячи на наступний дочірній вузол, що містить у собі умову або виконує збережене значення під час дії, після чого продовжує роботу з наступними вузлами.

На рис. 8 зображене дерево рішень для роботи ракетки в грі *Pong*, яка буде рухатись вліво, якщо м'яч знаходиться зліва. Якщо м'яч не знаходиться зліва, відбувається перехід до наступної умови, де вже перевіряється позиція м'яча справа. Якщо він дійсно справа, ракетка рухається до нього на ту сторону, але якщо ні, то ракетка лишається

на своїй позиції. Додавши деяку більшу кількість інших умов, гравцю буде важче виграти в ІШІ, що також зробить дерево рішень більш потужним.

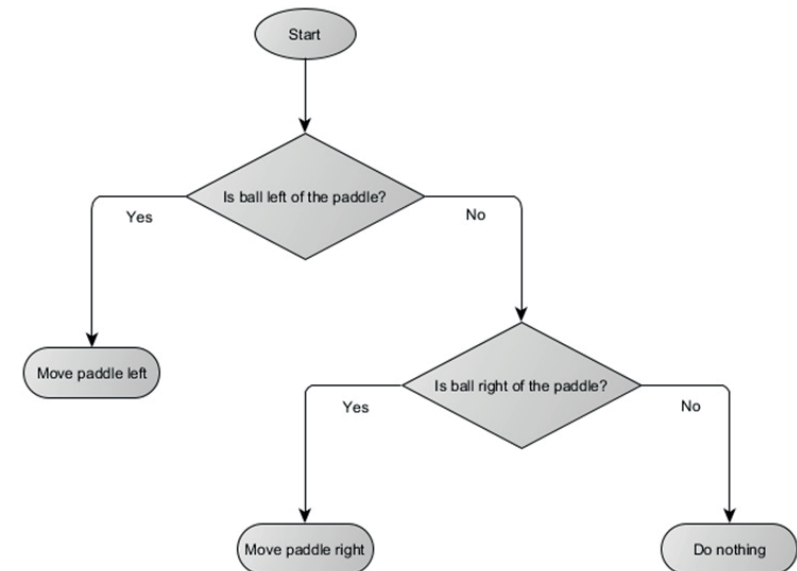


Рис. 8. Схематичне зображення дерева рішень

Коли дерева рішень конструюють автоматично на основі величезної кількості умов та рішень (наприклад, за допомогою алгоритму *ID3*), вони стають ще більш потужними, а також це робить їх ефективним і високопродуктивним інструментом для класифікації ситуації на підставі вхідних даних.

2.8. Деревя поводжень — система ІШІ, в якій рішення про те, в якому стані знаходиться об'єкт, існують окремо від самих станів. Схематичний приклад зображено на рис. 9 [17]. Існує кілька способів реалізації дерев поводжень, але суть для більшості однакова і дуже схожа на згадане вище дерево рішень: алгоритм починає роботу з «кореневого вузла», і в дереві є вузли, що позначають рішення або дії. Однак тут існують ключові відмінності: вузли тепер повертають одне з трьох значень: «успішно» (якщо робота виконана), «не успішно» (якщо виконати її не вдалося), або «виконується» (якщо робота все ще виконується і повністю не закінчилася успіхом або невдачею). Тепер немає вузлів рішень, в яких

треба вибирати з двох альтернатив, а є «вузли-декоратори», які мають єдиний дочірній вузол. Якщо вони «успішні», то виконують свій єдиний дочірній вузол. «Вузли-декоратори» часто містять умови, що визначають, чи закінчилося виконання успіхом (значить, потрібно виконати їх піддерево) або невдачею (тоді робити нічого не потрібно). Також вони можуть повертати «виконується». Виконуючі дії вузли повертають значення «виконується», щоб позначити, що відбуваються.

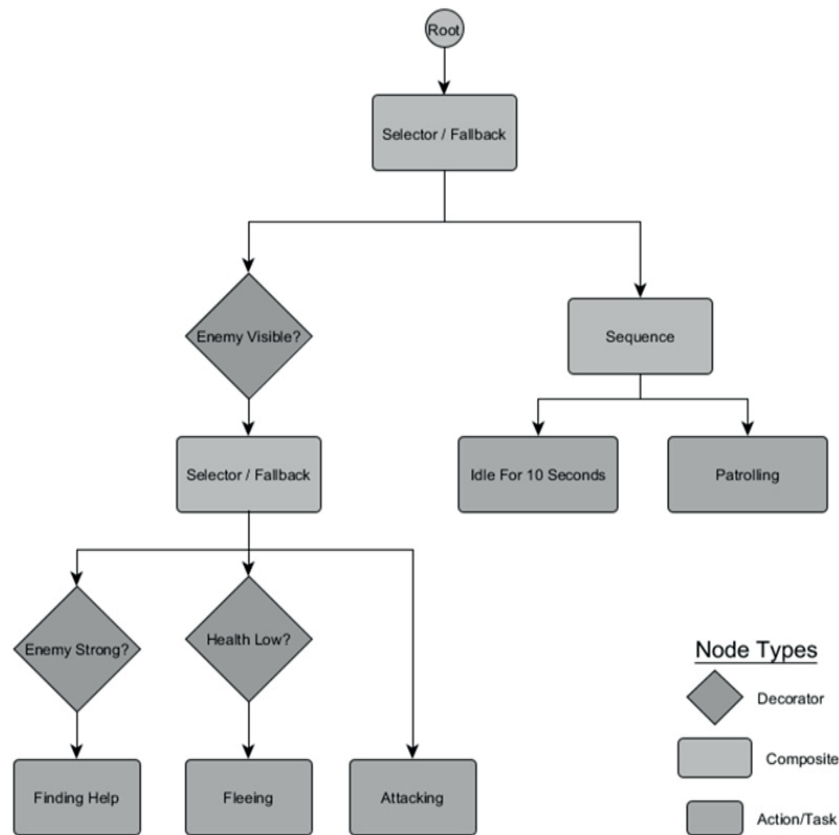


Рис. 9. Схематичний приклад дерева поведень

При використанні цієї структури немає необхідності в явному переході, наприклад, зі станів «Очікування» або «Патрулювання» в стан «Напад» або будь-який інший — якщо дерево обходиться згори вниз і

зліва направо, то правильне рішення приймається на підставі поточної ситуації. Якщо спостерігається ворог і у персонажа мало здоров'я, то дерево завершить виконання на вузлі «Втеча», незалежно від попереднього виконаного вузла («Патрулювання», «Очікування», «Напад» і т. д.).

Невеликий набір вузлів можна скомбінувати, створивши велику кількість складних поведень, і часто така схема буває дуже короткою.

2.9. Системи на основі корисності (Utility). У деяких іграх необхідне існування безлічі різних станів, але їм також потрібні більш прості та централізовані правила переходів. Також при цьому не потрібна повна реалізація дерева поведень. Тому тут краще обрати системи на основі корисності. По-перше, це такі системи, в яких у розпорядженні агента є безліч станів, з яких він обирає лише один на підставі відносної корисності кожної дії. По-друге, корисність тут це є довільна міра важливості або бажаності агента для виконання цієї дії. Завдяки розробці функцій для обчислення корисності кожної дії на підставі поточного стану агента та його оточення агент і буде вибирати найбільш потрібний стан, що підходить в даний момент часу. Схематичний приклад зображено на рис. 10 [18].

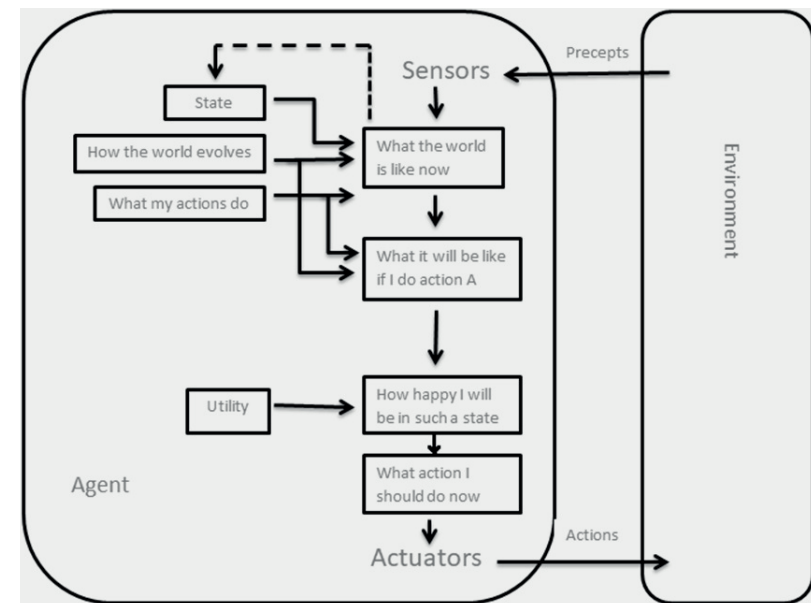


Рис. 10. Схематичний приклад системи на основі корисності

Стандартна система на основі корисності призначає якийсь довільний інтервал значень корисності — від 0 (абсолютно небажано) до 100 (абсолютно бажано), а у кожній дії може бути набір факторів, що впливають на спосіб обчислення значення. Використовуючи ці значення корисності, як зображено на рис. 10, агент буде обирати перехід до найбільш цінного стану (або, якщо агент вже знаходиться в цьому стані, залишення в ньому). Для більшої варіативності це може бути зважений, але все ж таки випадковий вибір дії з п'яти кращих або інші методи розширення функцій корисності.

Висновки. У результаті проведеного аналізу існуючих методів реалізації ІШІ можна зробити такі висновки. В іграх жанру *RPG* для реалізації дій «неагресивних» *NPC* краще усього використовувати ІШІ на основі кінцевих автоматів або дерева рішень. Для переходу між станами *NPC* можна скористатися умовами зміни часу доби, погоди, довкілля чи дій гравця. Для реалізації «агресивних» *NPC* краще усього використовувати адаптивний ІШІ разом з деревом поведень. Якщо мова йде про групу *NPC*, то вже потрібно також використовувати карти впливів, конфліктів та техніки тактичного чи стратегічного ІШІ. Якщо ж ІШІ має робити досить прості дії, то для його реалізації може бути потрібна лише система на основі правил, але використовувати цю систему не рекомендується, щоб не повернутися до вищеописаних проблемам сучасних *RPG*. Цей підхід дещо архаїчний і майже вичерпав себе.

Гарно спроектований ІШІ дозволяє *NPC* вести себе більш реалістично, що робить більш цікавим геймплей та занурює гравця в гру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ігровий штучний інтелект [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Игровой_искусственный_интеллект (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
2. The Elder Scrolls V: Skyrim [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/The_Elder_Scrolls_V:_Skyrim (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
3. Warhorse Studios [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Warhorse_Studios (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
4. Assassin's Creed [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Assassin%E2%80%99s_Creed (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
5. The Witcher 3: Wild Hunt [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/The_Witcher_3:_Wild_Hunt (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
6. Еволюція штучного інтелекту в іграх [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cadelta.ru/games/id2306> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
7. Розробка штучного інтелекту для ігор [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/265679/> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
8. Огляд технік реалізації штучного інтелекту для ігор [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/420219/> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
9. Artificial Intelligence in video games: Examples Вікіпедія [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence_in_video_games#Examples (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
10. Рисунок системи на основі правил [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://hsto.org/files/bba/167/874/bba167874a2c45c5b2c569412024b431.jpg> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
11. Рисунок системи кінцевих автоматів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://hsto.org/getpro/habr/post_images/ee0/a7b/262/ee0a7b2621204b58f17703a71b78ed67.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
12. Рисунок прикладу адаптивного ІШІ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://hsto.org/getpro/habr/post_images/e43/53b/691/e4353b691807e7476a2255f91dc2f248.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
13. Схематичний приклад навігації [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://medium.com/@FerCortesF/ia-videojuegos-representaci%C3%B3n-de-mapas-29a011c23f61> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
14. Приклад стратегічного ІШІ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://hsto.org/files/11b/430/803/11b4308036bf43a4a7de55f83801335.JPG> (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
15. Схематичне зображення карти впливу [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://hsto.org/getpro/habr/post_images/726/4db/e7b/7264dbe7b1834f3602b36deddc723163.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
16. Схематичне зображення дерева рішень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://hsto.org/getpro/habr/post_images/34e/4a2/17e/34e4a217e703a6af9b51b5cfbec7370f.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.
17. Схематичний приклад дерева поведень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://hsto.org/getpro/habr/post_images/9b9/0f2/d18/9b90f

2d18ce7b78b8a9a0673b8cde3d2.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.

18. Схематичний приклад системи на основі корисності [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://1.bp.blogspot.com/aN8yDiiVXk/XhLXF1FkpII/AAAAAAAAABCA/mi3BdIKT_cM2GvFwH4K7pKgPIRFbIw_UgCLcBGAsYHQ/s1600/4.png (дата звернення 11.10.2020) — Назва з екрана.

Розділ II

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ І КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE SELF-ADAPTING GRIPPER

Habuiev K., Yehorov V.

Розглянуто актуальність розробки системи управління для саморегульованого захоплювача робота-маніпулятора. Розібрана основна тенденція розвитку сучасних захоплюючих пристроїв для роботів. Запропонований підхід включає аспект галузі 4.0, а саме HRC (співпраця людських роботів), модулі мехатроніки. Основною метою розробки є поліпшення якості роботи робота з об'єктом, одночасно сприяючи HRC шляхом мінімізації програмування для кінцевого користувача. Також наводиться статистика / діаграма основних програм вибору та розміщення.

The relevance of developing a control system for the self-adjustable gripper for the manipulator robot was considered. The main trend in the development of modern gripper devices for robots is considered. The approach under consideration includes an aspect of industry 4.0, namely HRC (human robot collaboration), mechatronics modules. The main objective of the development is to improve the quality of the robot's handling of the object, while promoting HRC by minimising programming for the end user. The statistics/diagram of the main pick&place applications is also given.

1. Introduction. Today, robotics is rapidly gaining momentum in its development, and the number of cases for applying robotic solutions is increasing day by day. The use of robots in pick&place today accounts for the vast majority of all applications. By pick&place we mean the categories of tasks: palletizing/depalletizing, packaging, bin picking, stacking/destacking, machine tending. It is for such tasks that gripper handling systems are used. The development of such systems for moving objects is an important area of robotics development.

There are various types of grippers in the world that operate on a compressed air system (pneumatic) or that operate on electricity (electromechanical). The latest trend in the development of 'flu' is the adaptive gripping systems. Adaptivity to capture means the ability to capture an object

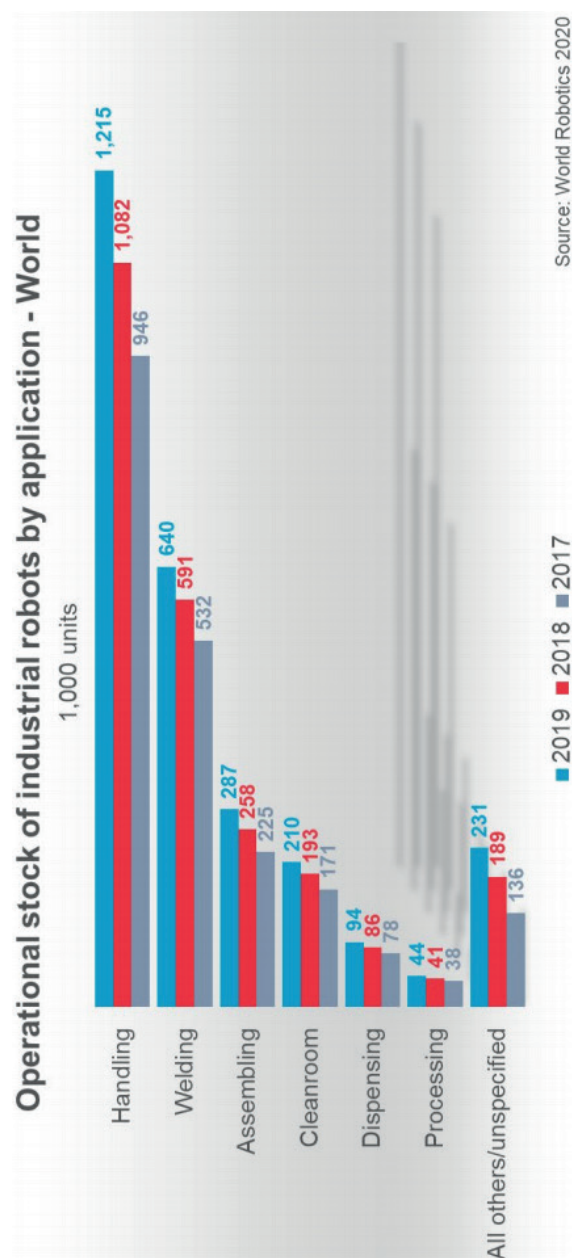


Fig. 1. Statistics on the distribution of robotic tasks. Source International Federation of Robotics

of any shape, any material. However, in 80 % of the developments of such devices, the main know-how is the design of the gripper, mechanics and materials of the fingers to grip. The remaining 20 % of developments in the direction of adaptability fall on electromechanical systems.

The objective of the development is to develop a logical algorithm and a system to ensure that the process of gripping and holding an object is managed. The main task of such an ACS is to apply sufficient force to hold the object. In doing so, it is important that the force applied does not lead to deformation of the object. The design of such a system will take into account the previously unknown coefficient of sliding of the outer covering of the object and the size of the object (maximum permissible length and width of the object is 100x100 mm).

The main purpose of the gripper is to apply forces and moments to the object in order to grasp and hold it. The stability and reliability of the capture process depends on parameters such as: clutch strength; adhesion between the “fingers” of the gripper and the object; geometric properties of the object plane; weight of the object; external forces arising during transportation of the object.

2. Review and analysis of robotic gripping systems at global market.

A new trend towards robotic grippers is the development of adaptive grippers. Most developments in such devices are now focused on adaptive systems. However, while there is a lot of attention being paid to such developments around the world by various companies and research centres in robotics and universities, there is a lack of attention to the intelligent systems and feedback systems that need to be considered in such developments. Around 80 % of existing developments in adaptive grippers are mechanical. By mechanical component we mean these categories:

1. Finger design features;
2. Material for the production of “fingers”;
3. Principle of operation of gripper mechanics.

The first and second categories of development are very adjacent to each other, as the main emphasis in the development of fingers is on maximum elasticity and strength of the fingers. The design of the fingers is designed in such a way that they can adjust to the shape of the object at the moment when the grip holds the object. The degree of elasticity and flowability of the fingers to the shape of the object is ensured precisely by the material or design features of the fingers. If the focus is on the material, then — elastic and wear-resistant materials are used. Such materials are usually rubberised and have “soft” properties.

3. Adaptive gripper analysis in the global marketplace

The Hannover Messe 2019, the world's largest and most important trade fair, showed the relevance of such grippers. Around 60 % of industrial grippers were using the principle of adaptability. Several companies such as Hannover Messe can be considered leaders in the development of this field:

1. Festo;
2. OnRobot;
3. Robotiq.

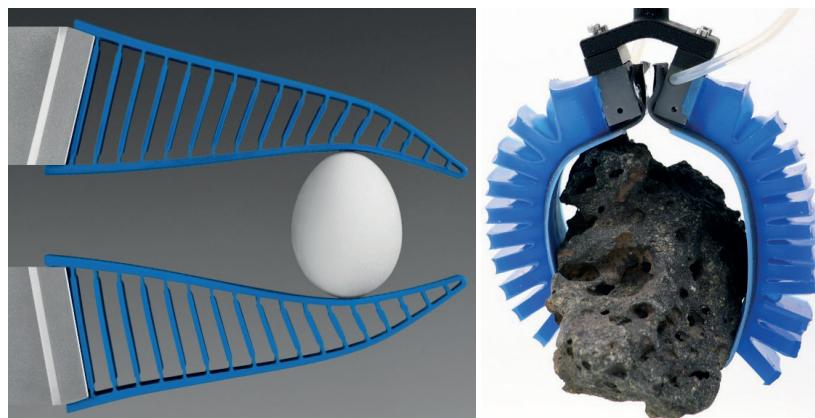


Fig. 2. An example of an adaptive design of the fingertips

Festo is an undisputed leader in this development direction, as they are not just developing the ability to capture a facility of any shape. Developers are clearly focusing on adaptability in combination with bionics. No company, no research centre/university, has exhibited such a range of bionics devices at the world's largest automation and robotics exhibition.

4. Approach to robotic gripper development based on assurance management system

The main purpose of the gripper is to apply forces and moments to the object in order to grab it and hold it. The stability and reliability of the capture process depends on parameters such as:

1. The adhesive force applied to the object;
2. Adhesion between the grip "fingers" and the object;
3. Geometric properties of the object plane
4. Weight of the object.



Fig. 3. Examples of grippers provided by Festo, Hannover Messe 2019

The above parameters cannot be optimised immediately or in advance for all objects and technological situations. Furthermore, the parameters listed above are not known a priori. The only parameter that can be known in advance is the weight of the object. The lack of information about these parameters causes limitations in the operation of the capture.

In order to ensure the most perfect process of gripping and transporting an object — it is necessary to apply such force that at the same time will allow you to hold the object with a high degree of grip and at the same time will not allow you to grab the object deformed and apply extra energy costs. Thus, the fingers of the grip — it is necessary to generate forces a little more than necessary. This principle of operation will be similar to the fingers of a human hand as long as a person tries to hold an object while minimising their energy costs. If a person makes less effort on an object than necessary, the object will slip out of their hands. Provided that the hand makes the effort much more than necessary, the human muscles will be under a lot of stress, which leads to their weakening, i.e. it is an unnecessary energy expenditure. The optimal force to hold an object, in humans, is due to a change in the tactile sensation of friction between the fingers and the object.

Such an automatic control system, which will be able to adapt itself to an object of unknown shape and weight in advance, will provide — a guarantee management system.

The main task of the guarantee management system in this work will be to ensure the optimal value of friction force between the fingers and the object. Depending on the force applied to the object, a certain amount of

friction will form between the fingers and the surface of the object. The proposed maintenance condition of the object is based on the formula below:

$$2F_T > G \pm F_D$$

or:

$$2F_T = k(G \pm F_D).$$

Where, k is the stock factor, F_T is the friction force between the gripper fingers and the object, G is the force of gravity, F_D is the dynamic force ($m \cdot a$) associated with the acceleration of the gripper. In addition, the object is affected by the clamping force F_z and the normal reaction of the object N .

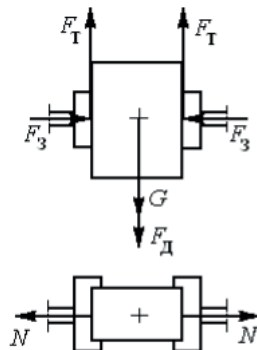


Fig. 4. Distribution of forces when maintaining a facility

The guarantee management system will be implemented on the basis of several feedback loops. The first feedback loop will be force sensors placed on the fingers of the grip. These sensors will make it possible to measure the applied gripping force to the object, thereby allowing the fingers to adjust the static friction and sliding friction force between the objects.

A second feedback loop will also be implemented based on the force measurement sensor. It is planned to install a force sensor on the body of the capture itself, which will be able to provide data on the approximate weight of the object. That is, at the moment the object is captured and lifted, a comparison will be made with the load applied to the gripper, and the force of gravity of the object will actually be calculated, which is necessary in the future.

The third feedback loop will be implemented by a rangefinder or vision sensor. The main task of this loop will be to track whether or not the object is slipping or being held under its own force of gravity from the fingers of the gripper. If a high-precision MEMS ultrasonic rangefinder is used, it will be

possible to track the slippage of an object from their fingers by increasing the reception time of the ultrasonic wave. If a vision system is used, slippage can be tracked by changing the focal length of the object to the camera or in pixel ratio.

The fourth feedback loop — it will allow you to grab your own workflow to adapt to the size of the object. This feedback loop will be supported by a vision system that will be able to recognise the contours of an object and calculate its dimensions. This means that it will be possible to calculate the length, width, height and diameter of the object.

However, the main focus of the control system will be on the operation of the first and second feedback loops, ensuring sufficient grip on the object without the consequences of its deformation.

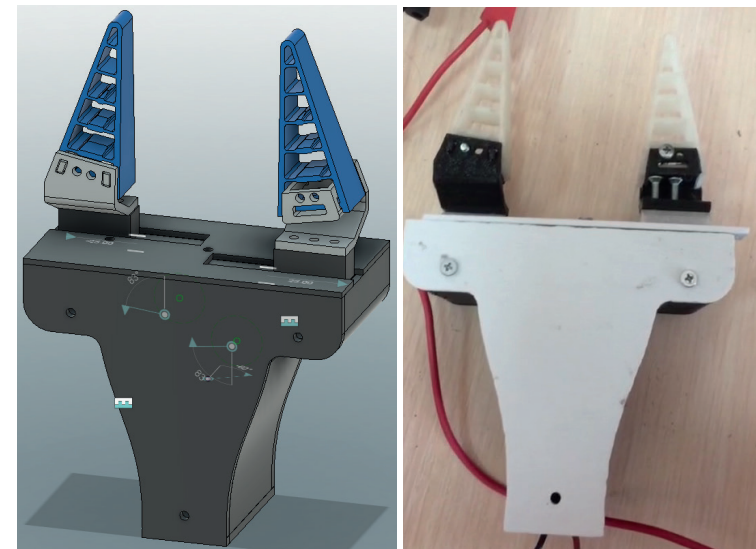


Fig. 5. The first working prototype of the grip developed in the mechatronics and robotics laboratory

5. Conclusion. Based on an analysis of the existing industrial market, a number of problems that have not yet been resolved can be summed up. The result is that the market has been seized by the really poor and, to some extent, even over-saturated. But unfortunately, this oversaturation is only noticeable in the area of ordinary non-intellectual grabbers who have no feedback or control systems. Secondly, there is a noticeable over-saturation

in the development of adaptive fingers, i.e. over-saturation on the part of constructive developments and combinations of different materials. Thirdly, the existing grabbing fingers that are available on the market have only a few flagships, which partly have a control system and a number of sensors. Fourthly, the problem may be that most designs focus on the wrists and hands with five fingers.

Based on an analysis of the literature and developments in the area of adaptive management systems, it can be concluded that there are indeed developments, that there are algorithms for adaptive management systems and that there are different approaches to solving these problems. Starting with the development of fingers with several degrees of freedom and their control system, and ending with the improvement of finished products. But despite this, the development of a fingertip control system that has not yet been noticed is not based on an SAU.

It can therefore be concluded that the research topic is topical. As part of the work, it is planned to develop an automatic control system that will simultaneously allow you to hold an object and at the same time not to make extra effort to minimise energy consumption and deformation of objects, i.e. the necessary clutch will be analysed. This principle of grip operation will be ensured by a guarantee management system. The algorithm is planned to be developed both for the direct course of the grip and for the reverse course of the grip. By forward and reverse, we mean the content of the object with the fingers of the grip when they are moved or moved apart. The guarantee control system will be used on two-point and three-point grippers. The design of the gripper and their operating principle will be developed independently. A number of sensors will be integrated into the automatic control system to provide feedback, including technical vision. The vision system will make it possible to analyse not only the type of object (self-correction for an object to grip it), but also allow the manipulator to recognise the location of an object without a specific grip in space in advance.

In this way, the “robot-robot manipulator” bond will be provided with maximum information and work as close as possible to the human hand principle.

REFERENCES

1. Jianshu Zhou1, Shu Chen, Zheng Wang 2017 A Soft-Robotic Gripper With Enhanced Object Adaptation and Grasping Reliability, IEEE robotics and automation letters.

2. Yulong Zhang, Qingsong Xu 2017, Adaptive Sliding Mode Control With Parameter Estimation and Kalman Filter for Precision Motion Control of a Piezo-Driven Microgripper, *IEEE transactions on control systems echnology*.
3. Q Xu 2015 Digital sliding mode prediction control of piezoelectric micro/ Nano positioning system, *IEEE Trans. Control Syst. Technol*.
4. Liaw H. C., Shirinzadeh B., Smith J. 2008 Sliding-mode enhanced adaptive motion tracking control of piezoelectric actuation systems for micro/ Nano manipulation, *IEEE Trans. Control Syst. Technol*.
5. Kai Xu, Huan Liu 2016 Continuum Differential Mechanisms and Their Applications in Gripper Designs, *IEEE transactions on robotics*.
6. Birglen L., Gosselin C. M. 2006 Force analysis of connected differential mechanisms Application to grasping, *Int. J. Robot. Res*.
7. Industrial Federation of Robotics: [e-source] — URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe>

TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS AUTOMATION PRINCIPLES

Larshin V. P., Lishchenko N. V.

Розроблено методологію автоматизації проектування і виготовлення деталей машин з важкооброблюваних матеріалів на основі побудови інтегрованої CAD/CAM/CAE системи автоматизованого конструкторського і технологічного проектування та ієрархічної інтелектуальної системи управління, що містить три рівні ієрархії. На верхньому (організаційному) рівні виконується автоматизоване проектування конструкції і технології виготовлення продукту. На середньому (координаційному) рівні виконується прив'язка до існуючих засобів технологічного оснащення і налагодження окремих фрагментів керуючої програми. На нижньому (виконавчому) рівні створюється остаточно і виконується керуюча програма. Відмінною особливістю пропонуваної методології автоматизації на етапах проектування і виробництва є використання зворотного зв'язку з нижнього рівня на середній і верхній рівні для корекції прийнятих там рішень з урахуванням наявних повноважень управління на цих рівнях ієрархії. Таким чином, зазначеним рівням ієрархії інтелектуальної системи відповідає ієрархія об'єктів і суб'єктів управління з урахуванням повноважень (і можливостей) управління на кожному рівні.

A methodology of computer-aided design and manufacture of machine parts from difficult-to-machine materials have been developed on the basis of building an integrated CAD/CAM/CAE system for the computer-aided constructive and tech-

nological design and based on the concept of hierarchical intelligent control system containing three levels of hierarchy. At the top (organizational) level, computer-aided design of the product structure and its manufacturing technology is performed. At the middle (coordinating) level, a binding to existing technological equipment and debugging of individual fragments of the control program are performed. At the lower (executive) level, the control program is finally created, debugged and executed. A distinctive feature of the proposed automation methodology at the design and production stages is the use of feedback from the lower level to the middle and upper levels to correct the decisions made there, taking into account the existing management powers at these levels of the hierarchy. Thus, the indicated levels of the hierarchy of the intelligent system correspond to the hierarchy of objects and subjects of management and control, taking into account the powers (and capabilities) of management and control at each level.

1. Problem and tasks statement. The emergence of the flexible manufacturing systems (FMS) means a significant departure from conventional manufacturing methods and first of all in the connection with the new automation concepts. An FMS is a production facility which consists of flexible manufacturing modules connected by an automated material handling system under computer control. The progress of computerized CNC machines has made it possible to introduce wide-scale automation both in production preparation and in production as it is. In the first case (production preparation or pre-production), computer-aided design systems are used, and in the second case (production itself) — automatic control systems. In this regard, questions of terminological uncertainty often arise: automation processes, design processes, technological processes, control processes, etc.

To the present, manufacturing has been recognized as a skillful function (activity) which is implemented in an automated workshop. Manufacturing is no longer merely machining or fabrication. Moreover, manufacturing systems are covering everything from order receipt through the product shipment. There is no need to assert (this is clear from the very beginning) that all the stages of this complex integrated manufacturing system will be successfully implemented with the presence and active creative participation of relevant highly qualified specialists. However, there are a number of difficulties in understanding the essence of automation of technical systems, which complicate both the development of automation systems and the teaching of training courses on automation.

Technical systems automation has two main definitions and respectively areas of activity, these are: (1) replacement of manual labor by machine (including not only a force machine but a computer also) work (everyday definition) and (2) development (preparation and implementation) of new tech-

nologies that cannot be implemented manually (philosophical, i.e., scientific definition). Here, the technologies are technological processes and operations. The main goal of automation, e.g., in mechanical engineering technology, is to increase the productivity of technological processes and technological systems. Moreover, according to the first definition and direction of activity, the automation gives an insignificant positive effect or even a negative one. The second automation definition includes the following scientific categories: general scientific methods (e.g., modeling, optimization, management and control); scientific approaches (e.g., phenomenological, probabilistic, frequency); working techniques (e.g., spectral analysis, experiments design).

This paper deals with conception, principles, and procedures of automation as well as smart education on automation in modern society in connection with the well-known tendencies of “Sustainable development”, “Industry 4.0”, and “Artificial intelligence”. In addition, the paper allows you to take a fresh look at the concept “Inside CAD/CAM/CAE”.

In accordance with the general systems theory (systems engineering) one of the important initial stages of a system development is an adequate representation of the system from the concept stage to the running one. The system design includes its description, modelling and simulation, which may be represented in the respective formats: verbal description (text) in ordinary languages, graphical representations (block diagram, graphs), special signs systems (e.g., programming languages), mathematical model, a timing diagram, the combined method, etc. Selecting an appropriate way of the system representation depends on the purpose of the study. If the purpose is to create conditions to ensure the desired course of a process, when the process is the developing system, then it should be said of the system operation and control algorithms. In this case the technical system is being developed in the form of a control system model. In this modelling (versus simulation) the system is a mathematical abstraction that is taken as a model of a dynamic phenomenon which represents the dynamic phenomenon in terms of mathematical relations. According to H. Freeman [1] such a system is characterized by the input u , state x and output y (Fig. 1, a).

The input u in the form of a set of time functions (e.g., in time domain) is the external forces (input variables) which are acting upon the grinding process that represents the dynamic phenomenon mentioned. The state x is a form of the system state-space representation, which with the input affects the output y . The output y in similar form is the measures of the grinding process result, i.e. output quantities belonging to the ground part (part accuracy, surface finish and surface integrity).

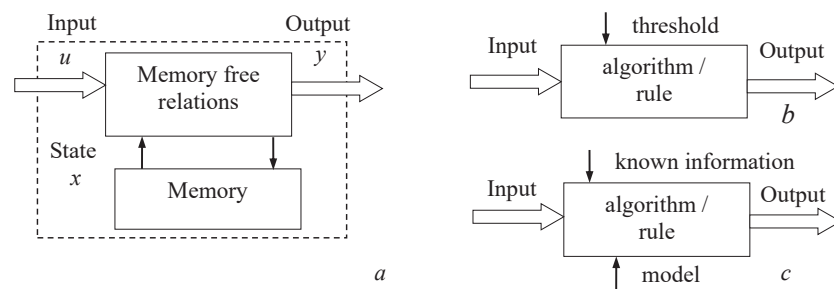


Fig. 1. Representation of the grinding system based on “input-state-output” model (a) [1] and those for decision making without (b) and with (c) a model [2]

Similarly, the system approach have been taken by H. K. Tunshoff et al [2] to explain a strategy of decision making while interpreting a process monitoring in grinding without (Fig.1, b) and with (Fig.1, c) a process model. There are two approaches for the decision making. Firstly, the distinctive values of the processed signals are to be compared with a predetermined threshold in order to identify the status of the grinding process by means of preparing a process database (memory stored). This approach is the preferred choice for sensor signals used to interpret output quantities. Secondly, a model based identification approach may be when various kinds of physical or empirical models are employed which utilize known relationships (Fig.1, c). As a result, the calculated value is compared with a threshold in order to evaluate the process. This approach is the preferred choice for the sensor signals used to monitor the process quantities which are equal to the system state ones. Because of its complexity and significance, the model based identification approach involves understanding the process model (don't confuse with the grinding system model). In this connection the methods for process modelling are of great importance as they are in decision making.

Methods for process modeling discussed further. Besides the model definition mentioned above another term to explain 'model' may be as follows: a model is the abstract representation of a manufacturing process which serves to link causes and effects [2]. That is why the description of the correlation of different quantities of a real system to correspond to a modeled system is the dominant task of process models. In grinding, the dependences of settings on process quantities such as grinding forces F , temperature T , and acoustic emission AE as well as on output quantities such as surface roughness and surface integrity (surface layer quality like grinding burns and residual stresses) may be mapped too on the basis of F. Klocke' representation [3]. Taking into account this representation, a model of technological grinding system can be represented as follows. The model consists of the following state parameters: Q'_w , V'_w , F , T , AE , where Q'_w is the specific material removal rate in $\text{mm}^3/(\text{s} \cdot \text{mm})$, V'_w is the specific material removal in mm^3/mm .

Questions of the theory of hierarchical intelligent control systems are considered in work [4], however, the material presented there is not tied directly to the automation of technological processes and systems at the stages of production and its preparation. These issues are considered in more detail in our works [5–8]. Besides, in work [9] questions of the development of educational disciplines on automation, as well as questions on the technology of teaching in higher education institution are considered.

2. The main purpose of presentation is to explain the essence of the automation terminology and propose a new methodological approach to production (technological) management at the stages of its preparation and implementation. To achieve this goal, a number of tasks arise, namely: technical systems-constructions and technical systems-processes, technological processes features, automation and its connection with technologies, application of general control theory as an automation toolkit, etc.

3. Presentation of the main material. Let's introduce some definitions. Firstly, a process as a technical and technological system is a set of elements that are located in time, i.e., in a temporal sequence of ordered actions, e.g., the sequence of operations, operation steps, working passes, etc. Secondly, a technological system is a construction (space structure), i.e. not a process, that is assembled by a technologist for the technological process (operation) duration. This structure (as a technical system-construction) is a collection of elements that are located in space (machine, fixture, cutting tool, workpiece).

The modern understanding of CAD/CAM/CAE automation is considered taking into account the product life cycle, which contains a number of time stages, including product design (CAD), process design (CAM), and

process systematic engineering calculations (CAE) with special computer software packages, as well as the product testing and the process assessing (Fig. 2).

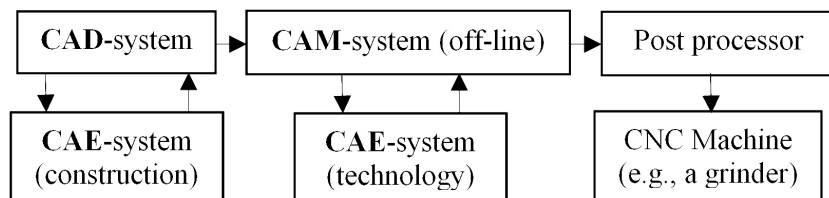


Fig. 2. Integrated system CAD/CAM/CAE in mechanical engineering technology

At the CAD stage of the product life cycle the product design is performed with computer packages (Compass, Solid works, AutoCAD, Inventor, etc.). According to Fig. 2 optimization of the product constructive parameters is carried out using the constructive systematic engineering calculations (ANSIS, MATLAB, etc.) of CAE-system (construction).

At the CAM stage of the product life cycle, process design is performed with special computer packages (COMPASS Auto-project, Vertical, Mastercam, T-flex, etc.). According to Fig. 2 optimization of the process parameters is carried out using the constructive systematic engineering calculations (COMSOL Multiphysics, MathCAD, MATLAB, etc.) of CAE-system (technology). It makes it possible to justify the adopted technology from the product quality assurance point of view, for example, the thermal fields and thermal stresses calculations in grinding to predict grinding burns and microcracks, etc.

At the post-processor stage (Fig. 2) a control program for CNC machine is prepared to control the machine at the production stage. This is the stage of actual implementation of work, for the sake of which all the previous stages of the product life cycle have been completed.

The diagram in Fig. 2 shows that the CAM system output is a control program for a CNC machine, which is generated by a post processor and fed to this machine, for example, the gear grinding CNC machine Hufner Rapid 1250. It is obvious that the technological parameters assumed at the pre-preparation stage (gear grinding system state and output parameters) will not coincide with the actual ones of the operating grinding system. As follows from Fig. 2, it is not possible to bring these parameters to equality by making adjustments to the CAE-system in automatic mode (without human intervention). However, it is possible to introduce a novel negative

feedback, as well as new blocks and connections between them, as shown in Fig. 3. In this case, the actual on-line values of the gear grinding system parameters (state and output parameters) can be compared automatically with their calculated values that are available in the CAE-system and obtained either by analytical calculations or by online modeling in the appropriate FEM (finite element method) or FDM (finite difference method) system, e.g., in the FEM-system COMSOL Multiphysics.

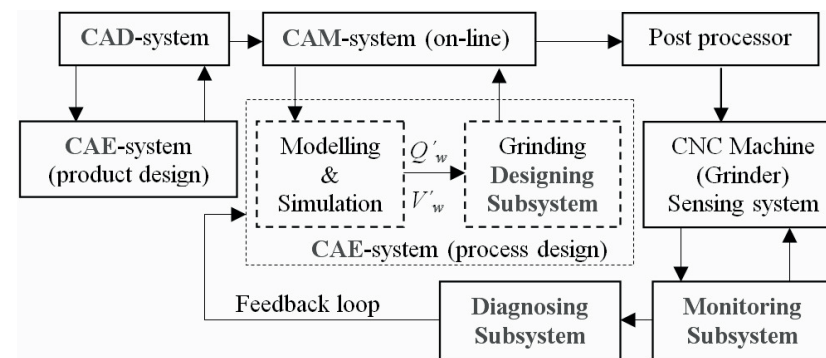


Fig. 3. Integrated CAD/CAM/CAE system shows a novel feedback introduced to implement on-line self-training of the grinding system

Technological parameters Q'_w and V'_w in Fig. 3 are the specific material removal rate (Q'_w) during grinding, for example, gear grinding, and the specific material removal (V'_w). The first (Q'_w) characterizes the intensity of the stock removal, the second (V'_w) — the current grinding wheel resource consumption. The value of these parameters is formed taking into account the actual parameters of grinding. Self-learning of the gear grinding system presented in Fig. 3 is carried out in a closed (through negative feedback) loop. Three additional subsystems are directly involved in this: designing, monitoring, and diagnosing ones (Fig. 3). As it follows from Fig.3 analysis, the component CAE in the integrated system CAD/CAM/CAE is used both at the stage CAD and at the stage CAM. The need to use the component CAE at stage CAM is due to the lack of appropriate information sensors at the stage of the control program executing on a CNC machine. This corresponds to the well-known principle in the theory of automatic control, when the information arising from the simulation of the operation performed on the CNC machine according to the model of this operation, for example, the operation of profile gear grinding, is taken into account in

the control system loop. For example, the direct measurement of the profile grinding temperature is very difficult. This measurement is as difficult as it is actual one. The presence of a temperature model in the control system loop (CAE-system at the CAM stage in Fig.3) makes it possible to estimate this parameter and to use it for the gear grinding operation control.

In accordance with the general systems theory methodology, the structure and parameters of the developed technological system are found based on the goal that must be achieved during the development and operation of this system. For multi-stage technological design processes at each of the intermediate design stages, there is an intermediate goal, the achievement of which is the task of these intermediate stages. Thus, a multi-stage design procedure corresponds to a “tree of goals”, the top of which is the ultimate (final) goal facing the developer of the technological system.

The task of formalizing the design procedure lies in the multi-stage linking of intermediate goals and intermediate decisions made in such a way as to ensure the achievement of the ultimate goal. In this sense, the design process is an object of control. The project developer (human or computer) is the governing body (regulator or controller), and the developer's ultimate goal is to create a project in the form of a certain information model (Fig. 4).

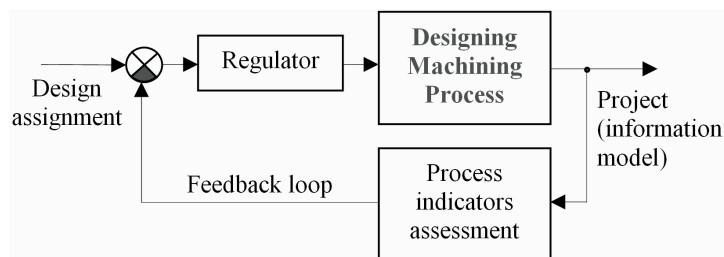


Fig. 4. Computer-aided design process control system (pre-production stage)

The decisions making by a developer are essentially control (regulatory) actions leading to a change in the structure and parameters of the designing technical system-process or technical system-construction. At the stage of production preparation (Fig. 4), the controlling (estimating) values are economic indicators (productivity, technological cost, economic profit). The input reference for the design of a technological process as it applied, for example, to mechanical engineering technology, is a drawing of a part with the corresponding requirements for dimensional accuracy and quality of the surface and surface layer. Further, there is a governing body (regulator

or controller) that makes a decision on the development of a technological process. Feedback (feedback loop in Fig. 4) allows to identify the discrepancy between the requirements of the drawing at the input of the system and the estimated parameters of the part, which can be assumed with the accuracy of the information model of the created object (e.g., a part to be machined). In addition, at the stage of production preparation the information model of the future technological process is assessed according to the above economic indicators. If, for example, the technological cost of the created object (objective function) does not correspond to the specified value, then the design (creation of the information model) will continue. This relentless action will continue until an acceptable value of the objective function is achieved due to changes in the parameters and structure of the technological process being developed. Thus, with automated technological design, it is possible to optimize the creating technological process.

At the production stage, the input reference entering in a closed loop system with feedback (Fig. 5) is the parameters obtained at the stage of production preparation. At the output of the system (Fig. 5) the actual technological indicators (for example, the parameters of accuracy and quality of the processed part) are recorded.

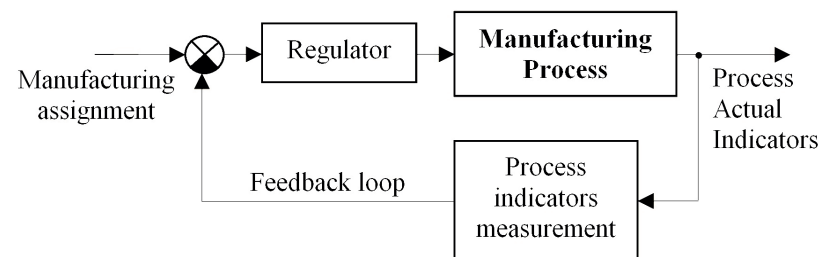


Fig. 5. Process automatic control system (production stage)

4. Conclusions and the prospects for further development.

1. It is shown that the technical systems automation in industrial production, for example, in mechanical engineering, is not so much a formal (step-by-step) replacement of manual labor with automated means (control devices), but rather the design and development of new technological processes that are difficult or impossible to perform manually or by means of mechanization only.

2. When automating technical systems (processes or time sequences of actions and constructive forms or space structures), the objects of automa-

tion should be clearly distinguished, to wit: technical systems-processes and technical systems-constructions. An example of a technical system-construction is the technological system “machine — fixture — cutting tool — part being machined”. This construction is created by a technologist for the technological operation time duration.

3. It is shown for the first time that in the integrated system CAD/CAM/CAE, the component CAE is used both at the stage CAD and at the stage CAM. The need to use the component CAE at stage CAM is due to the lack of appropriate information sensors at the stage of the control program executing on a CNC machine. This corresponds to the well-known principle in the theory of automatic control, when the information arising from the simulation of the operation performed on the CNC machine according to the model of this operation, for example, the operation of profile gear grinding, is taken into account in the control system loop.

4. Based on the general control theory for systems with negative feedback, a mechanism for making technological decisions at the stages of production preparation (pre-production) and production itself is shown. At the stage of production preparation, a project of the future technological process (information model) is created, and at the stage of production itself, the created project is additionally improved achieving the set goals and taking into account the existing disturbances that cannot be taken into account in the production preparation stage. This is a manifestation of the management hierarchy in the intelligent production management system.

5. It is shown that production management is based on a hierarchical (i.e., multilevel) decision-making principle, which follows from the multi-stage design processes and automation of the corresponding technological solutions. At the same time, intermediate goals correspond to intermediate solutions. The “tree of intermediate decisions” corresponds to both the “tree of intermediate goals” and the “tree of intermediate controls”. For the first time, the concept (principle) of management powers at different levels of the hierarchy of a unified intellectual control system was introduced.

6. The new provisions for the automation of technical systems (both processes and constructions) developed in the paper are universal in nature, regardless of the specifics of production processes (mechanical engineering, biomedical technologies, food industry, medicine and pharmaceuticals, etc.) and can be used in the development of intelligent control systems covering the stages of production and its preparation.

7. The main reasons for designing and implementing industrial automation, e.g., CNC machines, robotized complexes, flexible manufacturing

systems and so on are the economic benefits of the systems. They include first of all greater productivity, which means a greater output and a lower unit cost on a smaller floor space. While automation requires fewer machine operators or none at all, the remaining staff (production engineers, computer programmers and maintenance engineers) has to be highly skilled. This requirement can be met by improving the quality of education on automation in higher educational institution with the account of the principles discussed in the monograph chapter.

REFERENCES

1. Freeman H. Discrete-time systems: an introduction to the theory / Herbert Freeman. — New York: J. Wiley, 1965. — 241 p.
2. Tunshoff H. K. Process monitoring in grinding / H. K. Tunshoff, T. Friemuth, J. C. Becker. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*. — 2002. — Volume 51, Issue 2. — P. 551–571.
3. Klocke F. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping / Fritz Klocke. — Berlin: Springer, 2009. — 433 p.
4. Lima P. U., Saridis G. N. Design of intelligent control systems based on hierarchical stochastic automata. — Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1996. — 155 p.
5. Lishchenko N., Larshin V. Profile gear grinding temperature determination. *4th International Conference on Industrial Engineering, ICIE*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Publ. Springer, 2019. — pp. 1723–1730.
6. Lishchenko N., Larshin V. Grinding temperature model simplification for the operation information support system. *Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology*. — 2019. — Vol. 2, № 3. — P. 197–205.
7. Lishchenko N., Larshin V. Temperature models for grinding system state monitoring. *Applied Aspects of Information Technology*. — 2019. — Vol. 2, № 3. — P. 216–229.
8. Larshin V., Lishchenko N. Intermittent grinding temperature modeling for grinding system state monitoring. *Applied Aspects of Information Technology*. — 2020. — Vol. 3, № 2. — P. 58–73.
9. Larshin V., Lishchenko N. Educational technology information support. *Herald of Advanced Information Technology*. — 2019. — Vol. 2, № 4. — P. 317–327.

MULTIIMMITTANCE LOGIC ELEMENTS

Lishchynska L. B.

Логічні елементи відіграють вирішальну роль в обчисленні. З розвитком інформаційних технологій з'являються нові вимоги до швидкодії, завадостійкості, енергоефективності, розміру логічних елементів тощо. Реалізація цих вимог не завжди можлива на основі відеоімпульсних логічних елементів. Альтернативним варіантом є розробка радіочастотних логічних елементів, здатних виконувати логічні операції на несучій частоті сигналу. Одним із різновидів радіочастотних логічних елементів є іммітансні логічні елементи, які в якості інформаційного параметра використовують характер іммітансу або значення іммітансу, зокрема мультимімітансні логічні елементи, які використовують комбінації різних іммітансів.

Logical elements play a crucial role in computing. With the development of information technologies there are new requirements for speed, noise immunity, energy efficiency, size of logic elements, and so on. The implementation of these requirements is not always possible on the basis of video-pulse logic elements.

An alternative is the development of radio frequency logic elements capable of performing logic operations on the carrier frequency of the signal. One of the types of radio frequency logic elements are immittance logic elements, which as an information parameter use the nature of the immittance or the value of the immittance, in particular multiimmittance logic elements that use combinations of different immittances.

Fundamentals of immittance logic and basic principles of construction of logical elements on its basis are investigated in [1–6].

The functional completeness of the system has logical functions “NO”, “AND”, “OR”. Their structural implementation using the information basis immittance consider the example of the first option immittance positive logic, where a logical unit corresponds to negative real impedance “ $1 \rightarrow R^{(-)}$ ”, a logical zero — positive real impedance “ $0 \rightarrow R^{(+)}$ ”. In this case, block diagrams of basic logic elements have the form shown in Fig. 1.

They are multipoles in which valid input impedance R_{out} depends on the input immittance R_g . Quantitatively this relationship is determined by the conversion factor immittance T_i , which in general are complex variables. That choice of ratios ensures the implementation of the necessary logic functions represented in the table. 1–3.

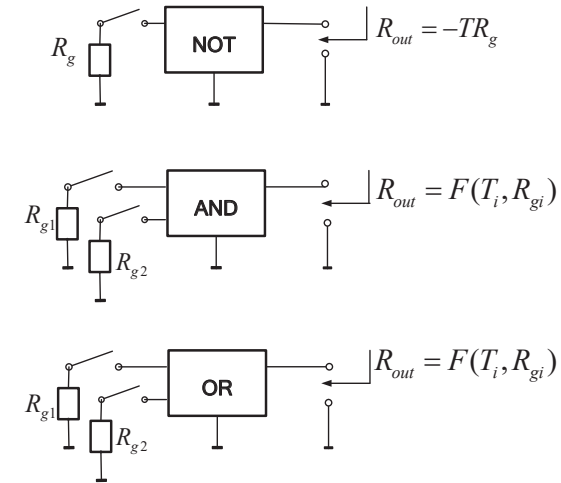


Fig. 1. Block diagrams of the basic immittance logic R-elements for positive logic

Table 1

The truth table of immittance logic R-element “NO”

R_g	X	R_{out}	Y
$R_g^{(+)} > 0$	1	$-TR_g < 0$	0
$R_g^{(-)} < 0$	0	$TR_g > 0$	1

Table 2

The truth table of immittance logic R-element “AND”

R_{g1}	X1	R_{g2}	X2	R_{out}	Y
$R_{g1}^{(-)} < 0$	0	$R_{g2}^{(-)} < 0$	0	$R_{out}^{(-)} < 0$	0
$R_{g1}^{(-)} < 0$	0	$R_{g2}^{(+)} > 0$	1	$R_{out}^{(-)} < 0$	0
$R_{g1}^{(+)} > 0$	1	$R_{g2}^{(-)} < 0$	0	$R_{out}^{(-)} < 0$	0
$R_{g1}^{(+)} > 0$	1	$R_{g2}^{(+)} > 0$	1	$R_{out}^{(+)} > 0$	1

The basis for the implementation of these logic elements are summarized immittance converters. Using generally complex value T_k and T_l by GIC possible combinations to ensure the implementation of necessary immittance logical functions. For example, to implement immittance logical

element “NOT” just use GIC of conversion rates $T_K < 0$ (Converter of negative immittance). Implementation of other logic functions require more complex structural solutions and the development of methods of synthesis of such structures.

Table 3

The truth table of immittance logic R-element “OR”

R_{g1}	X1	R_{g2}	X2	R_{out}	Y
$R_{g1}^{(-)} < 0$	0	$R_{g2}^{(-)} < 0$	0	$R_{out}^{(-)} < 0$	0
$R_{g1}^{(-)} < 0$	0	$R_{g2}^{(+)} > 0$	1	$R_{out}^{(+)} > 0$	1
$R_{g1}^{(+)} > 0$	1	$R_{g2}^{(-)} < 0$	0	$R_{out}^{(+)} > 0$	1
$R_{g1}^{(+)} > 0$	1	$R_{g2}^{(+)} > 0$	1	$R_{out}^{(+)} > 0$	1

Given the large number of immittance parameters and different approaches to the implementation of GIC and logic circuits based on them. Consider immittance method of synthesis of logic elements, which are used as an information basis R - immittance.

The algorithm of the synthesis consists of the following steps:

- Based on the restrictions imposed, justified the general block diagrams of logic elements being developed;
- Developed structure of fixed logic elements using different types GIC;
- Defined conditions that ensure the realization of basic logic functions;
- Develop practical implementation schemes immittance R -logic elements based on real transistor structure.

In general, the logic devices have input terminals, which connects convertible immittance W_{T_i} and output terminals, between which there turned immittance W_{out} (Fig. 2). The relationship between these immittance through quadripole having properties of generalized converter immittance (GIC). Such GIC be unearthed and grounded, serial and parallel appearance.

Introduction of the scheme and used in subsequent schemes switches “K” is conditional elements that mimic the appearance on the input terminals of the logical elements of the transformed immittance W_{g_i} .

Given that immittance logic devices are usually designed to run on high and ultra-high frequencies to reduce the impact of parasitic relationships, it is recommended to implement immittance logic devices with grounded GIC (Fig. 2 b, d). This can be used RLC — positive and negative immittance.

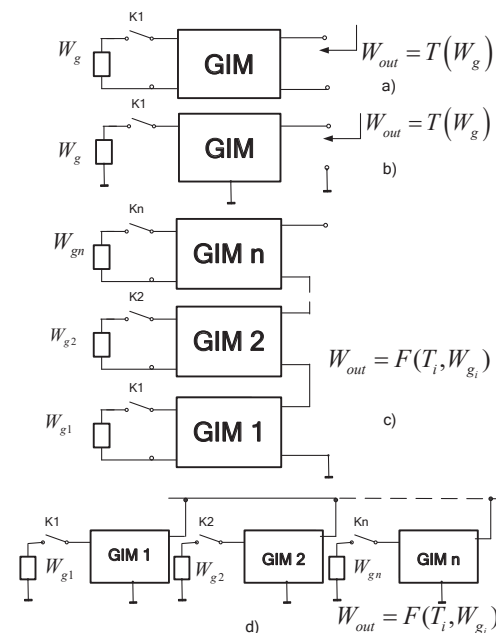


Fig. 2. Generalized block diagram of immittance logic elements

Consider the logic synthesis, used as an informative parameter active R — immittance ($W_g = R_g$). Assume for positive logic $R_g^{(+)} \rightarrow 1$, $R_g^{(-)} \rightarrow 0$. For negative logic, contrary $R_g^{(+)} \rightarrow 0$, $R_g^{(-)} \rightarrow 1$. As GIC be used as converters (AS) and inverters (I) immittance.

In order to simplify the synthesis assume that their conversion rates T_K and inversion T_I are valid values, which is true of the relatively-low frequencies. In this case there are two options: to positive GIC — $T_i > 0$; for negative GIC — $T_i < 0$. Thus, given that the generalized structural scheme immittance basic logic elements identified, the goal is the formulation of requirements for the elements of the device, which provide the necessary implementation of logical functions.

Block diagram of the immittance logical R-element “NOT” shown in Fig. 3, and its truth table — in table. 4.

Transformed immittance this circuit using the converter immittance equals $R_{out}^K = T_K R_g$. Where

$$T_K = R_{out} / R_g. \quad (1)$$

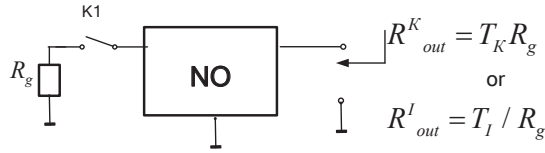


Fig. 3. Block diagram of immittance logic R-element “NO”

Table 4

The truth table of immittance logic R-element “NO”

R_g		R_{out}		T_K	T_I
$R_g^{(-)}$	0	$R_{out}^{(+)}$	1	< 0	< 0
$R_g^{(+)}$	1	$R_{out}^{(-)}$	0	< 0	< 0

For positive logic, substituting in (1) value R_{out} and R_g from the table. 4, we find that the implementation of logical functions “NO” is possible only in the case of a negative converter with immittance $T_K < 0$.

When using the inverter immittance converted immittance this scheme: $R_{out}^I = T_I / R_g$. Where

$$T_I = R_{out} R_g. \quad (2)$$

For positive logic, substituting in (2) value R_{out} and R_g from the table. 4, we find that the implementation of logical functions “NO” is possible only in the case of negative inverter with immittance $T_I < 0$. We get similar result when using negative logic. Thus, logic flow diagrams immittance R-item “NO” at the GIC have the form shown in Fig. 4.

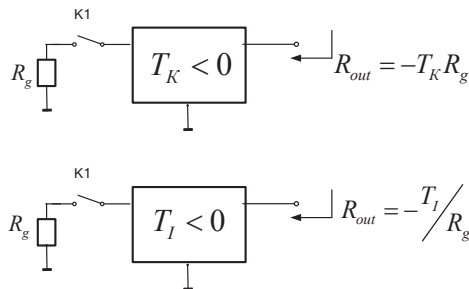


Fig. 4. Block diagrams of immittance logic R-element “NOT”

Logic elements “OR” and “I” are n-inputs and one output. In order to simplify the synthesis assume that $n = 2$. In this case, their generalized block diagram can be presented in Fig. 5.

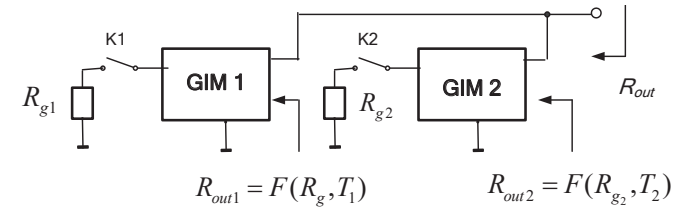


Fig. 5. Generalized block diagram of immittance logic R-elements “AND”, “OR”

Generalized block diagram of formed by two GIC having converted immittance $R_{out1} = F(R_{g1}, T_1)$ та $R_{out2} = F(R_{g2}, T_2)$, which included parallel output.

As a result, the output impedance of the circuit is:

$$R_{out} = \frac{R_{out1} R_{out2}}{R_{out1} + R_{out2}}. \quad (3)$$

In the case of construction of the logical element “OR” using positive logic, it is a truth table form shown in the table 5.

Table 5

The truth table of immittance logic R-element «OR»

R_{g1}		R_{g2}		R_{out}		$T_K^{(+)}$	$T_I^{(+)}$
(-)	0	-	0	-	0	+	+
-	0	+	1	+	1	+ -	+ -
+	1	-	0	+	1	+ -	+ -
+	1	+	1	+	1	+	+

Table. 5 (-) corresponds to a negative value immittance active (logical “0”), (+) positive value corresponds immittance active (logical “1”).

For the case of a positive converter immittance ($T_K > 0$), we have $R_{out1} = T_{K1} R_{g1}$, $R_{out2} = T_{K2} R_{g2}$.

Where $R_{out}^K = T_{K1} T_{K2} R_{g1} R_{g2} / (T_{K1} R_{g1} + T_{K2} R_{g2})$.

Let $T_{K1} = T_{K2} = T_K$, then

$$R_{out}^K = \frac{T_K R_{g1} R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}}. \quad (4)$$

From (4) we find the required conversion

$$T_K = \frac{R_{out}^K (R_{g1} + R_{g2})}{R_{g1} R_{g2}}. \quad (5)$$

According to initial data $T_K > 0$, but as follows from the table. 5 when $R_{g1}^{(-)} < 0$, $R_{g2}^{(+)} > 0$ and for $R_{g1}^{(-)} < 0$, $R_{g1}^{(+)} > 0$ This condition can be broken. To ensure it necessary to $|R_g^{(-)}| > R_g^{(+)}$.

For the case of a positive inverter immittance ($T_I > 0$), we have $R_{out1} = T_{I1} / R_{g1}$, $R_{out2} = T_{I2} / R_{g2}$. Where $R_{out}^I = T_{I1} T_{I2} / (T_{I1} R_{g1} + T_{I2} R_{g2})$.

Let $T_{I1} = T_{I2} = T_I$, then

$$R_{out}^I = \frac{T_I}{(R_{g1} + R_{g2})}. \quad (6)$$

From (6) we find necessary inversion coefficient

$$T_I = R_{out}^I (R_{g1} + R_{g2}). \quad (7)$$

According to the initial data $T_I > 0$, but as follows from table. 5 when $R_{g1}^{(-)} < 0$, $R_{g2}^{(+)} > 0$ and $R_{g2}^{(-)} < 0$, $R_{g1}^{(+)} > 0$ This condition can be broken. To ensure it necessary to $|R_g^{(-)}| < R_g^{(+)}$.

In the case of negative GIC we have: $\overline{R}_{out}^K = -R_{out}^K$; $\overline{R}_{out}^I = -R_{out}^I$, that this unit will implement a logical function “OR-NO” under the conditions $|R_g^{(-)}| > R_g^{(+)}$ — for the case of negative converters and immittance $|R_g^{(-)}| < R_g^{(+)}$ — for the case of negative immittance inverters.

To build a logical element “AND”, using positive logic, it is a truth table form shown in the table. 6.

Output immittance R_{out}^K and conversion rate T_K using positive converter immittance given by (4) and (5), whose analysis shows that for $T_K > 0$, for all input immittance R_{g1} and R_{g2} necessary to satisfy the conditions $|R_g^{(-)}| < R_g^{(+)}$. And when using positive immittance inverters on the basis of expressions (6) and (7), we find the necessary conditions for implementing logical functions “AND” $|R_g^{(-)}| > R_g^{(+)}$.

Table 6

The truth table of immittance logic R-element “AND”

R_{g1}		R_{g2}		R_{out}		$T_K^{(+)}$	$T_I^{(+)}$
—	0	—	0	—	0	+	+
—	0	+	1	—	0	+ —	+ —
+	1	—	0	—	0	+ —	+ —
+	1	+	1	+	1	+	+

When using negative GIC we have: $\overline{R}_{out}^K = -R_{out}^K$; $\overline{R}_{out}^I = -R_{out}^I$, i.e. the device the considered will implement the logic function “AND-NOT” under the conditions $|R_g^{(-)}| < R_g^{(+)}$, for the case of a negative converter immittance and $|R_g^{(-)}| > R_g^{(+)}$, in the case of applying negative immittance inverter. The analysis shows that in the case of negative logic required to input ratio immittance alter to the contrary (table 7).

For the conditions imposed on the ratio between the converted immittance R_{g1} and R_{g2} (table 7), which provide the appropriate implementation of logical function for this type of GIC proposed supplement convertible immittance additional compensating resistors R_1 and R_2 (Fig. 6.).

In parallel resistors connection convertible immittance is equal to

$$R_{in} = \frac{RR_g}{R + R_g}.$$

When $|R_g^{(-)}| = R_g^{(+)}$, we have $R_{in}^{(-)} = -\frac{RR_g^{(-)}}{R - R_g^{(-)}} < 0$. For $R_1 > |R_{g1}^{(-)}|$ and $R_2 > |R_{g2}^{(-)}|$ the condition is executed $|R_{in}^{(-)}| > R_{in}^{(+)}$, where $R_{in}^{(+)} = \frac{RR_g^{(+)}}{R + R_g^{(+)}} < R_g^{(+)}$.

In a series resistors connection convertible immittance is $R_{in} = R_g + R$.

For $R_1 > |R_{g1}^{(-)}|$ and $R_2 > |R_{g2}^{(-)}|$ the condition is executed $|R_{in}^{(-)}| < R_{in}^{(+)}$, where $R_{in}^{(+)} = R_g^{(+)} + R > R_g^{(+)}$.

Taking into account the amendments made immittance block diagrams of synthesized logic elements “AND”, “NAND”, “OR” and “OR-NOT” have the form shown in Fig. 6, 7.

Note the similarity of structural implementation of these schemes. The difference is only in the form of GIC, used and inclusion schemes compensating resistors R_1 and R_2 , providing the conditions presented in Table. 7.

Table 7

Table conditions of implementation for immittance logic R-elements “AND”, “NOT-AND”, “OR” and “OR-NO” on the GIC

The logical function «OR» and «OR-NO»			
Converter		Inverter	
$T_K > 0$	$T_K < 0$	$T_I > 0$	$T_I < 0$
Positive logic $R^{(+)} \rightarrow 1, R^{(-)} \rightarrow 0$			
$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$
«OR»	«»OR-NO»	«»OR»	«»OR-NO»
Negative logic $R^{(-)} \rightarrow 1, R^{(+)} \rightarrow 0$			
$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$
«OR»	«»OR-NO»	«»OR»	«»OR-NO»
Logic function «AND» and «NAND»			
Converter		Inverter	
$T_K > 0$	$T_K < 0$	$T_I > 0$	$T_I < 0$
Positive logic $R^{(+)} \rightarrow 1, R^{(-)} \rightarrow 0$			
$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$
«AND»	«NAND»	«AND»	«NAND»
Negative logic $R^{(-)} \rightarrow 1, R^{(+)} \rightarrow 0$			
$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} > R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$	$ R_g^{(-)} < R_g^{(+)}$
«AND»	«NAND»	«AND»	«NAND»

In the case of increasing the number of inputs of logic elements necessary for the converted value immittance R_{fi} and principles of their realizations does not change.

Thus, the basic principles of construction of multiimmittance logical elements, conditions of implementation for immittance logic R-elements “AND”, “NOT-AND”, “OR” and “OR-NO” on the GIC and basic schemes of their realization are explained.

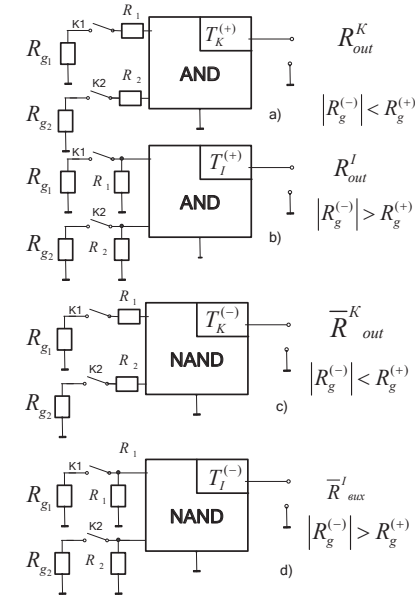


Fig. 6. Block diagrams of immittance logic R- elements “AND” (a, b) and “NAND” (c, d), implemented on the positive $(T_K^{(+)}, T_I^{(+)})$ and negative $(T_K^{(-)}, T_I^{(-)})$ converters and inverters immittance of compensating resistors R_1 and R_2

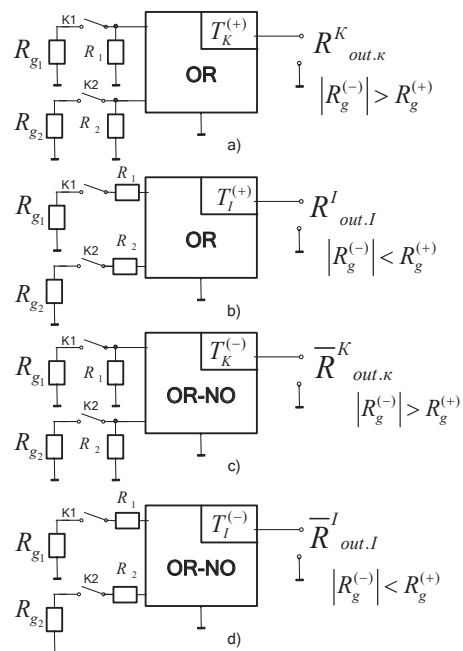


Fig. 7. Block diagrams of immittance logic R -element “OR” (a, b) and “OR-NO” (c, d) realized on the positive ($T_K^{(+)}, T_I^{(+)}$) and negative ($T_K^{(-)}, T_I^{(-)}$) converters and inverters immittance of compensating resistors R_1 and R_2

REFERENCES

1. Lishchynska L. B. Justification of Immittance fuzzy concept. *Measuring and computing in technological processes*. 2010. N 1. P. 20–25.
2. Lishchynska L. B., Filynyuk N. A. Immittance logic. *Information Technology and Computer Engineering*. 2010, N 2(18). P. 25–31.
3. Lishchynska L. B. Information multiparameter devices based on generalized immittance converters. Vinnytsya: VNTU, 2013. 219 p.
4. Lishchynska L. B. Evaluation of basic parameters of immittance logic elements. *Information technologies and computer engineering*. 2011. N3. P. 45–52.
5. Lishchinskaya L. B. Estimation of the Noise Immunity of Immittance Logic Elements. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2013. Vol. 58, No. 11. P. 1096–1101.
6. Lishchynska L. B. Multiparameter Generalized immittance converters based on single-chip semiconductor structures. Vinnytsya: VNTU, 2012. 244 p.

ANALYSIS OF RESEARCH METHODS IN CLINICAL AND DIAGNOSTIC LABORATORY

Sydorko I. I., Baitsar R. I.

Забезпечення якості лабораторних досліджень є однією з центральних проблем сучасної лабораторної медицини. Тільки завдяки точній організації та якісному лабораторному тестуванню можна очікувати, що кожен результат, про який повідомляється в санкціонованому звіті, може бути використаний лікарем для прийняття діагностичних рішень та відповідного лікування. Дуже важливо забезпечити точність та узгодженість результатів досліджень. Тільки за чіткої організації та якісного проведення лабораторних досліджень можна очікувати, що кожен результат, відображений в авторизованому звіті, може бути використаний лікарем для прийняття діагностичних рішень або рішень, які змінюють схему лікування. Одним зі способів визначення компетентності клініко-діагностичних лабораторій та якості їх досліджень є проведення незалежної оцінки якості.

Ensuring the quality of laboratory research is one of the central problems of modern laboratory medicine. Only through accurate organization and quality laboratory testing can it be expected that every result reported in an authorized report can be used by a physician to make diagnostic decisions and appropriate treatment. It is important to ensure the accuracy and consistency of test results. Only with a clear organization and quality of laboratory tests can we expect that each result reflected in the authorized report can be used by a physician to make diagnostic decisions or decisions that change the treatment regimen. One of the ways to determine the competence of clinical diagnostic laboratories and the quality of their research is to conduct an independent quality assessment.

Clinical laboratory diagnostics (laboratory medicine) is one of the most important components of the health care system, which provides medical — diagnostic care to patients in assessing health status, diagnosing diseases, monitoring treatment results, further prognosis, and quality of life. Today, the process of reforming medicine and bringing it closer to EU standards in the country has just begun, it will also affect the quality system in clinical diagnostic laboratories. Special attention is required to measurement procedures in the structure of laboratory diagnostics as a tool for objective assessment of the patient's condition. The initial procedure for laboratory research is the measurement, which together with quality management is the fundamental basis of any laboratory. In addition, the clinical diagnostic laboratory, as a subject of market relations, must solve the problem of implementing and ensuring a quality system as an element of ensuring

the conformity assessment procedure. During treatment, patients undergo a large number of different types of diagnostic tests. Among them, clinical laboratory studies occupy an important place. According to the results of laboratory tests, doctors clarify the diagnoses of patients, conclude the level of compliance of important parameters of human life, its organs with regulatory values and their changes during the treatment process and prognosis for quality of life in the future. Therefore, the reliability of the results of such specific conformity assessments is directly related to health and life.

Scientific publications of domestic and foreign specialists in the field of laboratory work are mainly devoted to the introduction or improvement of a method of laboratory diagnostics, ignoring the problem of organizing the laboratory service system as a subsystem of health care.

The main strategic direction of the development of modern laboratory diagnostics in Ukraine is to improve the quality of clinical laboratory research.

The quality of clinical laboratory tests is understood as the presence of confidence that the test correctly and timely assigned to the patient is performed at a sufficient analytical level with the appropriate rate of accuracy of analysis in biological samples.

Quality control should include a permanent system of internal laboratory control and external quality assessment of laboratory tests. The existence of a system of internal laboratory control and external evaluation of the quality of laboratory tests is one of the basic confirmations of the competence of the laboratory and its accreditation. Poor quality laboratory tests lead to misdiagnosis, inappropriate and incomplete treatment, and risk to patients. Clinical laboratory tests are a major factor in assessing human health and clinical diagnosis of diseases. They study the composition of samples of biological materials taken from the examined patients. The purpose of clinical laboratory research is to obtain objective information about the internal environment of patients, to establish the presence or absence of changes in the composition of biological materials, which are characteristic of abnormal organs and systems of the examined patient in the presence of certain forms of pathology. Laboratory tests occupy the main position in the overall picture of the patient's condition, which is essential for diagnosis, assessment of pathology, and dynamics of the disease, deciding on the application of necessary treatment measures.

Laboratory medicine provides 70–80 % of the information needed to make decisions about the diagnosis, treatment, and prevention of diseases. Providing reliable information to clinicians is an important requirement

for the quality of clinical laboratory tests of clinical diagnostic laboratories, which ensures the correct and timely appointment of the analysis for the patient. Only with a quality laboratory test can you count on the correct diagnostic decisions and proper treatment. One of the ways to determine the competence of clinical diagnostic laboratories and the quality of their research is to conduct an independent quality assessment [1].

For the quality of the research results, serious problems are created by a large number of objective and subjective factors. To eliminate the problematic factors, the course was aimed at developing national standards in the field of laboratory medicine using international experience that regulates the requirements for the organization of clinical diagnostic laboratories and laboratory analytical institutions. An acute problem of laboratory tests is to ensure the accuracy of the results. The main requirement for such research is to provide reliable information to consumers. First of all, it determines the requirement for the quality of clinical and diagnostic laboratory tests, which ensures the correct and timely appointment of the patient's analysis performed at the appropriate analytical level, with the necessary information for interpretation. One way to determine the competence of clinical and diagnostic laboratories and the quality of their research is to conduct an independent quality assessment.

One of the main requirements for laboratory tests is the ability to meet medical requirements with analytical reliability, clinical information, and timeliness. Many traditional and new trends in the clinical diagnostic laboratory (CDL) require constant correction of the interaction, but most importantly — to remain objective in laboratory research. A significant amount of research falls on general clinical laboratory tests, a little less on biochemical, even less on bacteriological, cytological studies, the least on sanitary — genetic.

The structure of laboratory research in modern medicine is multifaceted, meets the basic practical requirements — the maximum objectivity of the results. To solve the problem of maximum objectivity of the results of laboratory research in general — it is customary to rely on numerous standards (regulations), which, in turn, change dynamically and depend on many factors.

To objectify the results and more efficient operation of general clinical and specialized laboratories, as well as laboratory centers, it is planned to test the system, starting with preparing patients for laboratory tests, biomaterials, accurate laboratory tests, compliance with delivery rules, compliance with pre-processing results, design and providing results. Given the

significant number of circumstances and factors that affect the objectivity of laboratory tests, it is possible to predict ways to optimize them. The purpose of this work is to assess the general problems of the objectivity of laboratory tests and to suggest ways of their rational solution.

The rational choice of a technique is extremely important for the estimation of the quality of research. Its essence is the criteria of analytical suitability. These include specificity, accuracy, relevance, reproducibility, correctness, selectivity, and sensitivity. Specificity — the property of the method to qualitatively and quantitatively identify a single substance. Accuracy — the quality of measurements that reflect the closeness of the results of the content of the analyte to its true concentration. Conformity — the proximity of the results of the study, performed under the same conditions. Reproduciveness characterizes the proximity to each other of the results of studies performed in different conditions. Correctness — the correspondence of a certain result to its true value. Selectivity — the quality of separation of a particular substance from impurities and the dependence on the concentration of the test material. Sensitivity — the ability of the method to determine the smallest amount of analyte. There is a sensitivity threshold for each laboratory method.

The scientific and methodological basis of laboratory diagnostics is complex and uses theoretical and analytical capabilities of individual sub-disciplines of laboratory medicine: general clinical research, biochemistry, hematology, coagulology, cytology, laboratory genetics, molecular biology, immunology, is serology, bacteriology, virology, mycology chemical and toxicological studies, therapeutic monitoring of drugs, etc.

To objectify the results and effective work of general and specialized laboratories, as well as laboratory centers, it is planned to test the system, starting with preparing patients for laboratory research, taking biomaterial, accurate laboratory research, compliance with delivery rules, compliance with biomaterials pre-treatment regulations actually laboratory research, registration and delivery of results (information for the doctor). Given the significant number of circumstances and factors that affect the objectivity of laboratory tests, it is possible to provide options for their optimization.

The rational choice of a technique is extremely important for the estimation of the quality of research. Its essence is the criteria of analytical suitability. These include specificity, accuracy, relevance, reproducibility, correctness, selectivity, and sensitivity. Specificity — the property of the method to qualitatively and quantitatively identify a single substance. Accuracy — the quality of measurements that reflect the closeness of the results

of the content of the analyte to its true concentration. Correspondence — closeness to each other of the results of the study performed in the same conditions. Reproduciveness characterizes the proximity to each other of the results of studies performed in different conditions. Correctness — the correspondence of a certain result to its true value. Selectivity — the quality of separation of a particular substance from impurities and the dependence on the concentration of the test material. Sensitivity — the ability of the method to determine the smallest amount of analyte. There is a sensitivity threshold for each laboratory method.

Given the analysis of factors and techniques that affect the objectivity of laboratory tests, to achieve quality assurance of laboratory tests based on the improvement and high reliability of methods must comply with the following requirements for laboratory diagnostics:

- rational implementation of laboratory support in different conditions of medical care;
- careful training for clinical diagnostic laboratories and ensuring their professional competence;
- modern and timely logistical support of the laboratory (reagents, test systems, calibration materials);
- improvement of analytical technologies, laboratory researches with rational modernization of the basic techniques;
- rational financing and optimization of economic conditions of laboratories and laboratory departments [2].

The correct choice of research method in CDL is one of the main issues of biochemical analysis. From an economic, analytical, and diagnostic point of view, this plays an important role in organizing the work of the laboratory. Therefore, the choice of method, the accuracy of measurements that provide laboratory analytical equipment is always relevant. Organizational issues include the conditions of implementation of the method (toxicity), the cost of remuneration, additional staff training, purchase of new equipment, reagents, providing the method, the ability to transport and store biomaterials, research and quality control at the previous stage. It is also necessary to take into account the cost of reagents and equipment, staff salaries.

From an analytical point of view, the method characterizes sensitivity and specificity; accuracy and reproducibility, availability of standard samples, control materials, the possibility of quality control. These include the stability of the reagents and the number of substances.

The diagnostic value of the method is determined by its sensitivity and specificity, the ability to obtain results in the shortest possible time, the in-

dependent organization of standardization, and external quality control, including control and post-analytical stages. When choosing a method, there are often conflicts between organizational problems, the analytical capabilities of the method, and diagnostic aspects, so it is necessary to compromise. The use of the express method does not always satisfy the sensitivity and specificity of clinical diagnostic analysis. The efficiency of the express method contradicts high accuracy. The cost of research is one of the main reasons for the slow introduction of new technologies. The presence of automated equipment in the laboratory allows for diagnostic tests in a short period of time, but the use of biochemical auto analyzers does not guarantee quality results [3].

To implement a new diagnostic method, it is necessary to assess: the expected number of requests, the availability of reagents, equipment, consumables, calibrators, standard samples and control materials in the laboratory, the need for staff training, quality control, and more. This applies entirely to the development of new pharmacokinetic and enzyme-linked immunosorbent assays for CDL. Equipping CDL with optical equipment also influences the choice of analytical methods.

Undoubtedly, the analytical laboratory process as a whole is a unique working concept that allows us to detect and reduce errors, including in the initial stages, such as patient identification and selection of tests, and in the final stages, such as the method of transmission and interpretation of results. Teamwork is the quintessence of safety, especially if you need to reduce the number of errors in the choice of tests and increase the number of adequate responses to research results. The availability of support systems that provide information on diagnostic efficacy and on-site interpretation criteria may play a role, but collaboration between professionals is a prerequisite for such a patient — centered approach and error reduction. International projects aimed at developing quality indicators for all stages of the analytical process and establishing appropriate quality specifications can allow CDL to compare, control, and improve the quality of its daily work. When evaluating the activities of CDL, the results of internal laboratory quality control are considered first. These data really reflect many of the problems of laboratory work. Most CDLs focus on the analytical stage of quality control, paying insufficient attention to the pre- and post-analytical stages. It is no secret that the organization of quality control at the pre-analytical stage is the most difficult because the collection of biological material involved not only employees of the laboratory. From these positions, a good organization of the pre- and post — analytical stage of quality control deserves high praise.

According to the research results, priority areas for improving medicine at the present stage have been identified. In particular, there is a need for further close cooperation between public health institutions and numerous private institutions. This not only increases the level of competitiveness of all entities but also solves the problem of improving the quality of medical services.

Justification of the introduction of foreign experience, in particular the application of quality standards in the provision of medical services, consumer orientation, which over time raises the level of medical institutions to the European one. The analysis indicates the need for further attention to the issue of quality in the medical sector and the activities of CDL.

In laboratory medicine, the analysis of processes, registration, documentation of all procedures and processes is carried out in accordance with quality standards, in particular, DSTU EN ISO 15189: 2015 [4]. The latter is specifically designed for medical laboratories and is a key tool for changing and improving everyday clinical practice.

The problem of ensuring the quality of laboratory tests should be addressed at the national level in the Ministry of Health of Ukraine, in health care facilities, and at the level of each individual CDL. This can help to implement the requirements of the international standard “Medical laboratories. Requirements for quality and competence”, which aims to create quality management systems for CDL and their subsequent accreditation. Participation in the Ministry of Health is part of this overall system of quality assurance of laboratory tests and increases their effectiveness in the diagnostic, preventive, and curative process. For the vast majority of laboratory studies, the exact implementation of techniques does not yet ensure the reliability of the results. This is due to the fact that the study of biological material is a complex multi-stage process that involves difficult to control operations that affect the accuracy of the results. Knowledge of errors that may occur at different stages of the patient’s examination, sufficient theoretical and practical competence of physicians in the field of laboratory diagnostics, correct assessment of factors influencing the interpretation of results, will help to eliminate diagnostic defects and timely treatment. The main task of CDL is to provide clinically important information, not just to present the results of the study. Research methods can be different, the only goal is a comprehensive examination of the patient. Therefore, if the diagnosis is based on laboratory data, the doctor must be confident in the quality of the study. Establishing ongoing cooperation and mutual understanding between laboratory specialists and clinicians is a necessary condition for the

contribution of CDL to the activities of a medical institution to be truly significant and properly assessed.

Conclusions. For the objectivity of laboratory researches, it is necessary to define the general problems of the laboratory which is engaged in laboratory diagnostics, to improve the preparation of experts, to improve, modernize, rationalize laboratory researches with the application of ultramodern materials, systematic informing doctors about possibilities of laboratory medicine. The problem of ensuring the quality of laboratory research is one of the central problems of modern laboratory medicine. The main requirement for such studies is to provide reliable information to clinicians. This, first of all, determines the requirement for the quality of clinical laboratory tests, which ensures the correct and timely appointment of the analysis for the patient, performed at a sufficiently high analytical level with the necessary information for its interpretation. Only with a clear organization and quality of the laboratory study can we expect that each result reflected in the authorized report can be used by a doctor to make diagnostic decisions or decisions that change the treatment regimen. One way to determine the competence of laboratories and the quality of their research is to conduct an independent quality assessment. Tests in CDL cannot be considered reliable without proper quality control. Analyzes in CDL cannot be considered reliable without quality control. The procedure for accreditation of CDL still does not meet a number of requirements recommended by EU experts. These requirements prescribe the need for their implementation in practice. The level of requirements for the competence of such laboratories is much higher than established in the international standard [4].

Modern laboratory research methods involve the creation of a multi — component system of material analysis, which corresponds to the high quality and objectivity of the results. Their constant analysis and improvement, according to organizational, analytical, diagnostic, and economic expediency expands the possibilities of diagnostic laboratories. The use of modern information technologies and methods allows the doctor to get fundamentally new opportunities for a reasonable choice of treatment tactics. The use of data analysis methods for the development of support systems for management decisions in clinical laboratory diagnostics opens new perspectives. Thus, modern laboratory research involves the creation of a multi-component system of material analysis, which corresponds to the high quality and objectivity of the results.

LIST OF REFERENCES

1. Sydorko I., Baitsar R. Ensuring the quality of clinical — diagnostic laboratory activities. Measuring equipment and metrology — 2018. — 2 (80) — P. 66–73.
2. Polisko T., Polushkin P., Shevchenko V., Myrhorodska K. Problems of objectivity of results and validity of modern laboratory researches. Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Medicine. — 2011. — Vip. 2. N 2. — P. 79–84.
3. Tsvilikhovsky V., Tomchuk V. Organization of the veterinary diagnostic laboratory. Scientific reports of NULES Ukraine-K.: NULES of Ukraine, 2016. — Access mode: HTTP: journals.nubip.edu.ua.index.php.Dopovidi / article / view / 6831 https: iupac.org/
4. DSTU ISO EN ISO 15189 : 2015 Medical laboratories. Quality and competence requirements (EN ISO 15189: 2012, IDT).

ПРОСТОРОВЕ РОЗМІЩЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ПАСИВНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ НА ОСНОВІ ПЛАТОНОВИХ ТІЛ

**Борцов В. В., Бойко А. П., Винар А. А.,
Журавська І. М., Кулаковська І. В.**

Розглянуто принцип дії та елементна база пристрою для визначення вектора направленості джерела звуку на основі методу пасивної акустичної локації.

Розроблено малогабаритний пристрій на основі мінікомп'ютера Orange PI Zero з трьома датчиками звуку. Розроблений пристрій може бути вбудованим в існуючі системи освітлення з конструкцією правильних тривимірних багатогранників. Запропоновано варіанти розташування датчиків звуку на площині та у 3D-просторі, що дозволяє зменшити обчислювальну складність задачі завдяки просторовому розміщенню мікроконтролерної системи на основі Платонових тіл. Для цього центральний комплект системи пасивної акустичної локації розміщується усередині описаної навколо всіх датчиків сфери, і відстань між парою сусідніх датчиків завжди однакова.

Розглянуто можливість військово-цивільного застосування розробленого обладнання.

The principle of operation and the element base of the device for determining the vector of the sound source direction based on the method of passive acoustic location are considered.

A small-sized device based on the Orange Pi Zero single-board minicomputer and sound sensors on the LM393 amplifier has been developed. This device can be built into existing lighting systems with the design of regular 3D polyhedra. Options for the sound sensors location on the plane and in 3D space which decrease the computational complexity of the problem due to the spatial location of the microcontroller system based on Platonic solids are proposed. To do this, the central set of the passive acoustic location system is placed inside the sphere described around all sound sensors, and the distance between a pair of adjacent sensors is always the same.

The possibility of military-civilian use of the developed equipment is considered.

Визначення точного або приблизного місцезнаходження будь-якого об'єкта на основі створюваних ним звукових коливань може застосовуватись у різних галузях: під час проведення пошуково-рятувальних операцій, в охоронних системах задля сповіщення про порушення периметру чи проникнення на об'єкт, для досліджень біоакустики тварин та обробки акустичних сигналів у підводних середовищах й т. ін. [1]. Частина компонентів може застосовуватися у військовій справі, наприклад, для визначення місцезнаходження ворожого снайпера або артилерійських систем [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Широке застосування акустичної локації почалося на початку ХХ століття (рис. 1, а). Її застосування у той час було майже виключно військового характеру: акустичні системи протиповітряної оборони (ППО), гідролокація для відслідковування субмарин, тощо (рис. 1, б). На теперішній час дуже актуальним є використання акустичних систем під час пошуку потерпілих — тільки у лісі за тиждень влітку губиться до 600 людей [3]. Для використання таких систем у надзвичайних ситуаціях треба у терміновому порядку розгортати подібні акустичні комплекси визначення джерела звуку, розбиваючи мапу на квадрати (рис. 1, в). До функцій таких акустичних програмно-апаратних комплексів (АПАК) як генерація звукових коливань для привертання уваги, так і визначення вектора направленості та/або місцеположення джерела звуку. Корисними можуть бути АПАК також у житлових приміщеннях та закладах громадського харчування для економії витрат на освітлення у разі відсутності людей у приміщеннях, а також для розгортання систем охорони.

Таким чином, на сьогоднішній день акустична локація застосовується і в цивільній сфері (акустична та гідролокація під час наукових досліджень та надзвичайних ситуацій), і у військовій (протиснайперські комплекси) та може бути віднесена до технологій подвійного

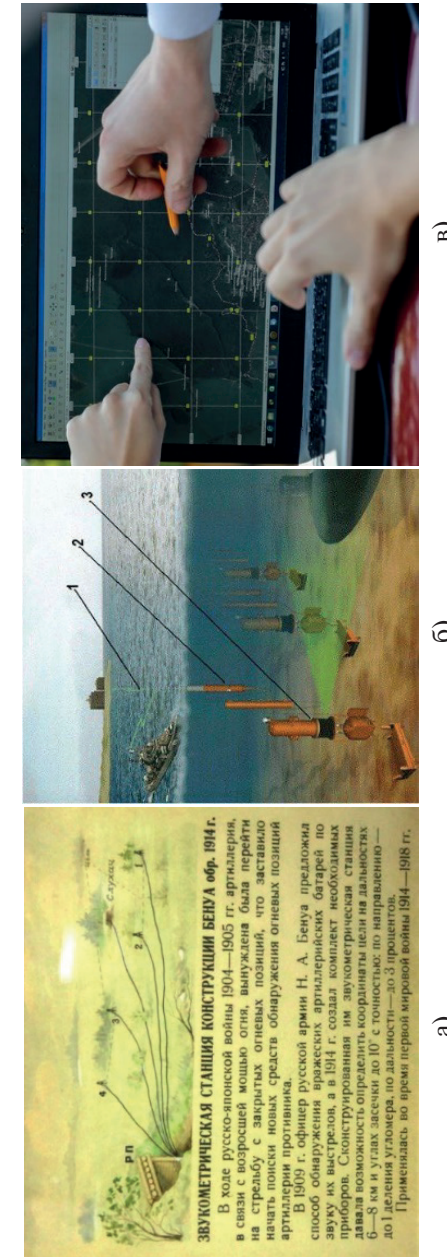


Рис. 1. Системи акустичної локації: а — системи ППО 1914 р. [4]; б — сучасні станції виявлення субмарин [5]; в — АПАК пошуку людей, які заблукали у лісі [3]

призначення. Акустична локація, як і багато інших видів локації, поділяється на активну (з генеруванням звукових коливань для подальшого моніторингу «луни») акустичну локацію, так і пасивну, що полягає у наявності мережі записуючих пристроїв (мікрофонів або датчиків звуку). Такі пристрої на основі хвиль або різниці часу визначають точне або приблизне місцезнаходження джерела звуку.

Виникає питання, як щільно мають бути розташовані акустичні станції, яку кількість датчиків звуку (мікрофонів) доцільно підключати до кожної з них та як ефективно розмістити такі датчики у просторі або на площині. На теперішній час, зважаючи на необхідність розгортання іноді дуже розгалужених систем, доцільно обробку даних з великої кількості датчиків з різними просторовими координатами проводити з використанням АПАК на базі мікроконтролерної системи [6].

Тому у нашій роботі **поставлено за мету** дослідити просторове розміщення компонентів мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації для найшвидшого обчислення вектора направленості до джерела звукових коливань при мінімізації кількості обчислень.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання**:

- аналіз існуючих методів та систем пеленгації джерела сигналу (в тому числі звукового);
- розробка пристрою, що здатен встановлювати місцезнаходження об'єкта за даними від датчиків звуку, обробленими на мікроконтролерній системі;
- дослідження способів зменшення обчислювальної складності задачі за рахунок запропонованого просторового розміщення компонентів розробленого АПАК.

Схемотехнічні рішення розглянутих проблем може бути виконане на основі пасивної акустичної локації для невеликих відстаней, наприклад, за допомогою АПАК, побудованого на базі одноплатного комп'ютера Orange Pi Zero. Кількість використаних датчиків звуку визначається доцільною від 3 до 20. Виникає питання, на якій відстані та за яким координатним положенням стосовно до центрального блоку АПАК мають знаходитись датчики звуку.

Зовнішній вигляд розташування трьох датчиків звуку та їх підключення до плати мінікомп'ютера наведено на рис. 2.

Проаналізуємо відстань, на якій:

- 1) можуть бути рознесені датчики звуку від центрального блоку АПАК;

- 2) можливо визначити наявність джерела звуку з використанням датчиків, призначених для підключення до такого АПАК [7].

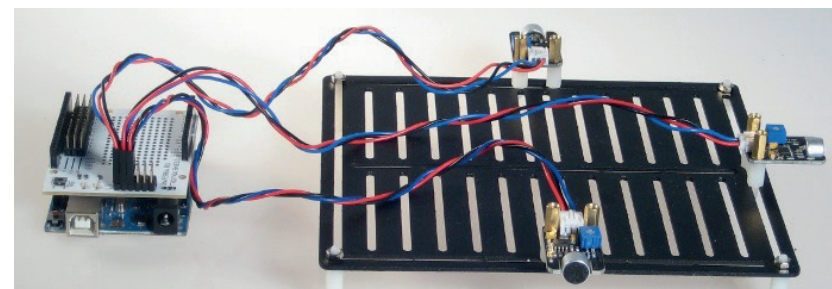


Рис. 2. Зовнішній вигляд з'єднань елементів пристрою пасивної акустичної локації на площині

Слід зазначити, що питання просторового розміщення датчиків звуку АПАК мають вирішуватись окремо для двовимірного (2D) та для тривимірного (3D) простору.

Сьогодні створений потужний математичний апарат розрахунку координат джерела звуку для трьох або чотирьох мікрофонів [8]. Сучасні дослідження спрямовані на спрощення розрахункового алгоритму місцезнаходження джерела звуку [2] та на визначення кількості датчиків, необхідної для розрахунку дальності до джерела звуку [9]. Результати досліджень свідчать, що використання одного окремого мікрофона надасть лише грубу оцінку акустичного сигналу. Тому для підвищення точності пеленгу та/або для визначення вектора направленості для рухомого джерела акустичних коливань (наприклад, БПЛА) конструюють акустичні решітки з мікрофонів, які також дозволяють оцінювати час надходження фронту хвилі в різні вузли (датчики звуку або мікрофони) такої решітки [10; 11]. Для сучасних пристроїв будуються конструкції таких решіток з 4–12 мікрофонів на відстанях 10–30 см [12]. Суттєвим недоліком такої конструкції є те, що датчик звуку слугує для визначення напрямку приходу звукової хвилі з «фронту», як, наприклад, на установках АЗК-7 [13]; в той же час «тил» такої установки — з шикуванням мікрофонів у лінію — є «мертвою зоною» (рис. 3, а, б). Підвищення кількості мікрофонів з 3 до 9 в установці «Положение-2» (НДІ «Шторм», м. Одеса) знижує похибку визначення джерела звуку майже в 6 разів (зі 100 м до 15 м), але не вирішує проблеми «тилу» (рис. 3, в, г).

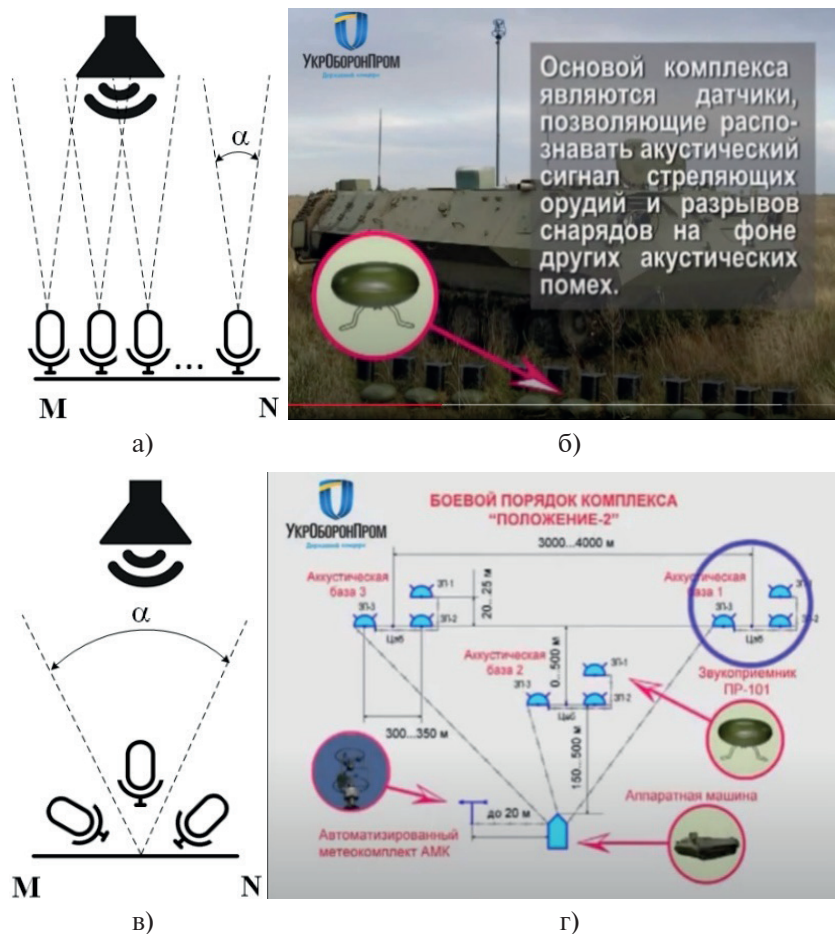


Рис. 3. Приклади можливого розташування джерела і датчиків звуку на площині з кутом охоплення 180° та лінійним (а, б) або просторовим (в, г) розміщенням датчиків [14; 15]

Якщо датчики будуть розташовані у площині у формі правильного трикутника, тоді лише на основі зафіксованого часу можливо визначити сектор у 60 градусів, в якому заходить джерело звуку. Тоді можливо знайти 2 точки у цьому секторі, з яких одна і є шуканим джерелом звуку.

У разі імпульсного випромінювання звуку об'єктом може фіксуватися час приходу імпульсу на різні датчики. У разі безперервного ви-

промінювання звуку можуть використовуватися кореляційні методи визначення затримки сигналів.

Якщо необхідно збільшувати площу локації та/або підвищувати точність направленості джерела звукового сигналу, тоді треба збільшувати кількість датчиків звуку та аналізувати результати досліджень в залежності від взаємного розташування таких датчиків.

При збільшенні кількості мікрофонів доцільно розглядати вже не лінійне, а просторове розташування мікрофонів. Однією з ефективних реалізованих конструкцій є система «Бумеранг» (рис. 4), у якій решітку з 7 мікрофонів змонтовано на транспортному засобі [16].

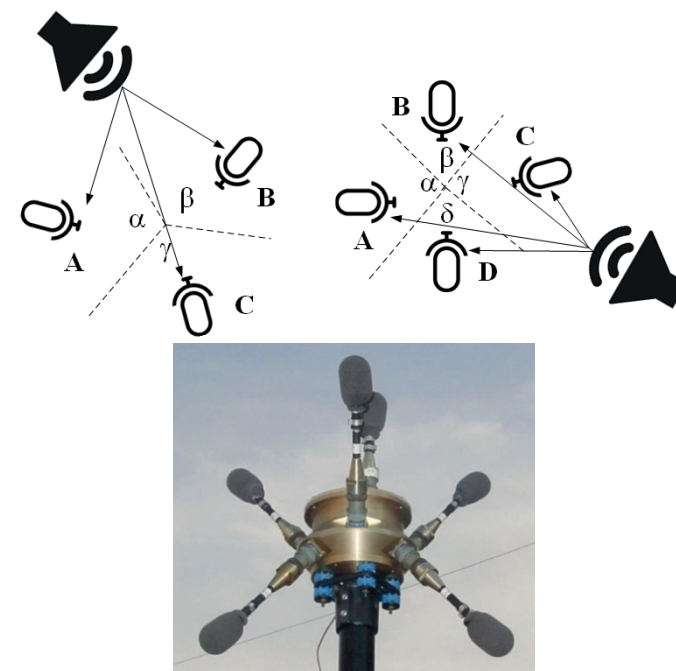


Рис. 4. 3D-розміщення 7-даткової системи пасивної акустичної локації «Бумеранг» [16]

Найбільш детально досліджені питання локації акустичного джерела при лінійному розташуванні мікрофонів у вершинах піраміди, але запропоновані математичні моделі такого розташування супроводжуються достатньо великою кількістю обчислень або передбачають

розташування джерела звуку всередині піраміди, утвореної датчиками [17]. В пошукових та військових задачах таке некомпактне розташування датчиків неприйнятне через необхідні в такому разі великі відстані між датчиками та головним комплектом або додатковою акустичною базою АПАК (рис. 3, г).

При лінійному розташуванні шаг між мікрофонами такої решітки визначається характеристиками вузьконаправленості (кута спрямованості або охоплення) кожної моделі мікрофону (датчика звуку) відповідно до техдокументації. Найбільш поширеними є кардіоїдні мікрофони з кутом охоплення $80\text{--}131^\circ$ [18; 19], тому для просторової конструкції на площині необхідно мінімум 3 мікрофони.

Таким чином, доцільно розглянути випадок, коли 3 датчики формують між собою правильний трикутник з відомою довжиною сторони.

Схематично це виглядатиме так. Кожен з датчиків матиме своє ім'я, наприклад, А–В–С (рис. 5).

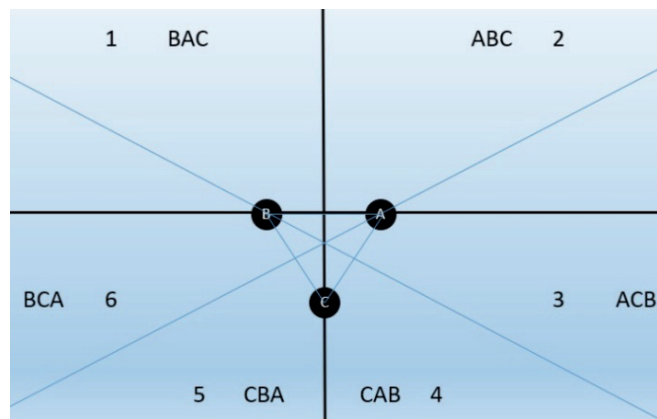


Рис. 5. Розміщення датчиків за правильним трикутником

Відомо, що звук рівномірно розповсюджується у просторі однаково у всі сторони, тож, коли відбудеться генерація сигналу (звуку) — постріл або вибух, — усі 3 датчики про це повідомлять. Враховуючи той факт, що між датчиками ненульова відстань, звук до кожного з них дійде з певною затримкою, яку необхідно запам'ятати. Після чого буде отримано порядок, у якому спрацювали датчики.

Тепер, оскільки датчики розташовані у формі правильного трикутника, можливо увесь зовнішній простір розділити на 6 рівних секторів, кожен з яких має кут у 60 градусів. Кожен з них отримає свій номер і кожному відповідає певний порядок спрацювання датчиків. Тож, лише маючи порядок спрацювання датчиків, можливо гарантовано встановити сектор 60 градусів, у якому знаходиться джерело звуку. Для більш точного встановлення місцезнаходження необхідно зробити деякі розрахунки. По-перше, надамо кожному з датчиків координати на площині, роблячи їх відповідними до реальної відстані між датчиками (рис. 6, а).

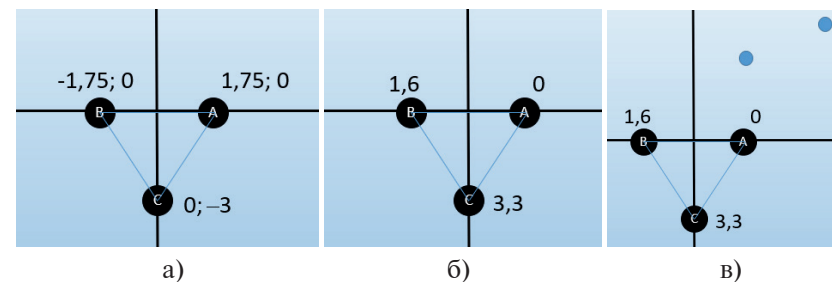


Рис. 6. Розташування датчиків на площині з визначеними координатами (а), часом (б) та двома точками джерела звуку (в)

Тепер необхідно узяти час спрацювання кожного з цих датчиків, який запам'ятовано, наприклад, на SD-карті плати Orange Pi раніше. Найменший час, тобто час спрацювання датчика А, необхідно відняти від двох інших. Тоді буде отримано різницю надходження сигналу, різницю для датчика А встановлюємо в «0» (рис. 6, б), це і буде відправна точка.

Згадаємо, що відстань між двома точками дорівнює сумі модулів різниці між відповідними координатами цих точок. Також необхідно пам'ятати, що відстань дорівнює часу, помноженому на швидкість. Для полегшення прикладу встановимо час розповсюдження сигналу у цій системі рівним «1», тобто відстань дорівнює часу проходження. З вищеведеного можна отримати рівняння, в якому відстань між точкою А та точкою джерела сигналу обчислюється за формулою:

$$(1,75 - x)^2 + (0 - y)^2 = t^2.$$

Та ж сама ситуація для двох інших точок.

$$(-1,75 - x)^2 + (0 - y)^2 = (t + 1,6)^2,$$

$$(0 - x)^2 + (3 - y)^2 = (t + 3,3)^2.$$

Після розкриття дужок отримаємо систему нелінійних рівнянь, яку можна розв'язати за допомогою методу підстановки.

$$3,0625 - 3,5x + x^2 + y^2 = t^2,$$

$$3,0625 + 3,5x + x^2 + y^2 = t^2 + 3,2t + 2,56,$$

$$x^2 + 9 - 6y + y^2 = t^2 + 6,6t + 10,89.$$

У фіналі буде отримано формулу для координат x та y , а також квадратне рівняння для t . У випадку, якщо під час розв'язання системи не було виконано жодних округлень, у такому разі можна зробити висновок, що втрати даних не було, квадратне рівняння завжди матиме лише один розв'язок.

Після підстановки t в x та y буде отримано координати точки джерела звуку, або двох точок, якщо були втрати у точності (рис. 6, в).

Слід зазначити, що у разі визначення місцеположення джерела звуку за допомогою набору мікрофонів суттєво збільшується не тільки точність, але й обчислювальна складність вирішуваної задачі. Суттєвого зменшення обчислювальної складності розглянутої задачі можливо досягти, якщо розташувати датчики по вершинах так званих Платонових тіл (ПТ) — правильних багатогранників. Всього існує п'ять тривимірних ПТ: тетраедр, гексаедр (куб), октаедр, ікосаедр та додекаедр [20]. В такому разі кількість датчиків звуку в АПАК буде відповідно 4, 6, 8, 12 або 20 датчиків згідно з теоремою Ейлера [21]. Таке розташування дає однакову відстань (довжину ребра правильного багатогранника) між сусідніми датчиками (розташовуються у вершинах ПТ), що значно спрощує обчислення.

Найбільш цікавим варіантом є конструкція у так званому форм-факторі «люстра» або «світильник» (рис. 7), оскільки дозволяє в межах одного приладу поєднати декілька функцій: безпосередньо освітлення, систему керування рівнем освітлення, систему контролю проникнень через периметр (у неробочий час та/або при відсутності людей).

У вершину такого світильника у вигляді ПТ — дерев'яного, з латунного профілю або надрукованого на 3D-принтері з ABS-пластика (рис. 8, а) — монтується датчик звуку, наприклад

GY-MAX4466 (рис. 8, в), KY-037(038) або будь-який звуковий сенсор на аудіопідсилювачі LM386 або LM393 [7]. Головне, щоб товщина каркасу не перевищувала 10 мм (висоту мікрофона над платою датчика).

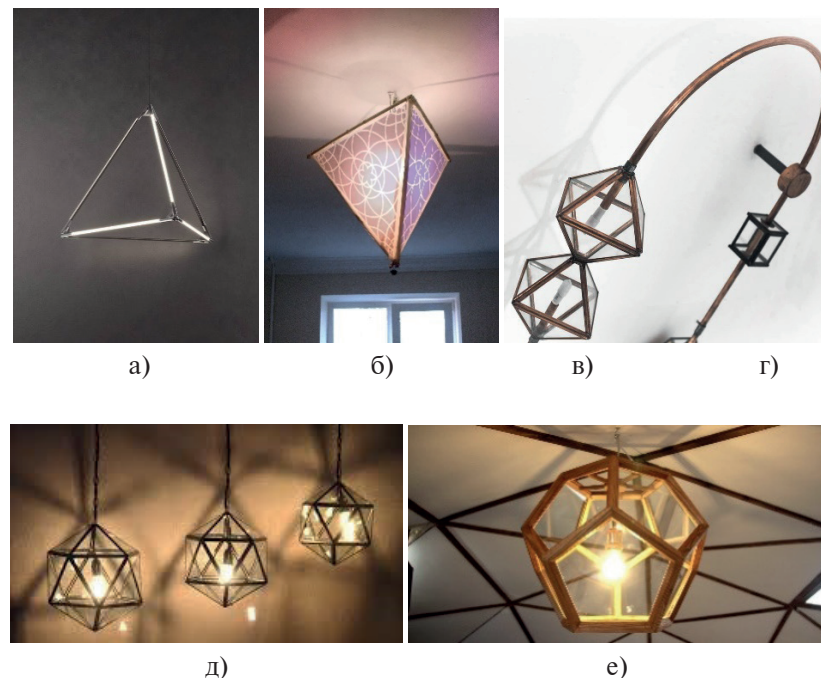


Рис. 7. Світильники у формі Платонових тіл: а, б — тетраедр [22; 23]; в — гексаедр (куб), г — октаедр [24]; д — ікосаедр [25]; е — додекаедр [26]

Розглянемо взаємне розташування датчиків звуку (мікрофонів), комплекту АПАК та кріплення такого АПАК — на поверхні, до стіни або на підвісі (рис. 9–10). Незалежно від конструкції (форми ПТ) — закритої або відкритої (каркасної), комплект АПАК вбудовується («підвішується») в ній таким чином, щоб проводи від кожного датчика сходилися у центр описаної навколо ПТ сфери, де фізично знаходиться модуль мікроконтролера (рис. 9). У такому разі довжина всіх проводів вважається однаковою, та їх ємність однаково впливає на результат обробки сигналу від кожного датчика.

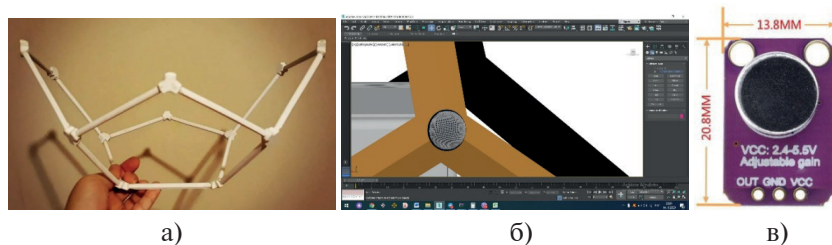


Рис. 8. Каркас світильника-додекаедра (а) з вмонтованим у вершину (б) датчиком звуку (в)

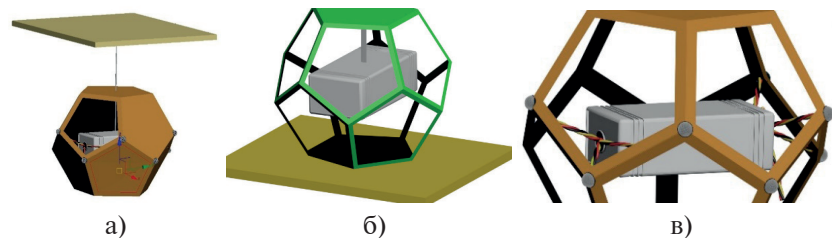


Рис. 9. Світильник-додекаедр закритий на підвісі (а) та відкритий, встановлений на площині (б), з датчиками звуку, вмонтованими у вершини (в)

Якщо така конструкція використовується також для освітлення, то провід живлення електролампочки, яка розташовується під корпусом комплексу АПАК, проходить разом з проводом живлення АПАК, потім наскрізь корпус АПАК. Враховуючі, що комплект АПАК розташовується усередині описаної сфери, на систему освітлення виділяється приблизно половина конструкції «люстри» розміром радіусу такої сфери (рис. 10).

Одним з найбільш складних Платонових тіл є додекаедр, у вершинах якого можливо розташувати найбільшу кількість датчиків звуку — 20. Тоді співвідношення відстані між датчиками, що дорівнює довжині ребер d додекаедра, та радіусом описаної сфери R становить $d : R = 1,176 : 1,118$, як доведено Евклідом та розраховано у роботі [27]. Виходячи з цього, можна розрахувати, наприклад, у середовищі MathCad співвідношення відстані між датчиками звуку та габаритні розміри АПАК (табл. 1).

Зважаючи на те, що у житлових приміщеннях та у закладах громадського харчування використовуються світильники радіусом біля 30 см, то до їх конструкції можуть бути вбудовані комплекти АПАК з

аналогічними розмірами (див. рядок 1 у табл. 1). Крім того, довжина проводів від датчика звуку до комплексу АПАК може бути зменшена відповідно до розміру світильника, але не менше ніж за корпус для мікроконтролерної системи (біля 60 мм) [28].

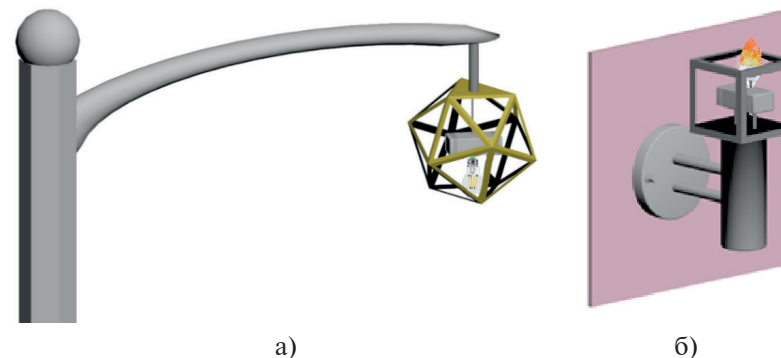


Рис. 10. Підвісний світильник-ікосаедр (а) та настінний світильний-куб (б) з вбудованими комплектами АПАК та лампочками освітлення за ними

Великі розміри (декілька метрів) радіусу описаної сфери навколо системи датчиків АПАК відповідають просторовим системам контролю доступу у приміщення, які можуть бути активовані у позаробочий час для організацій та при відсутності хазяїв удома для житлових приміщень. В такому разі датчики звуку встановлюються по периметру такого приміщення (рис. 11). Доцільно для цього використовувати бездротові датчики з передачею даних за стандартом BLE та акумулятором на 10 годин, наприклад, фірми Pasco [29].

Слід зауважити, що поріг чутливості датчиків звуку, що виставляється за допомогою потенціометра на платі такого датчика, має виставлятися в залежності від призначення АПАК з урахуванням того, що діапазон інтенсивності оточуючих шумів може варіюватися від 30 дБ до 90 дБ (табл. 2).

Наприклад, якщо у будинку є домашні тварини, то поріг чутливості має бути вищим за 20 дБ для системи контролю доступу у приміщення. Для контролю периметра навколо будівлі такий поріг має бути не нижчим за 50 дБ (розмова охоронців). Для пошуку постраждалих АПАК налаштовується на поріг, вищий за 35 дБ, щоб не реагувати на тріск дерев та кроки пошуковців.

Таблиця 1

Габаритні розміри мікроконтролерної системи пасивної акустичної локації на основі Платонових тіл

Відстань між датчиками звуку, м	Кількість датчиків	Форма корпусу АПАК (тип Платонова тіла)	Радіус сфери навколо корпусу АПАК R , м	Об'єм корпусу АПАК V , куб. м
0,5	4	тетраедр	0,30	0,015
	8	гексаедр (куб)	0,43	0,125
	6	октаедр	0,35	0,059
	12	ікосаедр	0,47	0,273
	20	додекаедр	0,70	0,958
1	4	тетраедр	0,61	0,118
	8	гексаедр (куб)	0,86	1,000
	6	октаедр	0,70	0,471
	12	ікосаедр	0,95	2,182
	20	додекаедр	1,40	7,663
2	4	тетраедр	1,22	0,943
	8	гексаедр (куб)	1,73	8,000
	6	октаедр	1,41	3,771
	12	ікосаедр	1,90	17,454
	20	додекаедр	2,80	61,305
3	4	тетраедр	1,84	3,182
	8	гексаедр (куб)	2,60	27,000
	6	октаедр	2,12	12,728
	12	ікосаедр	2,85	58,906
	20	додекаедр	4,20	206,904
4	4	тетраедр	2,45	7,542
	8	гексаедр (куб)	3,46	64,000
	6	октаедр	2,83	30,170
	12	ікосаедр	3,80	139,628
	20	додекаедр	5,60	490,440
5	4	тетраедр	3,06	14,731
	8	гексаедр (куб)	4,33	125,000
	6	октаедр	3,53	58,926
	12	ікосаедр	4,75	272,712
	20	додекаедр	7,00	957,890

Якщо АПАК використовується для включення освітлення при появі відвідувачів у кафе (іншому закладі), то потенціометр датчика звуку доцільно викручувати на мінімум.

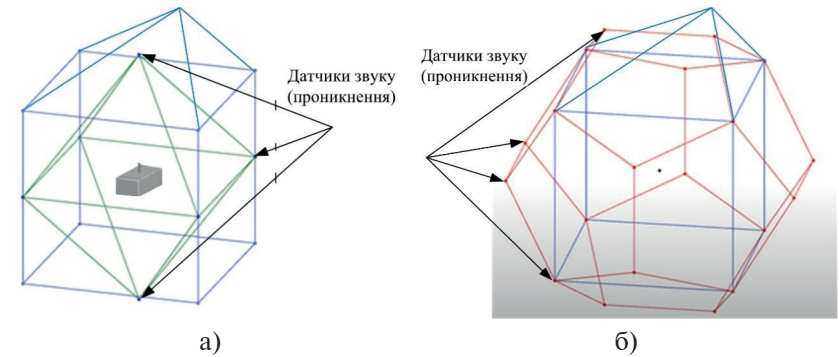


Рис. 11. Система контролю доступу у приміщення будинку в октаедрі (а) та на прибудинкову територію в додекаедрі (б)

Таблиця 2

Діапазон інтенсивності шумів оточуючого середовища [30]

130 дБ	Больова межа, зліт реактивного літака
120 дБ	Рок-концерт, пневматичний відбійний молоток
110 дБ	Зліт літака, симфонічний оркестр з першого ряду партеру
100 дБ	Плач дитини, потяг метро
90 дБ	Свердильний верстат
80 дБ	Шумний офіс, вантажний фургон
70 дБ	Гучний спів, рух автомобіля
60 дБ	Пилосмок, гучна розмова
50 дБ	Розмова
40 дБ	Тихе радіо, фоновий шум у бібліотеці
35 дБ	Тріск дерев
20 дБ	Тихий шепіт або розмова в сусідній кімнаті, шарудіння тварин, дотик до корпусу телефона, шелест листя
0 дБ	Поріг чутності

Використання АПАК у військових цілях для визначення місцеположення артилерійських установок потребує більш грубих налаштувань (поріг вище 80 дБ, щоб не реагувати на вантажівки). У такому разі не можна використовувати зазначені вище моделі датчиків на базі підсилювача LM386 (у т. ч. КУ-037), тому що в них чутливість мікрофона 52 дБ і будуть хибні спрацьовування.

В будь-якому разі при генерації звуку, що гучніший за виставлений поріг, кожен з датчиків, що знаходиться на відомій однаковій

відстані від сусідніх датчиків, через лінію зв'язку (ЛЗ) повідомлятиме АПАК, наприклад, на базі Orange Pi, про отримання звукового сигналу (рис. 12).

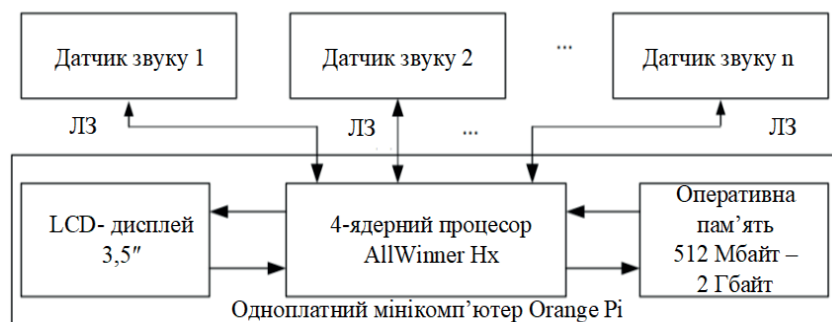


Рис. 12. Структурна схема багатодатчикової системи пасивної акустичної локації

В оперативній пам'яті (512MB — 2GB DDR3, спільна з GPU) зазначеного мінікомп'ютера буде зберігатися час отримання звукового сигналу з точністю до мікросекунди для кожного з датчиків. Таким чином, стане відомо, який з датчиків та коли зафіксував звук. Після обробки алгоритму пасивної акустичної локації дані щодо вектора направленості до джерела звукових коливань відображатимуться на LCD-дисплеї та/або на мобільному пристрої за допомогою розробленого програмного пристрою.

У разі, якщо кількість датчиків не відповідає кількості вершин правильного багатокутника і неможливо побудувати решітку з однаково рознесеними вузлами, слід дотримуватись опуклої конфігурації багатокутника, утвореного рознесеними у просторі датчиками звуку. В будь-якому із зазначених випадків навколо всіх датчиків може бути описана сфера, і відстань між парою сусідніх датчиків завжди однакова в межах кожного з Платонових тіл.

Висновки. Таким чином, на основі проведеного аналізу існуючих рішень вибрані принцип дії та елементна база пристрою для визначення вектору направленості джерела звуку на основі методу пасивної акустичної локації. Вирішена задача розробки малогабаритного пристрою на базі одноплатного мінікомп'ютера Orange Pi Zero та датчиків звуку на підсилювачі LM393. Розроблений пристрій може бути вбудованим в існуючі системи освітлення з конструкцією пра-

вильних багатогранників. Запропоновані варіанти розташування датчиків звуку на площині та у 3D-просторі дозволяють зменшити обчислювальну складність задачі шляхом просторового розміщення мікроконтролерної системи на основі Платонових тіл, при якому центральний комплект системи пасивної акустичної локації розміщується усередині сфери, описаної навколо всіх датчиків, і відстань між парою сусідніх датчиків завжди однакова.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ferguson B., Gendron P. J., Michalopoulou Z.-H. (E.), Wong K. T. Introduction to the special issue on acoustic source localization. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2019. Vol. 146, no. 4647. DOI: 10.1121/1.5140997
2. Козерук С. О., Мазніченко Д. В. Визначення координат джерела пострілу по акустичним хвилям. *Microsystems, Electronics and Acoustics*. 2017. Vol. 22, no. 1. P. 45–49, DOI: 10.20535/2312–1807.2017.22.1.79761
3. Что делать, если вы заблудились в лесу — советы МЧС [Електронный ресурс]. Опубл. 26 июля 2018 г. Режим доступа: <https://www.m24.ru/articles/obshchestvo/26072019/155808>
4. Акустические и оптические системы в ПВО [Електронный ресурс]. Режим доступа: <http://forums.airbase.ru/2016/04/t92779--akusticheskie-i-opticheskie-sistemy-v-pvo.html#p4157536>
5. В Украине разработали подводную противолодочную систему аналогичную американской SOSUS. Опубл. 23 ноября 2013 г. [Електронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/36374-v-ukraine-razrabotali-podvodnuyu-protivolodochnuyu-sistemu-analogichnuyu-amerikanskoy-sosus.html>
6. Львов А. В., Агапов М. Н., Тищенко А. И. Распределенная микроконтроллерная система акустической локации [Електронный ресурс]. *Журнал радиоэлектроники*. 2010. No. 11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov10/1/text.html>
7. Краткий справочник по подключению датчиков, модулей и иных электронных устройств к плате Arduino [Електронный ресурс]. СПб. : BHV, 2020. 70 с. Режим доступа: <https://anyflip.com/ulhe/ynfl>
8. Trunov A., Byelozorov Zh. Forming a method for determining the coordinates of sound anomalies based on data from a computerized microphone system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2, no. 4 (104). P. 38–50. DOI: 10.15587/1729–4061.2020.201103
9. Lo K. W., Ferguson B. G. Acoustic ranging of small arms fire using a single sensor node collocated with the target. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2015. Vol. 137, no. EL422, DOI: 10.1121/1.4921447

10. Hudson R. E., Yao K., Chen J. C. Acoustic source localization and beamforming: Theory and practice. *EURASIP journal on advances in signal processing*. 2003. No. 4. DOI: 10.1155/S1110865703212038
11. Даник Ю. Г., Бугайов М. В. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження. *Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ*. 2015. Вип. 10. С. 5–20 (Інформаційні системи).
12. Олейников А. Н., Носулько И. В. Особенности построения средств акустической разведки при их малых габаритных размерах. *Радиотехника*. 2019. Вип. 199. С. 142–146, DOI:10.30837/rt.2019.4.199.17
13. Автоматизированный звукометрический комплекс Мезотрон (АЗК-7) / CADDARIC79 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://svmaximenko.wixsite.com/max-/azk-7-mezotron>
14. Разведывательный автоматизированный звукометрический комплекс ІАР1 Положение-2 [Электронный ресурс]. Оpubл. 19 марта 2018 г. Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=5C6B8Nu_x00
15. Наша оборонка: как в Одессе электронные уши для украинской артиллерии делают [Электронный ресурс]. Оpubл. 08 авг. 2016 г. Режим доступа : <https://dumskaya.net/news/segodnyashniy-den-npo-shtorm-umnye-voennye-siste-061116/>
16. Hanlon M. Vehicle-mounted Acoustic Sniper Detection System. *New Atlas*. August 28, 2005 [Online]. Available: <https://newatlas.com/go/4497/>
17. Ахметсафина Р. З. Локация акустического источника в однородной среде. *Робототехника и техническая кибернетика*. 2016. Т. 2, № 11. С. 52–55
18. Прикладна акустика — 1. Електроакустика [Електронний ресурс] : навч. посіб. / уклад. О. П. Гребінь, Н. Ф. Левенець, В. Б. Швайченко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 145 с. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23604/1/Electroacoustic_navchalnyi-posibnyk.pdf
19. Золотков А. Мікрофони і їх технічні характеристики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/uk-UA/microphone-sensitivity/>
20. Вейль Г. Симетрія / пер. з англ. Б. В. Бірюкова, Ю. А. Данилова; під ред. Б. А. Розенфельда. Москва: Наука, 1968. 101 с.
21. Долбилин Н. Три теоремы о выпуклых многогранниках. *Квант*, 2001. № 5. С. 7–12.
22. Thin solids tetrahedron light [Online]. Available: <https://aplusrstore.com/products/juniper-thin-solids-tetrahedron-light>
23. Мастерская А. Б. [визуализация и архитектура]: тетраэдр и свет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ve4no.blogspot.com/2010/05/blog-post.html>
24. Магазин Belyaev.Studio [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.livemaster.ru/belyaev>
25. Светильник Икосаэдр [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://decorite.ru/shop/svetilnik-ikosaedr>
26. Люстра Додекаэдр лофт из дуба [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.livemaster.ru/item/37115768-dlya-doma-i-interera-lyustra-dodekaedr-loft-iz-duba>
27. Построение графических примитивов. Математические модели поверхностей и объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://works.doklad.ru/view/1SxrxyeGZoA.html>
28. Черный корпус для Orange Pi Zero [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arduino.ua/prod2589-chyornii-korpys-dlya-orange-pi-zero>
29. Wireless Sound Sensor [Online]. Available: <https://www.pasco.com/>
30. Как выбрать излучатель звука [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.sensorica.ru/docs/%F11_selection.shtml

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ У WEB-ДОДАТКУ ZHY&BOR

Жигайло О. М., Топор М. М., Борис В. В.

Кластеризація є одним із потужніших допоміжних засобів у сфері аналізу даних, але оцінка її якості є малодослідженою областю. В роботі розглядаються найбільш відомі методи оцінки якості результатів кластеризації, які отримані за допомогою різних програмних продуктів: Zhy&Bor, IBM SPSS Modeler, Knime Analytics Platform, Orange.

Було сплановано та проведено два дослідження. У першому з'ясувалася адекватність оцінки якості результатів кластеризації при різних кількості кластерів, а у другому коректність відпрацювання індексів оцінки якості кластеризації при різних вхідних даних з використанням перерахованих програмних продуктів. При однакових умовах кластеризації результати оцінки її якості різними методами (індексами) відрізнялися, що вказувало на необхідність проведення додаткового аналізу, який передбачає врахування більшості серед кращих результатів оцінки.

Clustering is one of the most powerful tools in the field of data analysis, but its quality assessment is a little-studied field. The article considers the most well-known methods for assessing the quality of clustering results, which were obtained using various software products: Zhy & Bor, IBM SPSS Modeler, Knime Analytics Platform, Orange.

Two studies were planned and conducted. The first clarified the adequacy of assessing the quality of clustering results for different numbers of clusters, and the

second the correctness of working out the indices of assessing the quality of clustering for different inputs using the listed software products. Under the same conditions of clustering, the results of its quality assessment by different methods (indices) differed, which indicated the need for additional analysis, which involves taking into account the majority of the best evaluation results.

Методи інтелектуального аналізу даних застосовуються при вирішенні аналітичних задач в різних науково-технічних сферах. Цей напрямок продовжує розвиватися і вважається, що більше всього використовуються методи кластеризації. Однак оцінка якості її результатів підлягає вивченню та ретельному аналізу. Існують різні методи для оцінки, які розділяють на **зовнішні** та **внутрішні** (рис. 1). **Зовнішні** використовують додаткову інформацію про дані, які кластеризуються: розділення за кластерами, кількість кластерів і т. д. **Внутрішні** — оцінюють якість структури кластерів, спираючись тільки на неї, не використовуючи зовнішньої інформації. Найкращу структуру та оптимальну кількість кластерів зазвичай визначають за допомогою внутрішніх [1].

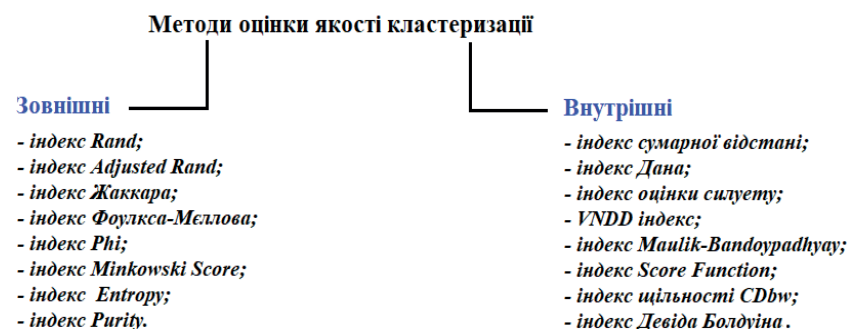


Рис. 1. Методи оцінки якості кластеризації

Усі методи базуються на таких важливих поняттях, як: компактність, віддільність, концентрація. Компактність — елементи кластера повинні бути як можна ближче один до одного. Цю властивість можна виразити через відстань між елементами в кластері, щільність всередині кластера або об'єм, який кластер займає в багатомірному просторі. Віддільність — відстань між різними кластерами повинна бути як можна більшою. Це правило застосовується як для чіткої так і для нечіткої кластеризації. Концентрація — елементи кластера повинні бути сконцентровані навколо центру кластера. Ця власти-

вість притаманна алгоритмам, де використовується поняття центру кластера.

Дослідження проводилися внутрішніми методами оцінки якості кластеризації, а саме:

Індекс сумарної відстані (CB). Розраховується сумарна відстань між об'єктами і центроїдами кластерів, до яких вони належать.

Індекс Дана (D). Порівнює міжкластерну відстань з діаметром кластера. Отримані кластери вважаються достатньо компактними і віддільними, якщо діаметр кластера малий стосовно міжкластерної відстані.

$$D = \min_{i,j \in \{1 \dots c\}, i \neq j} \left\{ \frac{d(c_i, c_j)}{\max_{k \in \{1 \dots c\}} \text{diam}(c_k)} \right\},$$

де d — відстань між кластерами c_i та c_j , яка знаходиться, як відстань між двома їх ближніми елементами; $d(c_i, c_j) = \min_{x \in c_i, y \in c_j} x - y$; $\text{diam}(c_i)$ — діаметр кластера.

Індекс оцінки силуету (OC). Відображає міру несхожості окремого елемента s елементами найближчого кластера, найкраще розбиття характеризується максимальним значенням індексу, що досягається коли відстань всередині кластера мала, а відстань між сусідніми кластерами велика.

$$S_{xj} = \frac{b_{pj} - a_{pj}}{\max(a_{pj}, b_{pj})},$$

де a_{pj} — відстань в середині кластера; b_{pj} — відстань між елементами сусідніх кластерів.

VNND індекс. Показує компактність кластера, чим нижче його значення, тим краще структура кластерів.

$$V(c_i) = \frac{1}{n_{ci} - 1} \sum_{x_j \in c_i} (d_{\min}(x_j) - \overline{d_{\min}(c_i)})^2,$$

де $d_{\min}(x_j)$ — відстань від елемента до його найближчого сусіда; $\overline{d_{\min}(c_i)}$ — середня відстань між найближчими сусідами в кластері.

Підсумкове значення індексу знаходиться за формулою:

$$VNND = \sum_{i=1}^c V(c_i).$$

Індекс Maulik-Bandoypadhyay (MB). Якщо цей показник високий, то було отримано правильну кількість кластерів.

$$MB = \left(\frac{1}{c} \frac{E_1}{E_c} D \right)^2,$$

де E_c — відстань всередині кластерів; E_1 — сума відстаней від центру кластерів до кожного елементу; D — максимальна відстань між кластерами.

Індекс Score Function (SF). Вимірює близькість всередині кластера, високий показник вказує на найкращу структуру.

$$SF = 1 - \frac{1}{\exp^{bcd-wcd}},$$

де bcd — відстань між кластерами; wcd — відстань між елементами всередині кластера.

Індекс щільності CDBw. Включає в себе три складові: компактність, віддільність, зв'язність. Оптимальне розбиття на кластери те, де показник найвищий. Загальна формула:

$$CDBw = Cohension - Sep - Compactness,$$

де $Cohension$ — зв'язність; Sep — віддільність; $Compactness$ — компактність.

$$Sep = \frac{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \min_{i \neq j} Dist_{ij}}{1 + \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \max(Dens_{ij})},$$

де $Dens$ — щільність між двома кластерами; $Dist$ — відстань між кластерами.

$$Compactness = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^{n_s} \frac{\frac{1}{r} \sum_{i=1}^c \sum_{v_k \in v_{ci}} cardinality(v_k^s)}{c \cdot stdev},$$

$$Cohension = \frac{Compactness}{1 + Intra_change},$$

де $Intra_change$ — щільність кластера.

Індекс Девіда Болдуїна (ДБ). Відображає середню схожість між певним кластером та найбільш близьким до нього кластером [2].

$$DB = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c R_i,$$

де $R_i = \max_{i,j \in \{1 \dots c\}, i \neq j} (R_{ij})$; R_{ij} — міра схожості між кластерами.

У WEB-додатку Zhy&Bor було реалізовано модуль оцінки якості (рис. 2), який можна використовувати для результатів кластеризації, що отримані в різних програмних продуктах. Кластеризацію проводили за допомогою: Zhy&Bor, IBM SPSS Modeler, Knime Analytics Platform, Orange. Перше дослідження відображало адекватність оцінки якості результатів кластеризації при різній кількості кластерів. В якості вхідних даних використовувалися показники якості борошна (рис. 3). Друге дослідження проводилося з використанням двох множин вхідних даних, кількість кластерів залишалась незмінною. Вхідні дані були згенеровані таким чином, що кластери можна виділити візуально. Для першого прикладу 4 кластери (рис. 4), а для другого — 8 кластерів (рис. 5).

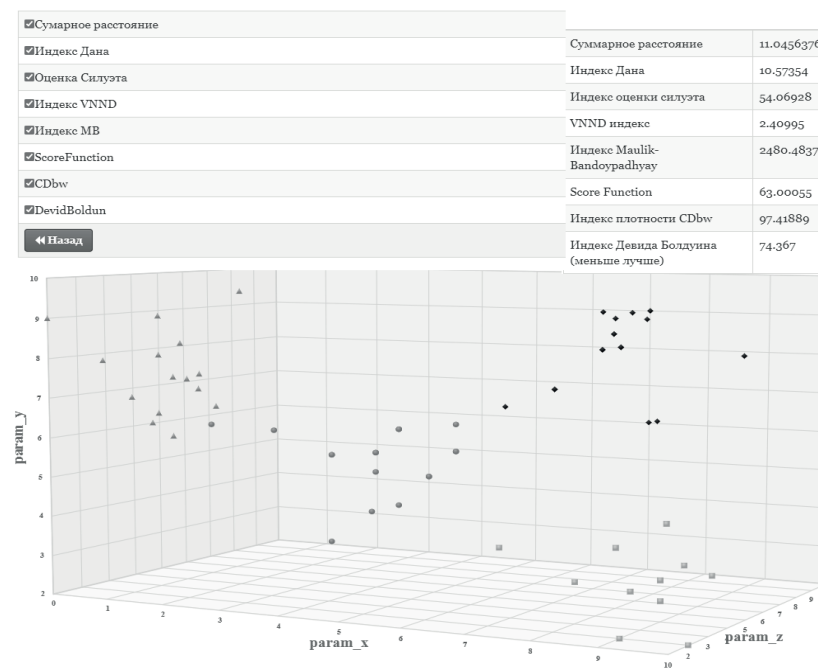


Рис. 2. Оцінка якості кластеризації в Zhy&Bor

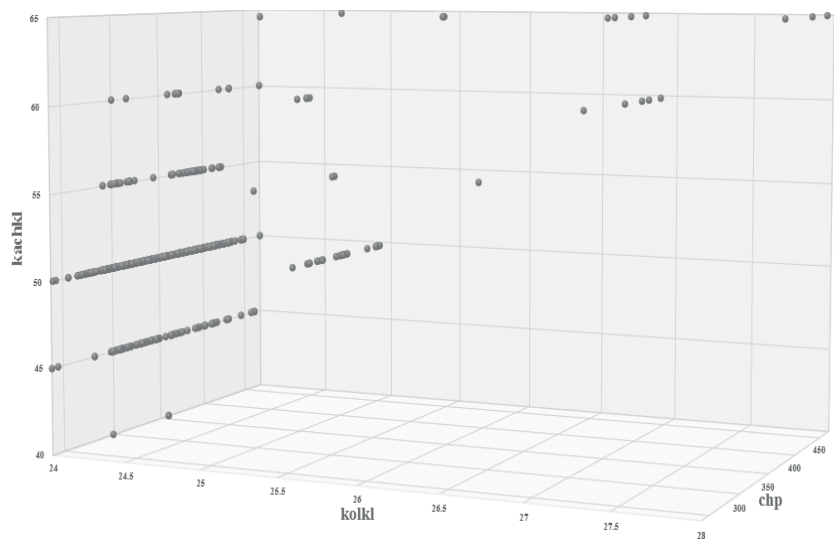


Рис. 3. Вхідні дані для проведення першого дослідження

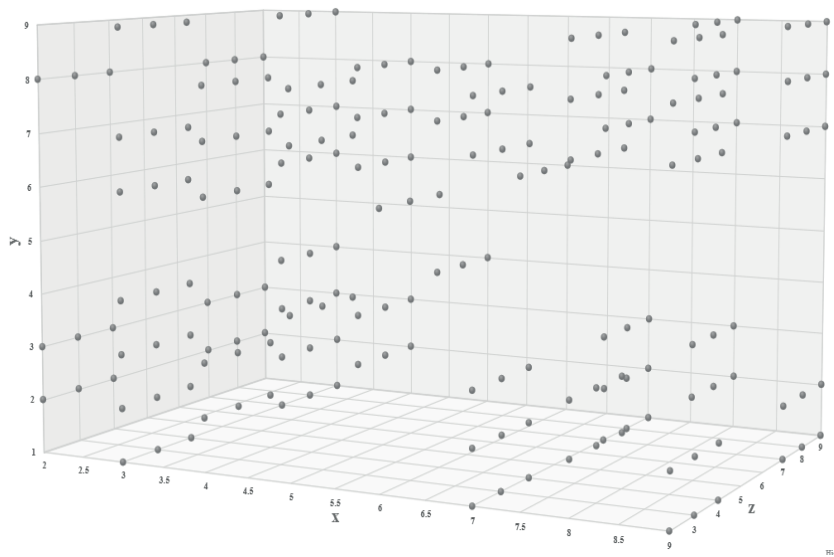


Рис. 5. Вхідні дані для проведення другого дослідження (8 кластерів)

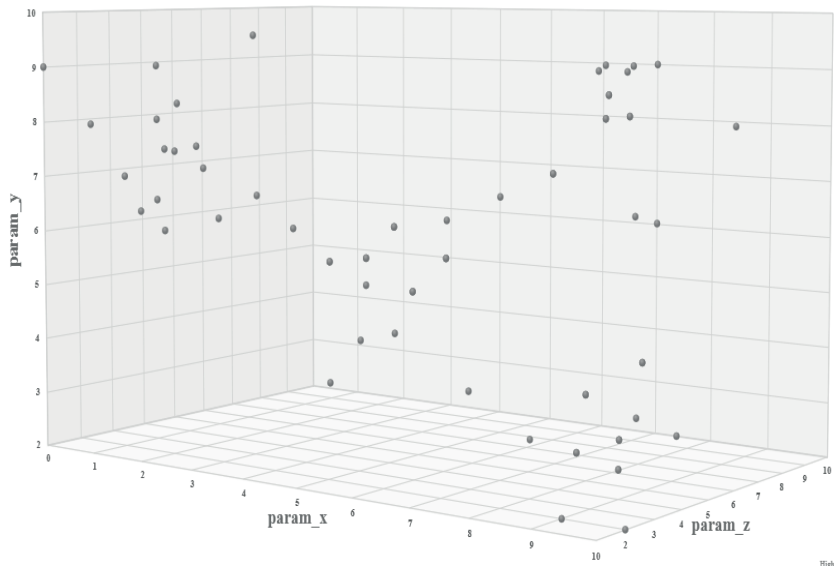


Рис. 4. Вхідні дані для проведення другого дослідження (4 кластери)

Таблиця 1

Результати проведення першого дослідження

	ПП	5	7	9	11	13		5	7	9	11	13
Індекс СВ	Zhybor	81	69	58	49	44	Індекс MB	3178	4639	5804	9294	9517
	Modeler	209	204	193	188	187		1113	1330	1283	1308	1554
	Knime	185	182	179	178	178		538.3	578.4	701.4	626.4	678
Індекс Д	Zhybor	0.4	0.56	0.56	0.64	0.62	Індекс SF	63	62.9	62.87	62.81	62.84
	Modeler	1.23	1.23	0.85	0.86	0.86		62.7	62.6	62.4	62.2	62.17
	Knime	0.3	0.6	0.61	0.31	0.32		62.68	62.48	62.3	62.16	61.9
Індекс ОС	Zhybor	40	38.8	39	51	47	Індекс CDbw	8.9	16	25	51.4	99
	Modeler	18	13.9	11	9.6	9.3		8.7	23.4	36	57	28
	Knime	5.4	0.54	-0.3	-3.4	-8.4		9.69	13.8	37.9	57	71

Закінчення таблиці 1

	ПП	5	7	9	11	13		5	7	9	11	13
VNDD індекс	Zhybor	1.2	1.7	1.5	3	1.7	Індекс ДБ	127	171	215	227	244
	Modeler	4.7	6.2	6.3	9.6	12		220	288	422	536	540
	Knime	2.3	3.9	6.4	8.4	12.4		459	690	809	1180	1266

Таблиця 2

Результати проведення другого дослідження (8 кластерів)

	Zhybor	Knime	Modeler	Orange
Сумарна відстань	56.77	79	56.77	90
VNDD індекс	0.03	0.017	0.03	0.93
Індекс Дана	11.68	10.86	11.68	14
Індекс оцінки силуету	30.78	21.06	30.78	8.07
Індекс Maulik-Bandoypadhyay	2174	1018	2174	1110
Score Function	62.6	62.13	62.6	61.94
CDbw	401.3	231.3	401.3	179.17
Девіда Болдуїна	231.43	666.9	231.43	537.16

Таблиця 3

Результати проведення другого дослідження (4 кластери)

	Zhybor	Knime	Modeler	Orange
Сумарна відстань	11.045	11.6	11.045	11.6
VNDD індекс	2.4	6.3	2.4	6.3
Індекс Дана	10.57	22.8	10.57	22.8
Індекс оцінки силуету	54.069	39.9	54.069	39.9
Індекс Maulik-Bandoypadhyay	2480.48	4541	2480.48	4541
Score Function	63	62.85	63	62.85
CDbw	97.4	524	97.4	524
Девіда Болдуїна	74.4	161	74.4	161

Візуалізація результатів кластеризації, отриманих різними програмними продуктами, була реалізована в IBM SPSS Modeler (рис. 5, 6).

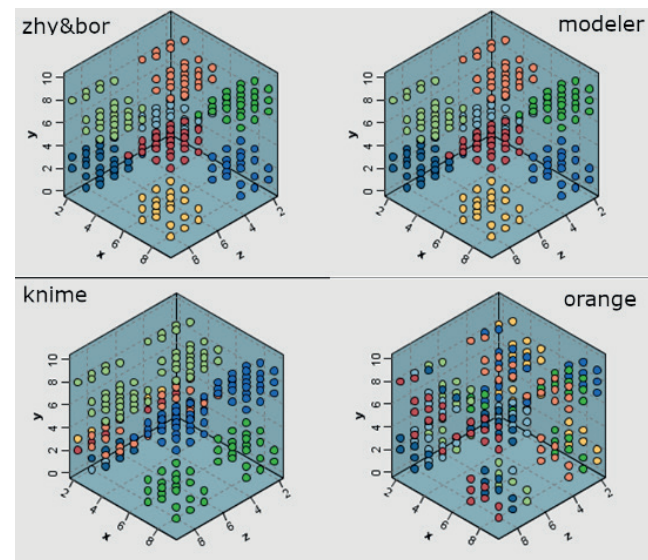


Рис. 5. Візуалізація результатів кластеризації (8 кластерів)

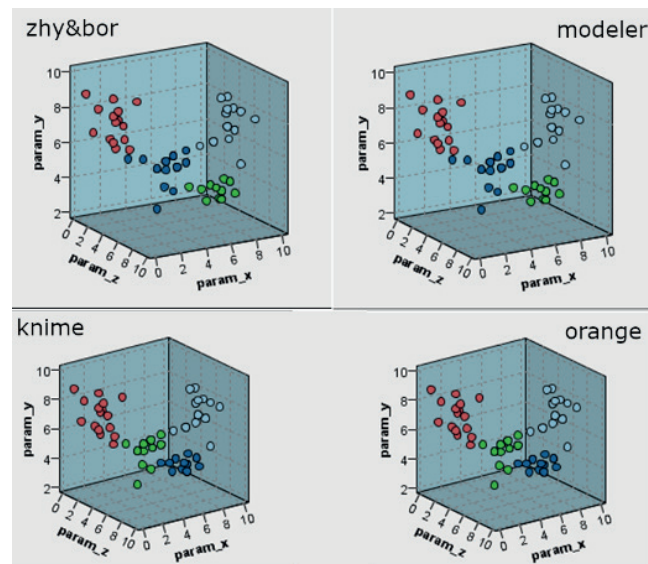


Рис. 6. Візуалізація результатів кластеризації (4 кластери)

Висновки.

1. Найкращі результати оцінки якості кластеризації за більшістю індексів отримані за допомогою Zhy&Bog та Modeler. Це дає підстави стверджувати, що індекси відпрацьовують коректно і їх можна використовувати для проведення подальших досліджень.

2. Zhy&Bog має перевагу перед іншими програмними продуктами, тому що він є окремим модулем, який можна інтегрувати з іншими системами, також в ньому реалізований автоматичний розрахунок кількості кластерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Halkidi M., Batistakis Y., Vazirgiannis M. On clustering validation techniques”, *Journal of intelligent information systems*. 2001. Vol. 17, no. 2–3. P. 107–145.
2. Сивоголовко Е. В. Методы оценки качества чёткой кластеризации”, *Компьютерные инструменты в образовании*. 2011. № 4. С. 14–31.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ШЛЯХОМ ВИРІШЕННЯ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ МІЖ ПРОЦЕСАМИ

Завертайло К. С., Хошаба О. М.

Однією із основних проблем в операційних системах є виникнення взаємних блокувань між процесами. Це значно знижує продуктивність роботи операційних систем. Для вирішення проблеми було запропоновано багато методів і розроблено ряд алгоритмів, але конкуренція процесів все одно породжує взаємні блокування.

В роботі розглянуто основні методи запобігання взаємним блокуванням, їх переваги, недоліки і застосування на практиці. Також розглянуто методи виявлення та усунення взаємних блокувань в операційних системах і алгоритми, що розроблені на базі вказаних методів. Піднято питання швидкості виявлення взаємних блокувань в операційних системах. Розглянуто існуючі методи виявлення взаємних блокувань. Запропоновано новий спосіб підвищення швидкості виявлення взаємних блокувань.

One of the main problems in operating systems is the occurrence of deadlocks between processes. This problem significantly reduces the performance of operating systems. To solve this problem, many methods have been proposed and a number of

algorithms have been developed, but the competition of processes equally generates deadlocks.

This paper discusses the main methods of preventing deadlocking, their advantages, disadvantages and practical application. Methods for detecting and eliminating deadlocks in operating systems and algorithms for crushing based on these methods are also considered. The question of the speed of detecting deadlocks in operating systems was raised. Existing methods for detecting deadlocks are considered. A new way to improve the rate of deadlock detection is proposed.

Сьогодні одне з найважливіших питань в інформаційних технологіях — це питання продуктивності роботи операційних систем. Однією з проблем, яка негативно впливає на продуктивність операційних систем, є проблема виникнення взаємних блокувань. Взаємне блокування це ситуація, коли два і більше процесів очікують ресурси, зайняті один одним [1]. Процесом в операційній системі є програма, що виконується в даний час, а ресурсом називається об'єкт, до якого надається доступ.

Описана ситуація схематично зображена на рисунку 1 у вигляді трьох процесів та двох ресурсів, де процеси позначені цифрами 1, 2 і 3, а ресурси літерами А і В. Ребро графа, яке спрямоване від ресурсу до процесу, означає, що цей ресурс зайнятий вказаним процесом, а стрілка від процесу до ресурсу вказує на те, що даний процес запитує на використання даний ресурс і переходить у стан очікування до тих пір, поки процес, що утримує даний ресурс, не звільнить його. Рисунок наочно демонструє, що перший і другий процеси зайняли ресурси А і В відповідно, але не збираються їх звільнити. Процес 1 подає запит на використання ресурсу В, при цьому утримуючи ресурс А, а процес 2, навпаки, подає запит на використання ресурсу А, утримуючи ресурс В. З цього зрозуміло, що процеси не звільнять займані ними ресурси і будуть очікувати запит на використання ресурсів значний час, допоки не наступить певна зовнішня подія, яка цілком може бути завершенням роботи системи.

До описаної вище схеми спеціально додано ще один процес, який демонструє, що в такій ситуації можуть опинитись не тільки ті процеси, що утримують ресурси, а й ті, що взагалі на мають у своєму розпорядженні жодних ресурсів [2]. Виникнення цієї проблеми викликає значне зниження продуктивності роботи операційної системи, оскільки запущені програми просто простоюють у стані очікування наданий планувальником для них час. Основними причинами виникнення описаної проблеми є конкуренція

між процесами за ресурси у своїх цілях, зрозуміло, що кожен процес утримує ресурс і не буде його звільняти для іншого процесу; також виникненню цієї проблеми сприяє паралельне і квазіпаралельне виконання запущених процесів. Нами буде розглянуто існуючі методи боротьби з проблемою взаємних блокувань, методи упередження виникнення ситуації взаємних блокувань і швидкість виявлення тупикової ситуації (взаємного блокування) від моменту її виникнення.

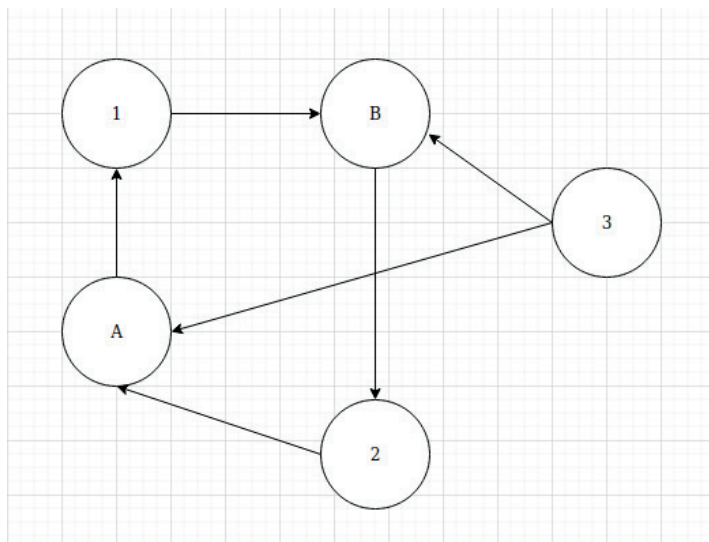


Рис. 1. Взаємне блокування

В роботі розглядаються методи вирішення проблеми взаємних блокувань. Одним з таких методів є алгоритм страуса, тобто ігнорування проблеми. Звісно, такий метод застосовується лише в тих операційних системах, де собі можна це дозволити, наприклад у системах, де взаємні блокування виникають досить рідко. Це може бути система, для якої час виконання поставлених завдань не є критичним, де процеси не часто займають ресурси у своїх цілях, або значна частина ресурсів може бути відібрана у певного процесу без певних збоїв у системі. Звичайно, існує немала кількість операційних систем, для яких це не є вирішення проблеми, тому ігнорування проблеми не є її вирішенням.

Одними з методів вирішення проблеми взаємних блокувань є методи запобігання взаємним блокуванням за допомогою певного способу розподілу ресурсів між процесами в операційних системах. Одним з найпоширеніших і найдавніших є алгоритм банкіра, що був розроблений Едгером Дейкстрою, який алгоритм розраховує відносно запитів, чи є стан системи безпечним. Для реалізації цього алгоритму потрібно заздалегідь знати кількість запитів від кожного процесу в системі і кількість процесів в системі, що робить на практиці цей алгоритм непотрібним.

Не існує сьогодні достатньо ефективних методів для запобігання взаємним блокуванням, оскільки майже всі методи, як і алгоритм Дейкстри, заздалегідь потребують інформацію про кількість часу виділеного певному процесу, кількість процесів в операційній системі та кількість запитів від процесів у системі. Тому на практиці використовують методи, коли ситуація взаємного блокування вже виникла, саме через це в роботі і буде розглянуто основні методи усунення взаємних блокувань [5].

Одним із методів виявлення взаємного блокування є метод виявлення взаємного блокування при використанні одного ресурсу кожного типу. Суттю метода є те, що будується граф, у якому зображені ресурси та процеси на вузлах. Якщо вузол у вигляді квадрату, то це ресурс, а якщо у вигляді круга, то це процес. Коли ребро направлено від процесу до ресурсу, то це означає запит даного процесу на вказаний ним ресурс, а якщо ребро направлено від ресурсу до процесу, то це вказівка на те, який процес утримує даний ресурс. На рисунку 2 схематично зображено граф роботи процесів у системі [4].

Послідовність роботи алгоритму дуже проста, береться певний процес за початкову точку і від нього по ребрах слідують до наступного вузла. Коли алгоритм проходиться весь до кінця і вузли не повторюються, то це означає, що взаємне блокування не виникло, тоді береться наступний вузол і так само проходиться весь граф. Якщо ж попадаються повторення, то це означає, що було знайдено ситуацію взаємного блокування.

Як зрозуміло із назви метода, він підходить для роботи такої системи, коли в неї є для кожного типу ресурсу лише один ресурс. Тому що повторитись можуть два різних ресурси одного і того ж типу, а алгоритм зробить висновок про знайдене взаємне блокування.

Оскільки в більшості систем на сьогоднішній день є багато ресурсів одного і того ж типу, то необхідно розглянути метод виявлення

взаємного блокування при використанні декількох ресурсів кожного типу. Метод виконується за допомогою двох матриць. На рисунку 3 зображено матрицю поточного розподілу [6]. У рядках матриці пронумеровані процеси, існуючі на даний момент в системі, а в стовпчиках — ресурси та кількість ресурсів кожного типу, що є в системі. В самих комірках зображено, яку кількість ресурсів певного типу утримує в своєму розпорядженні кожен процес.

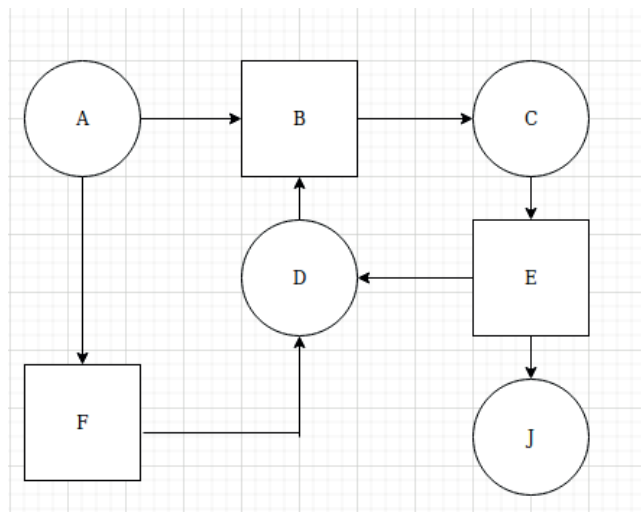


Рис. 2. Граф роботи процесів

Також для цього алгоритму вводиться ще одна матриця, яка відповідає за кількість запитів від кожного процесу, ця матриця так і називається матрицею запитів. Вона зображена на рисунку 4. В комірках цієї матриці зображено кількість запитів від кожного процесу на кількість ресурсів певного типу.

Робота самого алгоритму полягає в розгляді матриці запитів і виявленні того процесу, чиї запити можуть бути повністю задоволені. Для того, щоб виявити кількість вільних для запиту ресурсів кожного типу, потрібно порівнювати матрицю запитів і матрицю поточного розподілу і виявляти процеси, запити яких можуть бути повністю задоволені. Таким чином перевіряється кожен процес в системі та знаходяться варіанти виходу із ситуації [3]. Коли ж такі варіанти знайти неможливо, то така ситуація є взаємним блокуванням.

	2 рс	2 рс	5 рс	1 рс
1-й пр	0	0	2	1
2-й пр	0	2	0	0
3-й пр	1	0	2	1
4-й пр	0	0	3	0

Рис. 3. Матриця поточного розподілу

	1 рс	0 рс	2 рс	1 рс
1-й пр	0	1	0	0
2-й пр	1	0	2	0
3-й пр	0	1	0	1
4-й пр	0	0	1	0

Рис. 4. Матриця запитів

Також дуже важливою є тема виходу зі взаємного блокування після того, як така ситуація була виявлена. Одним із найпоширеніших, але і найгрубіших, є простий спосіб знищення якогось процесу. Для цього просто проводиться огляд всіх процесів, що опинилися в заблокованому стані, і вибирається найменш значущий процес з найменшим пріоритетом і знищується. Звісно, такий метод є не зовсім прийнятним. Оскільки роботу певної задачі потрібно починати з самого початку. Також для виконання такої дії з конкретним процесом

існує одна умова: потрібно оцінити, наскільки погано це вплине на роботу всієї операційної системи, це нерідко залежить від самого ресурсу, який утримується процесом.

Також поширеним є спосіб пріоритетного володіння ресурсом. Суть способу полягає в тому, що береться конкретний процес, який утримує ресурс, і цей ресурс в нього відбирається, всі дані процесу зберігаються, поки йому не буде повернено даний ресурс. Але таке рішення також є не завжди прийнятним, оскільки існують ресурси, які просто не можна примусово відібрати у процесу, не порушивши в цілому роботу системи.

Вище було розглянуто найбільш поширені алгоритми та методи вирішення проблеми взаємного блокування, але дуже мало приділено уваги швидкості пошуку такої ситуації. Зазвичай в сучасних системах застосовується простий циклічний спосіб перевірки на наявність взаємного блокування через певний проміжок часу. В нього є певний недолік, оскільки найбільш часто така перевірка запускається марно, а зайві обчислення ніякій системі не потрібні. Тому нами буде запропоновано більш точний спосіб виявлення взаємного блокування в операційних системах.

Для того щоб більш точно обраховувати вірогідність виникнення взаємного блокування, потрібно задати собі питання — які ознаки взаємного блокування проявляють процеси в операційній системі та задіяні поставленими завданнями перед процесами ресурси. Зрозуміло, що перша ознака цього це довгий простій певних процесів та довге утримання у своєму розпорядженні ресурсів цими ж процесами [8].

Якщо спиратися на вказану вище ознаку, то виявляти взаємні блокування система буде занадто пізно. Тобто тоді, коли процеси та ресурси вже значний час знаходилися у стані простою і така ситуація вже встигла негативно вплинути на продуктивність операційної системи. Тому для того, щоб мати можливість якомога раніше виявляти взаємні блокування і при цьому не запускати цикл перевірки впусту, потрібно оцінювати роботу процесів, їх взаємодію та використання процесами ресурсів у нормальному стані, коли ще конфліктів між процесами не виникло.

Перш за все потрібно спиратися на час роботи кожного процесу в операційній системі і час використання того чи іншого ресурсу процесами в системі. Для початку потрібно розглянути роботу ресурсів в операційній системі, а саме те, як використовують в своїх цілях їх процеси. Першим кроком з боку процесу щодо ресурсу є запит на

використання вказаного ресурсу. Коли ж ресурс зайнятий, то запит відхиляється і процес переходить у стан очікування того, коли даний ресурс звільниться. Якщо ресурс вільний, то процес отримує запитуваний ним ресурс в своє розпорядження.

Для більш точної оцінки того, коли потрібно запускати механізм перевірки на наявність взаємного блокування, потрібно створити окремий алгоритм, який буде працювати незалежно від роботи операційної системи і не буде на неї впливати. Звісно, що програмна реалізація такого алгоритму буде індивідуальна для кожної операційної системи, в залежності від роботи ядра, алгоритму планування та інших факторів. Для такої програми потрібно окремо зберігати дані, які будуть враховувати запити на використання ресурсів процесами, запити, які задовольняють вимоги процесів щодо ресурсів і звільнення ресурсів процесами. Дуже важливо фіксувати час того, коли кожен задіяний в системі ресурс був переданий в розпорядження конкретного процесу, та той час, коли кожен займаний ресурс було звільнено процесом [9].

Сама суть запропонованого метода дуже проста:

$$t_r = t_2 - t_1; t_r \geq t_{r-n} * k, \quad (1)$$

де t_r — це середнє арифметичне використання даного ресурсу всіма процесами, які його використовували від початку роботи операційної системи, t_1 — це момент часу, коли запит на використання конкретного ресурсу було задоволено тим процесом, що подавав запит, t_{12} — це момент часу, коли процес, що утримував вказаний ресурс, звільнив його і даний ресурс може використовуватися іншими процесами, що знаходяться в черзі. Також у формулі описано порівняння з попереднім значенням, що множиться на певний коефіцієнт в залежності від параметрів операційної системи та стану, в якому вона знаходиться в даний час.

Формула дієва лише стосовно тих ресурсів, які часто використовуються в операційній системі запущеними процесами, але це є перевагою формули, оскільки ресурси, які частіше використовуються процесами, мають більшу вірогідність потрапити у стан взаємного блокування. Таким чином, після багатьох запитів буде виведене число, яке наглядно показує, скільки процесу потрібно часу для роботи з вказаним ресурсом.

Щоб оцінити, коли ж все таки потрібний запуск перевірки, необхідно знати особливості конкретної операційної системи, дуже важ-

ливі фактори того, як часто виникають взаємні блокування в цій системі, які саме ресурси використовуються в системі та інше. Але більш-менш впевнено можна запускати перевірку після того, як ресурс утримується процесом більше ніж вдвічі від середнього часу використання цього ресурсу процесами.

Також важливо відзначити, що якщо використовувати лише вищевказаний спосіб, то це навряд чи відчутно підвищить швидкість реагування на ситуації взаємного блокування [7]. Тому потрібно ввести ще один спосіб, який наблизить шанс більш швидкого виявлення взаємного блокування:

$$N = \frac{N_k * 100}{N_j} \quad (2)$$

У формулі зображено частоту запитів на використання щодо кожного ресурсу від всіх процесів відносно всіх задіяних в операційній системі ресурсів. У формулі N — коефіцієнт частоти запитів до ресурсу відносно інших ресурсів, N_k — кількість запитів за певну одиницю часу (яка визначається в кожній операційній системі індивідуально) до ресурсу, N_j — кількість всіх запитів за певну одиницю часу в операційній системі.

Суть формули 2 полягає в тому, що вона виводить частоту запитів кожного ресурсу в операційній системі за останній час її роботи. Як відомо, чим більш запитуваний процесами в системі ресурс, тим більша вірогідність того, що саме він і стане причиною взаємного блокування між процесами, яким він потрібен для них у подальшій роботі. Час, за який потрібно оцінювати запитування кожного ресурсу процесами, також потрібно визначати від типу операційної системи та від того, наскільки система в цілому навантажена в даний час. Плюсом цієї формули є те, що алгоритм, розроблений на її базі, також не буде впливати на роботу операційної системи і буде працювати незалежно від роботи процесів, допоки не виникне підозра у взаємному блокуванні.

Описані дві формули можна застосувати разом в роботі одного алгоритму, вони будуть значно підвищувати точність виявлення взаємного блокування і тим самим підвищать швидкість знаходження взаємного блокування в операційній системі. Коли ресурс утримується занадто довго, то запускається перевірка алгоритмом, що базується на другій формулі, якщо вона вказує на значну частоту запитів цього ресурсу, то це підтверджує підозри щодо виникнення ситуації взаєм-

ного блокування і дає привід для того, щоб почати перевірку на наявність такого стану.

Запропонований спосіб звичайно не надасть можливості оперативно і якомога швидше реагувати на виникнення взаємних блокувань, але він підвищить точність їх виявлення в системах. Звичайно, однією із проблем такого метода є те, що його потрібно для кожної операційної системи розробляти індивідуально, що ускладнює його застосування на практиці, але якщо все ж таки спробувати вирішувати проблему взаємних блокувань за допомогою такого метода, то відпаде необхідність у циклічній перевірці через кожний визначений в системі проміжок часу на наявність взаємних блокувань. Запропоновані методи на основі описаних формул базуються на задіяних в операційній системі ресурсах, хоча фактичною причиною виникнення взаємних блокувань в операційній системі є конкуренція між процесами та непередбачуваність їх дій від моменту створення. Тому можна вивести формули, базуючись на природі роботи процесів в операційній системі. Хоча це буде значно складніше через кілька факторів [10].

По-перше, на відміну від ресурсів, які проблематично відібрати у процесу, який, в свою чергу, ним володіє, процеси динамічно створюються і знищуються під час роботи операційної системи. Це значно ускладнює розробку програми, що базується на основі запропонованого алгоритму, тому що потрібно створювати додаткові функції для відстеження процесів і фіксації їх станів, створення нових процесів та знищення тих, що вже виконали свою роботу.

По-друге, в кожному процесі є свій пріоритет, який обов'язково потрібно врахувати, тому що від пріоритету залежить, чи буде надано доступ певному процесу до запитуваного ним ресурсу, чи ні. Також параметр пріоритету визначає для алгоритму планування в системі, скільки процесу потрібно виділити процесорного часу для обробки даних.

Дуже важливим фактором, який обов'язково потрібно враховувати, є час. Оскільки саме завдяки часу можна побачити, наскільки висока вірогідність того, чи виникла ситуація взаємного блокування чи ні. Графік на рисунку 5 показує, що ймовірність виникнення ситуації взаємного блокування значно висока. Вертикальна шкала графіка зображує час у мілісекундах, а горизонтальна — процеси, що подають запит на використання одного ресурсу. На вертикальній шкалі для кожного з процесів, що подають запит на використання ресурсу, виділено цілий відрізок.

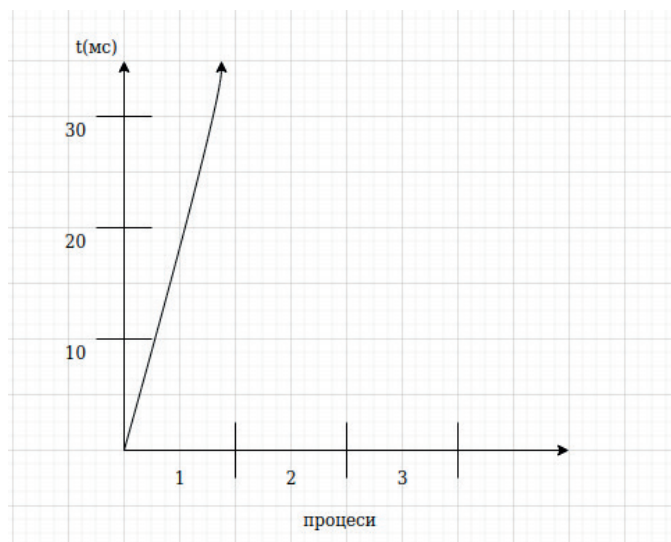


Рис. 5. Часова діаграма ресурсу, що довго утримується процесом

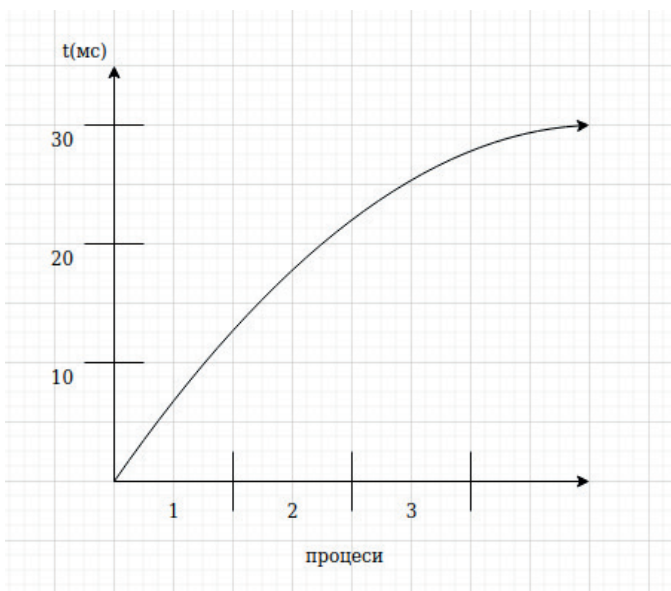


Рис. 6. Часова діаграма ресурсу, що надовго не утримується процесами

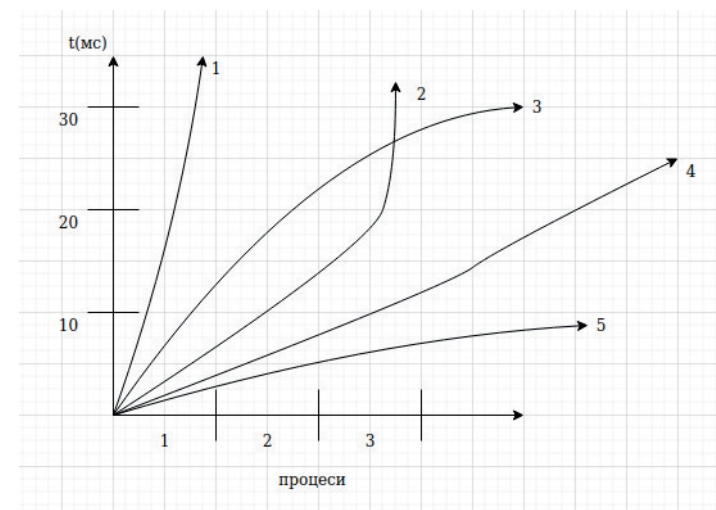


Рис. 7. Часова діаграма декількох ресурсів

Крива, яка описує ресурс, зображає, який саме процес її утримує в тому відрізку, в якому знаходиться крива, той процес і утримує в своєму розпорядженні даний ресурс. На рисунку 5 явно видно, що перший процес занадто довго утримує в своєму розпорядженні ресурс, а другий і третій чекають на цей ресурс в черзі, отже висока вірогідність того, що виникло взаємне блокування.

На рисунку 6 зображена зворотна ситуація, коли процеси надовго не утримують в своєму розпорядженні ресурс та звільняють його після того, як виконали поставлені перед ними операційною системою задачі. Тому графік демонструє, що вірогідність того, що виникла ситуація взаємного блокування, значно мала.

Зображені часові діаграми описують вірогідність виникнення ситуація взаємного блокування в операційній системі відносно ресурсу, причому лише одного ресурсу [11]. Це зроблено для наочності, звісно, можна в такій діаграмі зобразити дві і більше кривих, що описують по ресурсу і в залежності від того, які саме криві надовго затримуються в відрізках певних процесів, ті криві і ті процеси і опинилися в заблокованому стані між собою, так як це зображено на рисунку 7.

Такі самі графіки можна побудувати і для процесів, але зазвичай на графіку кривих буде більше, тому що кожна крива буде вказувати

на запит для кожного ресурсу, що вже замість процесів зображені на горизонтальній шкалі. Вертикальна шкала так само відображає час утримання кожного з ресурсів процесом, який зображено на графіку. На рисунку 8 зображено процес, який утримував перший та другий ресурси, запити на використання ресурсів починаються з початку відрізка кожного ресурсу. Як видно з графіка, немає ризику виникнення ситуації взаємного блокування з цим процесом, тому що процес звільнив всі утримувані ним ресурси.

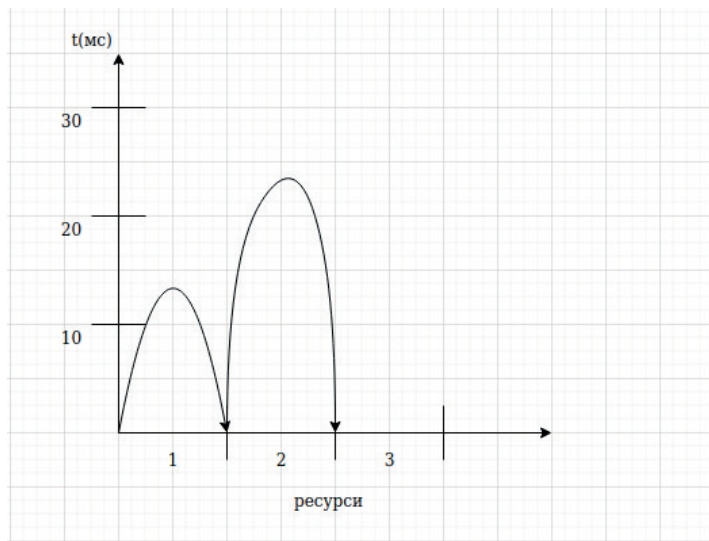


Рис. 8. Часова діаграма процесу

Графік на рисунку 9 відображає високу вірогідність того, що виникла ситуація взаємного блокування, тому що запит процесу на другий ресурс дуже довго утримує даний ресурс. Як видно з самого графіка, крива, що йде від запиту другого ресурсу, на відміну кривої, що зображує запит першого ресурсу, демонструє, що даний процес навіть найближчим часом не збирається звільнити другий ресурс.

Графіки ще раз підтверджують те, що набагато зручніше виявляти взаємні блокування, слідкуючи саме за ресурсами, що були задіяні під час роботи операційної системи. Причиною цього є те, що для опису процесів потрібно значно більше кривих, які характеризують кожний запит від кожного процесу, тоді як для ресурсів про-

сто можна зображати криві, що показують, які саме процеси утримують даний ресурс в конкретний момент часу. Процеси, на відміну від ресурсів [12] (тих ресурсів, що не можна відібрати у процесу, не порушивши роботу системи), динамічно створюються під час роботи системи, що змушує створювати додаткові алгоритми для відстеження тих процесів, що вже були знищені, та тих, що були створені системою.

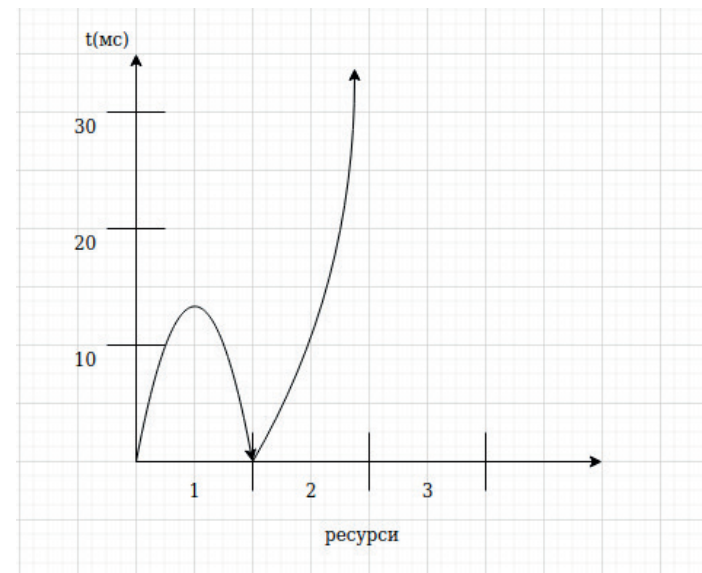


Рис. 9. Часова діаграма процесу у взаємному блокуванні

Висновки: В статті розглянута проблема виникнення взаємних блокувань в операційних системах. Розглянуто суть проблеми та причини її виникнення. Описані способи та методи вирішення проблеми шляхом її уникнення, також розглянуто алгоритми усунення взаємних блокувань. Описана проблема швидкого реагування на потенційне взаємне блокування та способи підвищення точності їх виявлення. Виведено формули на основі роботи процесів та алгоритму планування в операційних системах. Розглянуто способи вирішення вказаної проблеми, що ґрунтуються на спостереженнях за ресурсами. Також розглянуто варіант опису роботи процесів, що є більш складним у реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Таненбаум Е. Сучасні операційні системи 4 видання. — СПб.: Питер, 2015. — 1120 с.
2. Лав Р. Ядро Linux. Описание процесса разработки 3 издание. — М.: ООО Вильямс, 2013. — 496 с.
3. Стивенс У. Unix: Взаимодействие процессов — СПб.: Питер, 2003. — 576 с.
4. Лав Р. Linux системное программирование. — 2 издание. — СПб.: Питер, 2014. — 448 с.
5. Гордеев А. В. Системное программное обеспечение. — СПб.: Питер, 2001. — 736 с.
6. Квиттнер П. Задачи, программы, вычисления, результаты. — М.: Мир, 1980. — 422 с.
7. Єфименко В. В., Оніщенко С. М., Франчук В. М. Операційні системи. Лабораторний практикум: навчальний посібник. — К.: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2008. — 124 с.
8. Петерсен Р. LINUX: руководство по операционной системе. Второе издание, переработанное и дополненное. — Киев: BHV, 1998. — 1000 с.
9. Шеховцов В. А. Операційні системи. — К.: Видавнична група ВНУ, 2005. — 576 с.
10. Котов В. Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
11. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
12. Лобачевский А. Операционная система UNIX. — Санкт-Петербург: BHV, 1997. — 500 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ДВІЙКОВОГО КОДУВАННЯ РОЗРІЗІВ
ДЛЯ ВИРІШЕННЯ МЕРЕЖНИХ ЗАДАЧ

Князєва Н. О., Лисенко Н. О.

В роботі показано, що завдання визначення пропускної здатності, надійності та живучості набувають все більшої актуальності як у сфері проектування, так і при експлуатації телекомунікаційних мереж, зважаючи на інтенсивний розвиток телекомунікацій в останнє десятиріччя.

Запропоновано методи вирішення мережних задач, що базуються на застосуванні двійкового кодування розрізів мережі, а саме: визначення максимального двохолюсного потоку одночасно для всіх пар пунктів мережі; визначення коду мінімального розрізу; визначення нижньої межі структурної

надійності та структурної живучості телекомунікаційних мереж; визначення максимального двохолюсного потоку на основі застосування множини розрізів у диз'юнктивній нормальній формі.

Використання двійкового кодування розрізів призводить до чіткої формалізації процесів вирішення вказаних задач та в результаті — до практичної можливості застосування запропонованих методів для сучасних телекомунікаційних мереж.

It is shown, that task of determination of carrying capacity, reliability and vitality are acquired all greater actuality both in the sphere of planning and during exploitation of telecommunication networks having regard to intensive development of telecommunications in the last decade. The methods of decision of network tasks that are based on application of binary code of cuts of network offer, namely: determination of maximal twopole stream simultaneously for all pairs of points of network; determination of code of minimum cut; determination of lower limit of structural reliability and structural vitality of telecommunication networks; determination of maximal interpol flow is on the basis of application of multitude of cuts in the disjunctive normalized form.

The use of binary code of cuts results in clear formalization of processes of decision of the indicated tasks and as a result — to practical possibility of application of offer methods for modern telecommunication networks.

Ефективність функціонування телекомунікаційних мереж (ТКМ) залежить від багатьох факторів, серед яких одними з найважливіших є пропускна здатність, а також надійність та живучість ТКМ. Забезпечення та підвищення пропускної здатності, надійності та живучості ТКМ набувають все більшої актуальності як у сфері проектування, так і при експлуатації ТКМ, зважаючи на інтенсивний розвиток телекомунікацій в останнє десятиріччя.

Пропускна здатність ТКМ перш за все характеризує спроможність мережі задовольняти вимоги користувачів щодо якості наданих сервісів. Пропускна здатність між пунктами мережі визначається максимальним двохолюсним потоком між цими пунктами. Слід відзначити, що із появою нових концепцій побудови сучасних мереж завдання визначення максимального потоку набуває все більшої актуальності, тому удосконалення існуючих методів та розробка нових підходів до його вирішення безумовно являє науковий та практичний сенс.

Стосовно Future Networks — майбутніх мереж (ММ) — у документах ITU [1] рекомендується, щоб проектування, експлуатація та розвиток ММ здійснювалися так, щоб забезпечити надійність, безпеку, а також живучість, що визначає можливості мережі своєчасно виконувати свою місію — забезпечувати прийнятний рівень обслуговування,

навіть якщо нормальна експлуатація мережі ускладнюється різними проблемами [2]. Надійність (а також живучість) залишається однією з вимог до ТКМ, представлених у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т). Так, згідно із Рекомендацією МСЕ-Т X. 120, ТКМ повинна бути безпечною, надійною та доступною користувачеві у будь-який момент часу [1]. ТКМ належать структурним системам, тобто особливого значення для ТКМ набувають питання оцінки структурної надійності та живучості.

Нами запропоновано удосконалення методів визначення як максимального двохполюсного потоку, так і нижньої межі структурної надійності та структурної живучості ТКМ на основі застосування двійкового кодування розрізів.

Двійкове кодування розрізів мережі для визначення максимального двохполюсного потоку. Структура мережі задається традиційною графовою моделлю, яка являє собою мережу у вигляді множини вузлів (вершин), що моделюють пункти мережі, та множину ребер (гілок мережі), що моделюють прямі зв'язки, які сполучають пари вузлів. Розглядається будь-яка зв'язна мережа — неорієнтована, орієнтована, змішаної структури. Пропускна здатність мережі між пунктами s та t визначається максимальним двохполюсним потоком ϑ_{st} , який являє множину не негативних чисел $f(x, y)$ (кожне з яких поставлене у відповідність деякому ребру графа (гілці ТКМ)), якщо ці числа задовольняють лінійним обмеженням:

$$\sum_x f(x, y) - \sum_k f(y, k) = \begin{cases} \vartheta, \text{ якщо } y=s \\ 0, \text{ якщо } y \neq s, t \\ \vartheta, \text{ якщо } y=t \end{cases},$$

$$0 \leq f(x, y) \leq c(x, y) \text{ для усіх } x, y \\ \vartheta \geq 0.$$

Тут перша сума береться по ребрах, ведучих у вершину y , друга — по ребрах, що ведуть із вершини y . Число ϑ називається величиною потоку; $c(x, y)$ — пропускна здатність гілки (x, y) ; $(s, t, x, y = \overline{1, n}; s \neq t, x \neq y; n$ — кількість вершин графа (пунктів мережі)).

Один з найбільш важливих результатів теорії потоків у мережах, сформульований теоремою Л. Форда і Д. Фалкерсона про максимальний потік та мінімальний розріз [3]: для будь-якої мережі з од-

ним джерелом та одним стоком величина максимального потоку від джерела до стоку дорівнює величині мінімального розрізу, що розділяє джерело та стік. Для пошуку пропускної здатності ТКМ відносно пунктів (s, t) — максимального двохполюсного потоку ϑ_{st} — використовуються методи: позначок; найкоротших шляхів; формування множини розрізів, що поділяють пункти s і t ТКМ, як двійкову булівську функцію від множини шляхів між пунктами s та t , та перетворення її у диз'юнктивну нормальну форму (ДНФ) [3–5]. Слід зазначити, що існуючі методи визначення максимального потоку в мережі, які, безумовно, вирішують поставлене завдання, в той же час потребують більшого ступеня формалізації задля можливості їх використання при вирішенні завдань в мережах великої розмірності.

Нами наведено спосіб формалізації процедури пошуку максимальних двохполюсних потоків, який базується на двійковому кодуванні розрізів. Надамо реалізацію ідеї двійкового кодування розрізів для визначення максимального двохполюсного потоку.

Розрізи, що розділяють граф, зображуються у вигляді n -розрядного двійкового коду (n — кількість вершин графа), у якому кожній вершині відповідає свій розряд у послідовності 1, 2, 3, ..., n . Дві підмножини вершин графа, утворених розрізом, інтерпретуються як підмножини джерел (типу s) та стоків (типу t). Першій із підмножин поставимо у відповідність одиничні символи у коді розрізу, другій — нульові. Перелік ребер, що входять у будь-який розріз, формується з матриці пропускних здатностей ребер (ліній мережі) C та коду цього розрізу. Зрозуміло, якщо рядкам матриці C надати зміст джерел, а стовпцям — зміст стоків, то в розріз, який заданий деяким двійковим кодом, входять ребра, що визначаються елементами матриці, які знаходяться на перетинаннях рядків та стовпців, відповідних цьому коду. А саме — номери рядків визначаються за номерами двійкових розрядів коду розрізу, у яких записана «1», а номери стовпців визначаються за номерами двійкових розрядів коду розрізу, у яких записаний «0». Так, для графа, що містить п'ять вершин, матриця C у загальному випадку буде мати вигляд табл. 1.

Розрізу, що розділяє, наприклад, вершини 1, 2, 5 та 3, 4, відповідають рядки 1, 2, 5 та стовпці 3, 4 матриці C , на перетинанні яких розташовані елементи $c_{13}, c_{14}, c_{23}, c_{24}, c_{53}, c_{54}$, що визначають набір ребер, які входять у зазначений розріз. Обчислення значення пропускної здатності розрізу зводиться до підсумовування значень $c(x, y)$ ребер, що входять у розріз.

Таблиця 1

Матриця C пропускних здатностей ребер графа (ліній мережі)

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} \end{bmatrix}$$

Тоді для графа (рис. 1), матриця пропускних здатностей ребер якого, наведена у табл. 2, величина пропускної здатності розрізу S , що розділяє вершини 1, 2, 5 від вершин 3, 4, складає:

$$C(s) = c_{13} + c_{14} + c_{23} + c_{24} + c_{53} + c_{54} = 0+0+9+0+0+7=16 \text{ од.}$$

Таблиця 2

Матриця пропускних здатностей

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 4 & 0 & 0 & 9 \\ 10 & \infty & 9 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & \infty & 11 & 6 \\ 0 & 0 & 8 & \infty & 0 \\ 15 & 7 & 0 & 7 & \infty \end{bmatrix}$$

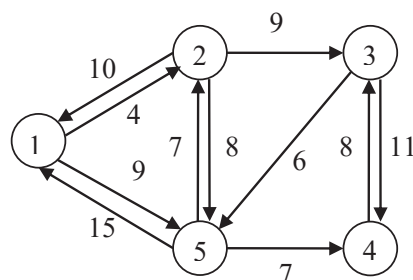


Рис. 1. Орієнтований граф

Цей метод дозволяє одночасно з обчисленням величин усіх розрізів визначити максимальні потоки між усіма парами вершин графа завдяки тому, що індекси усіх елементів $c(x, y)$ матриці C , які знаходяться на

перетинаннях рядків та стовпців, відповідних коду розрізу, збігаються не тільки з індексами усіх ребер, що входять у розріз, але і з індексами усіх двохполюсних потоків ϑ_{st} , що поділяються цим розрізом.

Сутність методу складається у виконанні послідовності таких дій.

Утворюється двійковий код розрізу і обчислюється пропускна здатність $C(S)$ (величина) поточного розрізу S як сума пропускних здатностей ребер, які знаходяться на перетинаннях рядків і стовпців, відповідних коду розрізу. Величина кожного потоку ϑ_{st} , поділюваного даним розрізом (яка записана в матриці V і була визначена на попередніх етапах, у відповідності із попередніми кодами розрізів), порівнюється із обчисленою пропускною здатністю розрізу та замінюється останньою за умови:

$$C(S) < \vartheta_{st} \quad C(S) < \vartheta_{st}. \quad (1)$$

Процес обчислень повторюється для всіх розрізів. У результаті формується матриця V , кожний елемент ϑ_{st} якої визначає величину максимального потоку між пунктами s і t графа (ТКМ); $s, t = \overline{1, n}$; n — кількість вершин графа (пунктів мережі). Для графа, наданого на рис. 1, із матрицею пропускних здатностей ребер (табл. 2) матриця V максимальних двохполюсних потоків представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Матриця максимальних потоків

$$V = \begin{bmatrix} \infty & 11 & 13 & 13 & 13 \\ 24 & \infty & 16 & 16 & 23 \\ 6 & 6 & \infty & 17 & 6 \\ 6 & 6 & 8 & \infty & 6 \\ 22 & 11 & 16 & 16 & \infty \end{bmatrix}$$

Таблиця 4

Матриця CS кодів мінімальних розрізів

$$CS = \begin{bmatrix} - & 10111 & 10000 & 10000 & 10000 \\ 01110 & - & 11001 & 11001 & 11110 \\ 00110 & 00110 & - & 00100 & 00110 \\ 00110 & 00110 & 00010 & - & 00110 \\ 00111 & 10111 & 11001 & 11001 & - \end{bmatrix}$$

Визначення коду мінімального розрізу. Нами надано також реалізацію ідеї двійкового кодування розрізів не тільки для визначення величини максимальних потоків, але і для переліку гілок мережі, що утворюють мінімальний розріз.

Сутність цієї реалізації полягає в тому, що крім формування матриці V значень максимальних двохполюсних потоків здійснюється одночасне формування матриці CS кодів мінімальних розрізів. А саме: якщо для отриманого поточного двійкового коду розрізу при аналізі відповідного елементу ϑ_{st} матриці V умова (1) виконується, що визначає необхідність заміни елементу ϑ_{st} матриці V значенням пропускної здатності $C(S)$ поточного розрізу, тоді у відповідний елемент CS_{st} матриці CS записується двійковий код поточного розрізу.

У результаті матриця V містить величини максимальних потоків ϑ_{st} між пунктами мережі, а матриця CS — коди відповідних розрізів CS_{st} , що надає можливість визначити ті ребра графа (лінії мережі), що складають розріз. Для графа, який наведений на рис. 2, матриця кодів мінімальних розрізів наведена у табл. 4.

Так, наприклад, величина максимального потоку $\vartheta_{24}=16$ (табл. 3), двійковий код мінімального розрізу — 11001 (табл. 4). Пропускні здатності ребер графа, що складають мінімальний розріз — $c_{13}, c_{14}, c_{23}, c_{24}, c_{53}, c_{54}$; величина пропускної здатності цього розрізу, що визначає максимальний потік — $\vartheta_{24}: c_{13} + c_{14} + c_{23} + c_{24} + c_{53} + c_{54} = 0 + 0 + 9 + 0 + 0 + 7 = 16$ од. (дані з табл. 2).

Тому що кожний елемент матриці CS — CS_{st} — дозволяє визначити, які саме гілки впливають на величину пропускної здатності мережі між пунктами s та t , це надає можливість, при зовнішньому небезпечному впливі на мережу, в результаті якого деяка гілка мережі вийде з ладу, отримати необхідну інформацію відносно того, які саме максимальні потоки змінять свої величини. Ця інформація особливо важлива при забезпеченні живучості мережі як в цілому, так і відносно окремих напрямів зв'язку ($s, t = \overline{1, n}$, n — кількість вершин графа (пунктів мережі)).

Двійкове кодування розрізів мережі для визначення нижньої межі структурної надійності та структурної живучості ТКМ.

В теперішній час оцінка структурної надійності та структурної живучості (СНСЖ) ТКМ може здійснюватися різними методами — прямого перебору, структурних перетворень, розкладання відносно особливого елемента (метод Шеннона — Мура) тощо [4; 6]. Слід зазна-

чити, що особливої уваги заслуговує метод розрахунку СНСЖ ТКМ із застосуванням множин шляхів та розрізів, що потребує використання ефективних методів формування множини шляхів та поділяючих їх розрізів для визначення верхньої та нижньої меж СНСЖ ТКМ.

Застосування розроблених методів пошуку множини шляхів дозволяє визначити верхню межу СНСЖ ТКМ, тобто максимально досяжну оцінку. Мінімальний рівень СНСЖ ТКМ визначається нижньою межею, яку розраховують із застосуванням множини розрізів, поділяючих застосовувану множину шляхів. Отримання нижньої межі СНСЖ ТКМ є вельми важливою задачею, тому що саме нижня межа являє гарантований рівень СНСЖ ТКМ. Однак слід відзначити ще недостатню наукову розробку питання визначення гарантованого рівня СНСЖ ТКМ. Тому розробка та удосконалення методів визначення множини розрізів, поділяючих застосовувану множину шляхів в ТКМ, є актуальними задачами.

Нами запропоновано удосконалення методів визначення нижньої межі СНСЖ ТКМ, а саме — формування множини розрізів, що поділяють множину шляхів між пунктами s та t , здійснювати на підставі двійкового кодування розрізів.

Кодування розрізів здійснюється зображенням їх у вигляді n -розрядного двійкового коду (n — кількість пунктів мережі), у якому кожному пункту відповідає свій розряд у послідовності 1, 2, 3, ..., n . При цьому будемо вважати, що джерелу (пункту s) відповідає одиничний символ в коді розрізу (в розряді s), а стоку (пункту t) відповідає нульовий символ в коді розрізу (в розряді t).

Для визначення множини розрізів δ_{st} в ДНФ формується топологічна матриця B .

Топологічна матриця B — це квадратна матриця розміру n , у якій у кожному i -му рядку записані ідентифікатори усіх гілок, що виходять із i -го пункту, а у кожному j -му стовпці записані ідентифікатори усіх гілок, що входять до j -го пункту. Відмітимо, що кожному i -му пункту відповідає i -й рядок та i -й стовпець. Визначимо правило побудови матриці B :

елемент матриці $b_{ij} = 1$, якщо між пунктами i та j немає прямого зв'язку, тобто гілка (i, j) відсутня в мережі; крім того, $b_{ii} = 1$, ($i = \overline{1, n}$, n — число пунктів мережі (вершин графа));

$b_{ij} = x$, якщо гілка (i, j) існує в мережі. Тут x — ідентифікатор, який призначається гілці b_{ij} , що зв'язує пункти i та j . Для графа мережі, поданого на рис. 2, матриця B представлена в табл. 5.

Таблиця 5

Топологічна матриця

$$B = \begin{bmatrix} 1 & a & 1 & h & e \\ a & 1 & b & 1 & g \\ 1 & b & 1 & c & f \\ 1 & 1 & c & 1 & d \\ e & 1 & f & d & 1 \end{bmatrix}$$

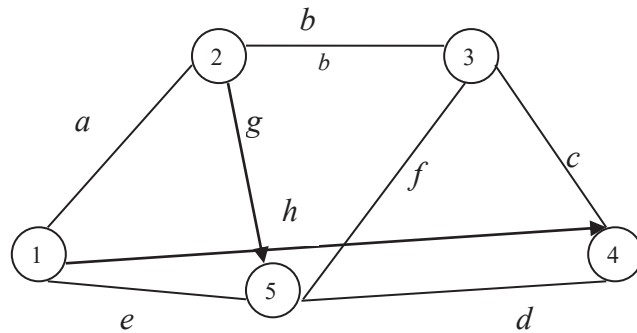


Рис. 2. Граф мережі

Перелік гілок (ділянок), що входять у будь-який розріз δ_{st}^y ($y=1, \dots, Y$, Y — кількість розрізів, що розділяють множину шляхів M_{st}), одержується з топологічної матриці B та коду цього розрізу таким чином. Для кожного двійкового коду, що містить «1» в розряді s та «0» в розряді t :

- фіксуються усі номери розрядів, що містять «1» у коді розрізу (назвемо їх «номер I », зрозуміло, що номер $s \in S$);
- фіксуються усі інші розряди, що містять «0» у коді розрізу; назвемо їх «номер J », зрозуміло, що номер $t \in T$);
- визначення ділянок, що складають розріз δ_{st}^y — виконання операції кон'юнкції елементів матриці B , що знаходяться у рядках «номер I » та в стовпцях «номер J ».

При формуванні кон'юнкції елементів, що складають розріз δ_{st}^y , звичайно слід урахувувати закони повторення та поглинання.

Виходячи з прийнятого правила побудови топологічної матриці B , слід приймати до уваги наступне: якщо у результаті викона-

них дій (кон'юнкції відповідних елементів) буде отримана «1», це свідчить про те, що в даній мережі не існує розрізу, який відповідає отриманому у результаті розрахунку двійковому коду (відзначимо, що значення «1» може бути отримано лише для незв'язної мережі).

Послідовно отримуючи двійкові коди, що містять «1» у розряді s та «0» у розряді t , формуючи кон'юнкції відповідних елементів матриці B , отримуємо множину розрізів δ_{st} . Ця множина і є основою для визначення гарантованого рівня структурної надійності (чи структурної живучості) зв'язку $(s-t)$ — $P_{ГРЧЖst}$, який уявляється ймовірністю безвідмовної роботи усіх розрізів множини δ_{st} за умови їх послідовного включення, при тому, що ділянки кожного розрізу підключені паралельно (2):

$$P_{ГРЧЖst} = \prod_{\delta_{st}^y \in \delta_{st}} (1 - \prod_{a_i \in \delta_{st}^y} (1 - p_i)), \quad (2)$$

де a_i — ділянка розрізу δ_{st}^y ($y=1, \dots, Y$, Y — число розрізів, що розділяють множину M_{st}); p_i — ймовірність безвідмовної роботи ділянки a_i , якщо визначається гарантований рівень структурної надійності (чи ймовірність неураження ділянки a_i , якщо визначається гарантований рівень структурної живучості) зв'язку (s, t) .

Надамо послідовність дій для отримання множини розрізів на прикладі мережі (рис. 2) з матрицею B (табл. 5). Будемо нумерувати вузли мережі зліва направо, тобто вузлу 1 відповідає стовпець 1 матриці B , вузлу 2 — стовпець 2 і т. д. Нехай необхідно визначити множину розрізів δ_{14} . Тоді слід фіксувати лише ті двійкові коди, які містять «1» у розряді 1 та «0» — у розряді 4.

Код розрізу: 10000; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}$. Виконуючи операцію кон'юнкції цих елементів матриці B , отримуємо розріз, що відповідає коду 10000, а саме — ahc .

Наступний код розрізу: 10001; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{52}, b_{53}, b_{54}$. Виконуючи операцію кон'юнкції цих елементів матриці B , отримуємо розріз, що відповідає коду 10001, а саме — $ahfd$. Наступний код розрізу: 10100; цьому коду відповідають такі елементи матриці B : $b_{12}, b_{14}, b_{15}, b_{32}, b_{34}, b_{35}$. Отримуємо розріз, що відповідає коду 10100, а саме — $ahbecf$. Цей розріз не включається у множину δ_{14} на основі закону поглинання.

Послідовно формуючи двійкові коди, які містять «1» у розряді 1 та «0» — у розряді 4, виконуючи операцію кон'юнкції відповідних елементів матриці B (з урахуванням законів алгебри логіки), отримаємо множину розрізів δ_{14} у ДНФ (3):

$$\delta_{14} = aeh + cdh + adfh + behg + bdfh + cefhg. \quad (3)$$

Як вже було відмічено, верхня межа структурної надійності (структурної живучості) зв'язку $(s-t)$ — $P_{ГРЧЖst}$ визначається на підставі урахування множини шляхів M_{st} .

На основі отриманих значень $P_{ГРЧЖst}$ і $P_{ГРЧЖst}$ (2) розраховується показник структурної надійності (живучості) зв'язку $(s-t)$ — $P_{ПЧЖst}$ як середньозважена величина (4):

$$P_{ПЧЖst} = P_{ВМЧЖst} w_{ВМЧЖ} + P_{ГРЧЖst} w_{ГРЧЖ}, \quad (4)$$

де $w_{ВМЧЖ}$ та $w_{ГРЧЖ}$ — вагові коефіцієнти, що визначають важливість, значимість показників та $P_{ГРЧЖst}$ для знаходження структурної надійності (живучості) зв'язку $(s-t)$ $P_{ПЧЖst}$. Ці коефіцієнти доцільно встановлювати на основі експертних оцінок за умови (5):

$$w_{ВМЧЖ} + w_{ГРЧЖ} = 1. \quad (5)$$

Позначимо, що для всіх зв'язків $(s-t)$ ($s, t = \overline{1, n}$, n — число пунктів мережі) значення $w_{ВМЧЖ}$ та $w_{ГРЧЖ}$ однакові, оскільки вони встановлюють значимість меж структурної надійності (живучості), а не значущість зв'язків $(s-t)$.

Розрахунки за виразами (2)-(4) виконуються для всіх пар пунктів мережі, що тяжіють. В результаті для кожної пари пунктів знаходиться результуюча оцінка $P_{ПЧЖst}$.

Для отримання показника структурної надійності чи структурної живучості мережі в цілому — $P_{ПЧЖ}$ — формується середньозважена оцінка за виразом (6):

$$P_{ПЧЖ} = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n P_{ПЧЖst} W_{st} / \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n W_{st}. \quad (6)$$

Тут W_{st} — вагові коефіцієнти, що визначають важливість зв'язків $(s-t)$, які задаються в будь-якій бальній системі оцінок (наприклад, 10- або 100-бальній).

Визначення максимального двохполюсного потоку на основі застосування множини розрізів у в диз'юнктивній нормальній формі. На під-

ставі використання двійкового кодування розрізів мережі для визначення нижньої межі СНСЖ ТКМ формується множина розрізів у ДНФ. У прикладі, що виконаний для мережі (рис. 2) з топологічною матрицею B множина розрізів δ_{14} подана виразом (3). Величина (пропускна здатність) кожного з отриманих розрізів розраховується підсумовуванням відповідних елементів матриці C пропускних здатностей ліній мережі. Тобто величина розрізу $ae h$ знаходиться як сума елементів матриці C , що розташовані в тих рядках і стовпцях, що і елементи a, e, h матриці B (табл. 5).

Якщо матриці C пропускних здатностей для графа мережі (рис. 2) має вид (табл. 6), то визначення величина максимального потоку ϑ_{14} виходячи з виразу (3) здійснюється таким чином:

Таблиця 6

Матриця пропускних здатностей

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 12 & 0 & 10 & 9 \\ 12 & \infty & 8 & 0 & 14 \\ 0 & 8 & \infty & 11 & 6 \\ 0 & 0 & 11 & \infty & 20 \\ 9 & 0 & 6 & 20 & \infty \end{bmatrix}$$

Величина розрізу $ae h$: $C(aeh) = 12 + 9 + 10 = 31$; і далі: $C(cdh) = 11 + 20 + 10 = 41$; $C(adfh) = 12 + 20 + 6 + 10 = 56$; $C(behg) = 8 + 9 + 10 + 14 = 41$; $C(bdfh) = 8 + 20 + 6 + 10 = 44$; $C(cefhg) = 11 + 9 + 6 + 10 + 14 = 50$.

Обираючи мінімальне з отриманих значень (за теоремою Форда — Фалкерсона) знаходимо, що максимальний потік $\vartheta_{14} = 31$ од. та його величина встановлюється розрізом $ae h$.

Висновки. Підсумовуючи викладене, варто відзначити такі результати.

В роботі показано, що завдання розрахування пропускної здатності, а також надійності та живучості набувають все більшої актуальності як в сфері проектування, так і при експлуатації ТКМ зважаючи на інтенсивний розвиток телекомунікацій в останнє десятиріччя.

Надано методи вирішення мережних задач, що базуються на застосуванні двійкового кодування розрізів мережі, а саме: визначення максимального двохполюсного потоку одночасно для всіх пар пунктів мережі; встановлення коду мінімального розрізу, що дозволяє розрізнити, які саме гілки впливають на величину пропускної здат-

ності мережі між заданими пунктами. Це надає можливість, при зовнішньому небезпечному впливі на мережу, у результаті якого деяка гілка мережі вийде з ладу, отримати необхідну інформацію відносно того, які максимальні потоки змінюють свої показники; визначення нижньої межі структурної надійності та структурної живучості ТКМ; визначення максимального двополюсного потоку на основі застосування множини розрізів у ДНФ. Використання двійкового кодування розрізів призводить до чіткої формалізації процесів вирішення вказаних задач та в результаті — до практичної можливості застосування запропонованих методів для сучасних ТКМ.

Подальшим розвитком цього напрямку роботи можуть стати:

- пошук множини розрізів для оцінки нижньої межі СНСЖ окремих зв'язків і мережі в цілому для мереж із невизначеною топологією;
- розробка підходів до отримання вагових коефіцієнтів, які визначають важливість нижньої та верхньої меж СНСЖ ТКМ, а також важливість окремих напрямів зв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендации МСЭ-Т — Серия X: Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность, 04/2008.
2. Додонов А. Г., Ландэ Д. В. Живучесть информационных систем. — К.: Наук. думка, 2011. — 256 с.
3. Форд Л. Р., Фалкерсон Д. Р. Потоки в сетях. — М.: Мир, 1966. — 276 с.
4. Князева Н. О. Теория проектирования компьютерных систем и сетей. Ч. 2: Методы анализа и синтеза компьютерных систем и сетей. — Одеса: СПД, 2012. — 240 с.
5. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях/Нечепуренко М. И., Попков В. К., Майнагашев С. М. и др. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. — 515 с.
6. Князева Н. О. Управление интеллектуальными сервисами в сетях наступного поколения / Н. А. Князева, С. В. Шестопапов. — Одеса: Бондаренко М. О., 2017. — 268 с.

ІТЕРАТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕРХНЬОЇ ГРАНИЦІ ЗВ'ЯЗНОСТІ ДВОПОЛЮСНОЇ МЕРЕЖІ МІНЛИВОЇ СТРУКТУРИ ТИПУ $G(N, L)$

Нсенов О. Л.

Досліджується двополюсна мережа, що описується випадковим графом Ердеша — Рен'ї типу $G(n, L)$, за показником загальної кількості шляхів між парою вершин, який характеризує верхню границю зв'язності відповідного графу. Представлений оптимізований метод аналітичного розрахунку обраного показника, який замінює рекурсивну процедуру обчислення ітеративною.

The paper investigates a two-pole network described by a random Erdős–Rényi graph of $G(n, L)$ type, in terms of the total number of routes between a pair of vertices, which characterizes the upper bound of the connection of the corresponding graph. An optimized method of analytical calculation of the selected indicator is presented, which replaces the recursive calculation procedure with an iterative one.

Безперервний і якісний доступ користувача до ресурсів та послуг, які надають сучасні інфокомунікації, вже давно став нормою сьогодення. Такий доступ можливий лише за умови надійного зв'язку, який забезпечують усі елементи телекомунікаційних мереж. Сучасні глобальні телекомунікаційні мережі складаються з безлічі спеціалізованих пристроїв (маршрутизаторів, серверів, обладнання систем доступу користувача тощо) і каналів зв'язку, що фізично їх з'єднують. Таким чином, при проектуванні й використанні телекомунікаційних мереж важливу роль відіграють проблеми і задачі аналізу показників мережевої надійності та зв'язності.

Кількісна складність і розгалуженість великих телекомунікаційних мереж є причиною нестабільності (мінливості) їх структури: час від часу трапляються відмови або збої окремих каналів зв'язку. Тому велике значення має наявність альтернативних маршрутів доставляння інформації. Середня кількість альтернативних маршрутів між довільною парою кореспондуючих вузлів мережі є одним з показників зв'язності двополюсної мережі.

Моделлю мережі з нестабільною структурою в цьому дослідженні є випадковий граф з певним законом його формування. Одним з класичних випадкових графів є граф Ердеша — Рен'ї типу $G(n, L)$, представлений і досліджений авторами ще в 1959 році [1]. У $G(n, L)$ -графі n відповідає кількості вершин, а L — кількості ребер між довільною парою вершин.

В роботі [2] запропонований підхід до аналізу зв'язності двополюсної мережі з мінливою або невизначеною структурою, де ключовим показником структурної надійності виступає верхня границя ймовірності зв'язності довільної пари вузлів i та j :

$$P_{ij}^{\uparrow} = 1 - \prod_{R=1}^{R_{\max}} (1 - p_r^R)^{[M_{R,L}]_{ij}}, \quad (1)$$

де R — ранг шляху, тобто кількість гілок, з яких складається шлях, R_{\max} — максимальний ранг шляхів, які розглядаються; $[M_{R,L}]_{ij}$ — математичне очікування кількості шляхів рангу R , які з'єднують вузли i та j (моделюються вершинами відповідного графу); p_r — ймовірність безвідмовної роботи будь-якої гілки (моделюється ребром графу).

Кількість $[M_{R,L}]_{ij}$ шляхів між однією парою вершин є різною в різних екземплярах графу, що належать до множини графів $G(n, L)$ із заданими характеристиками n та L . Внаслідок саме цього кількість шляхів в узагальненому графі $G(n, L)$ визначається як математичне очікування.

Величина $[M_{R,L}]_{ij}$ обчислюється на основі загальної кількості шляхів $[M_{R,L}]$ в графі з L ребрами:

$$[M_{R,L}]_{ij} = \frac{2 \cdot [M_{R,L}]}{n(n-1)}.$$

Метод, запропонований в [2] і використаний в [4], виконує обчислення величини $[M_{R,L}]$ рекурсивним способом:

$$[M_{R,L}] = [M_{R,L+1}] \left(1 - \frac{R}{L+1} \right). \quad (2)$$

Останнім в рекурсивній процедурі виконується розрахунок значення

$$[M_{R,L_{n/3}-1}] = [M_{R,L_{n/3}}] \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}} \right),$$

оскільки $[M_{R,L_{n/3}}]$ розраховується за відомою формулою:

$$[M_{R,L_{n/3}}] = \frac{n!}{2(n-R-1)!}.$$

Необхідність здійснення рекурсивних обчислень за формулою (2) робить практичне використання методу не досить зручним.

Розпишемо формулу (2), починаючи з повнозв'язного графу, який містить максимально можливу кількість ребер $L_{n/3}$:

$$[M_{R,L_{n/3}-1}] = [M_{R,L_{n/3}}] \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}} \right).$$

$$[M_{R,L_{n/3}-2}] = [M_{R,L_{n/3}-1}] \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}-1} \right) = [M_{R,L_{n/3}}] \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}} \right) \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}-1} \right).$$

Узагальнюючи, отримаємо альтернативну, ітеративну формулу обчислення числа шляхів рангу R у графі з довільним числом гілок L :

$$[M_{R,L}] = [M_{R,L_{n/3}-l}] = [M_{R,L_{n/3}}] \prod_{k=0}^{l-1} \left(1 - \frac{R}{L_{n/3}-k} \right), \quad (3)$$

де $l = L_{n/3} - L$.

Виражаючи формулу (3) через базові параметри $G(n, L)$ -графу, отримаємо:

$$[M_{R,L}] = \frac{n!}{2(n-R-1)!} \cdot \prod_{k=0}^{\frac{n(n-1)}{2}-L-1} \left(1 - \frac{2R}{n(n-1)-2k} \right). \quad (4)$$

Формула (4), як видно, замінює рекурсивне обчислення за формулою (2) ітеративним і, таким чином, оптимізує досліджуваний метод. Завдяки цьому спрощується використання методу в інженерній практиці і, зокрема, його комп'ютерна реалізація.

Запропонований метод був реалізований у комп'ютерному застосунку аналізу зв'язності двополюсних мереж мінливої структури типу $G(n, L)$ на базі табличного процесора Microsoft Excel [3]. Розроблений застосунок дозволяє отримати результати за обраним показником зв'язності двома способами: з використанням запропонованого ітеративно-аналітичного методу (4), а також за допомогою імітаційного моделювання методом Монте-Карло. Це дало змогу порівняти отримані результати між собою в певних межах параметрів кількості L гілок (зв'язності) і рангів R шляхів (від 1 до 4), що є найбільш застосовними для реальних випадків, а також для розмірностей n , які обмежені обчислювальними можливостями персонального комп'ютера.

Імітаційне моделювання було проведено за такими вхідними параметрами:

- n — кількість вузлів (розмірність) мережі;
- L_{\min} — кількість гілок в мережі в першому імітаційному експерименті (мінімальна зв'язна насиченість);
- L_{step} — кількість гілок, на яку збільшується зв'язна насиченість мережі в кожному наступному імітаційному експерименті;
- R_{\max} — максимальний ранг шляхів, що моделюються;
- T — кількість випробувань (випадкових генерацій мережі) для одного експерименту.

Моделювалися мережі (графи), на які не накладалося умови обов'язкової зв'язності. В якості показника, від якого залежить кількість T випробувань (генерувань випадкової мережі), для кожного набору вхідних параметрів було обрано величину $\left| \Delta \left[M_{1..R,L} \right] \right|$, % — модуль стандартного відхилення значення $\left[M_{1..R,L} \right] = \sum_{r=1}^R \left[M_{r,L} \right]$ у поточному випробуванні від відповідного значення, отриманого у попередньому випробуванні. Як показав аналіз серії випробувань за значенням цього показника, зі зростанням розмірності мережі достатня кількість випробувань зменшується. За результатами аналізу була обрана кількість випробувань $T=20$.

Результати імітаційного та ітеративно-аналітичного досліджень $G(n, L)$ -мереж розмірностей 50, 100 та 150 вузлів зведені в табл. 1, 2 і 3. Стовець δ містить відхилення значень загальної кількості шляхів рангу від 1 до 4, отриманих ітеративно-аналітичним методом, від відповідних значень, отриманих в імітаційних експериментах, у відсотках:

$$\delta = \frac{\left[M_{1..R,L} \right]_{ij} - \left[M_{1..R,L} \right]_{im}}{\left[M_{1..R,L} \right]_{ij}} \cdot 100\%.$$

Як видно з табл. 1–3, ці відхилення за модулем не перевищують 5 %. Це свідчить про застосовність запропонованого методу щонайменше у даному діапазоні значень вхідних параметрів.

Середнє стандартне відхилення значень $M_{1..R,L}$ при імітаційному моделюванні мереж розмірності 50, 100 та 150 вузлів склало відповідно, 4 %, 3,1 % та 2,8 %.

З даних таблиць 1–3 можна спостерігати, що відхилення δ за модулем має тенденцію до зменшення при зростанні кількості гілок L . Щоб перевірити цей тренд, на невеликих мережах було виконано порівняння методів майже у всьому діапазоні значень L . В табл. 4 по-

казані результати моделювання мереж розмірністю 20 вузлів, де максимальна кількість гілок становить 190.

Табл. 1

Середня кількість шляхів, що припадають на одну пару вузлів $\left[M_{R,L} \right]_{ij}$ та $\left[M_{1..R,L} \right]_{ij}$, за результатами ітеративно-аналітичного (і-а) та імітаційного (ім) досліджень $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=50$ вузлів

L	R = 1		R = 2		R = 3		R = 4		R = 1..4		
	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	δ
50	0,04	0,04	0,08	0,08	0,14	0,14	0,26	0,25	0,52	0,51	2,3 %
100	0,08	0,08	0,32	0,32	1,19	1,19	4,36	4,30	5,95	5,89	1,1 %
150	0,12	0,12	0,72	0,72	4,07	4,06	22,52	22,49	27,43	27,39	0,1 %
200	0,16	0,16	1,27	1,28	9,69	9,79	71,89	72,92	83,03	84,16	-1,3 %

Табл. 2

Середня кількість шляхів $\left[M_{R,L} \right]_{ij}$ та $\left[M_{1..R,L} \right]_{ij}$ за результатами ітеративно-аналітичного (і-а) та імітаційного (ім) досліджень $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=100$ вузлів

L	R = 1		R = 2		R = 3		R = 4		R = 1..4		
	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	δ , %
100	0,02	0,02	0,04	0,04	0,08	0,08	0,14	0,15	0,28	0,28	-1,8
150	0,03	0,03	0,09	0,09	0,26	0,26	0,74	0,75	1,12	1,13	-1,2
200	0,04	0,04	0,16	0,16	0,62	0,62	2,36	2,36	3,18	3,18	-0,1
250	0,05	0,05	0,25	0,25	1,21	1,21	5,80	5,82	7,31	7,34	-0,3

Табл. 3

Середня кількість шляхів $\left[M_{R,L} \right]_{ij}$ та $\left[M_{1..R,L} \right]_{ij}$ за результатами ітеративно-аналітичного (і-а) та імітаційного (ім) досліджень $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=150$ вузлів

L	R = 1		R = 2		R = 3		R = 4		R = 1..4		
	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	δ , %
200	0,02	0,02	0,05	0,05	0,12	0,12	0,32	0,31	0,50	0,49	2,2
250	0,02	0,02	0,07	0,07	0,24	0,24	0,78	0,78	1,11	1,12	-0,7
300	0,03	0,03	0,11	0,11	0,42	0,42	1,62	1,62	2,17	2,17	-0,1
350	0,03	0,03	0,14	0,15	0,66	0,67	3,01	3,03	3,84	3,87	-0,7

Як видно з табл. 4, відхилення за модулем стабільно зменшується при зростанні L .

Табл. 4

Середня кількість шляхів $\lg[M_{R,L}]_{ij}$ та $[M_{1..R,L}]_{ij}$ за результатами ітеративно-аналітичного (і-а) та імітаційного (і) досліджень $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=20$ вузлів

L	R = 1		R = 2		R = 3		R = 4		R = 1..4		
	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	i-a	im	δ , %
30	0,16	0,16	0,44	0,44	1,1	1,1	2,6	2,6	4,2	4,4	-2,7 %
80	0,42	0,42	3,17	3,17	22,3	22,5	147,2	148,0	173,1	174,1	-0,5 %
130	0,68	0,68	8,41	8,41	97,3	97,2	1057,2	1056,6	1163,6	1162,9	0,1 %
180	0,95	0,95	16,15	16,15	260,0	259,9	3936,8	3935,8	4213,9	4212,8	0,03 %

Аналіз відхилень за кількостями шляхів певних рангів показує тенденцію до зростання відхилення зі зростанням рангу шляхів (див. табл. 5).

Табл. 5

Середня кількість шляхів $[M_{R,L}]_{ij}$ за результатами ітеративно-аналітичного (і-а) та імітаційного (і) досліджень $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=15$ вузлів

L	R = 2			R = 3			R = 4			R = 5		
	i-a	im	δ , %	i-a	im	δ , %	i-a	im	δ , %	i-a	im	δ , %
25	0,71	0,70	2,3	1,9	1,8	4,2	4,5	4,3	6,1	9,4	8,8	7,5
50	2,91	2,92	-0,2	16,3	16,4	-0,3	82,7	83,1	-0,5	376,5	379,2	-0,7
75	6,61	6,61	-0,1	56,2	56,2	-0,1	436,3	436,7	-0,1	3067,2	3069,2	-0,1
100	11,79	11,78	0,004	134,6	134,6	0,01	1407,6	1407,5	0,01	13379,5	13378,8	0,01

Отримані результати показують застосовність запропонованого ітеративно-аналітичного методу розрахунку верхньої границі зв'язності двополюсних $G(n, L)$ -мереж за кількістю шляхів у всьому діапазоні значень L , але лише для невеликих рангів R (до 4). Розбіжність результатів >5 % для більших рангів може свідчити як про недосконалість запропонованого ітеративно-аналітичного методу розрахунку, так і про недосконалість використаної методики імітаційного моделювання.

В таблиці 6 наведені результати розрахунків для мережі з $n = 150$ в експоненційній формі для усього діапазону значень L та R .

На рис. 1 показані тривимірні графіки, побудовані за даними табл. 6, у звичайній і логарифмічній осях кількості шляхів.

Очевидною перевагою запропонованого ітеративно-аналітичного методу перед імітаційним моделюванням є те, що за його допомогою

Табл. 6

Середня кількість шляхів $[M_{R,L}]_{ij}$ в $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=150$ вузлів, розрахованих ітеративно-аналітичним методом

$L \setminus R$	1	22	43	64	86	107	128	149
150	1,34E-02	1,11E+03	9,49E+04	2,09E+03	5,71E-04	1,97E-16	3,52E-38	2,55E-82
1725	1,54E-01	1,06E+27	1,83E+53	3,88E+77	3,40E+100	1,57E+119	1,12E+133	1,18E+135
3300	2,95E-01	1,79E+33	3,06E+65	7,35E+95	1,62E+125	1,11E+150	1,34E+170	2,72E+178
4875	4,36E-01	9,80E+36	6,47E+72	6,29E+106	8,75E+139	2,65E+168	1,48E+192	1,46E+204
6450	5,77E-01	4,69E+39	1,15E+78	4,21E+114	3,01E+150	3,61E+181	8,19E+207	3,35E+222
8025	7,18E-01	5,77E+41	1,42E+82	5,29E+120	4,87E+158	6,11E+191	1,47E+220	6,47E+236
9600	8,59E-01	2,99E+43	3,20E+85	5,28E+125	2,59E+165	1,46E+200	1,59E+230	3,21E+248
11175	1,00E+00	8,49E+44	2,23E+88	9,07E+129	1,29E+171	1,82E+207	5,00E+238	2,56E+258

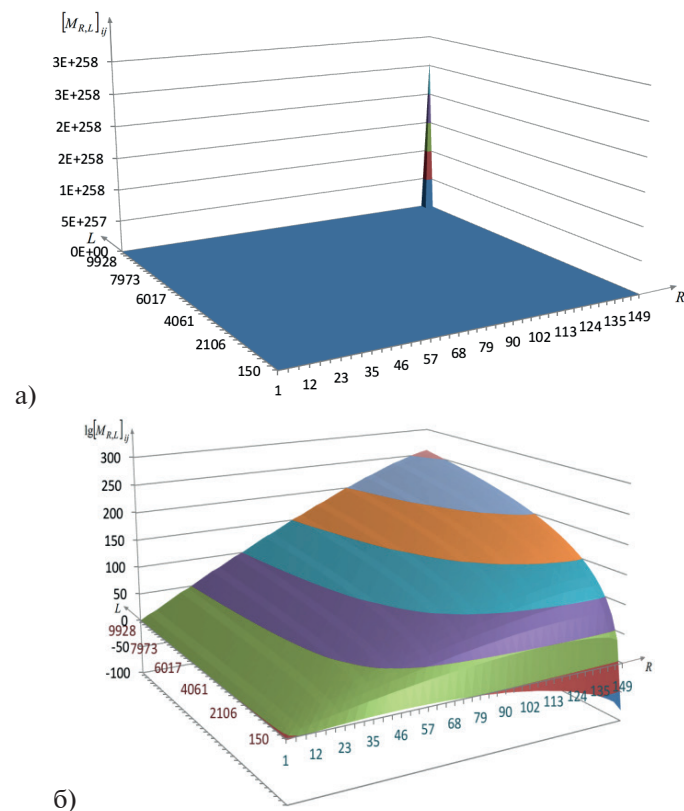


Рис. 1. Середня кількість шляхів $[M_{R,L}]_{ij}$ в $G(n, L)$ -мережі розмірністю $n=150$ вузлів, в залежності від кількості гілок (L) в мережі і рангу шляхів (R) у звичайній (а) і логарифмічній (б) шкалах

можна обчислювати показник зв'язності мереж довільної розмірності n і ступеня зв'язності L . Значення n і L обмежуються лише діапазонами значень, які можуть приймати змінні у використовуваних обчислювальних пакетах програмного забезпечення. У табличному процесорі Microsoft Excel це числа подвійної точності (за IEEE 754), що мають діапазон $\pm 10^{308}$. Щоправда, на практиці майже не зустрічаються випадки використання шляхів максимально можливих рангів і максимально можливих насиченостей мережі гілками, тим більше у саме такій комбінації, на відміну від мереж великої розмірності, де кількість вузлів може вимірюватися мільйонами.

Висновки: Нами представлений оптимізований метод аналітичного розрахунку верхньої границі зв'язності двополюсних випадкових мереж типу $G(n, L)$ за показником кількості шляхів певного рангу або обмежених певним рангом. Сутність оптимізації полягає в заміні рекурсивної процедури розрахунку ітеративною. Реалізація методу в розробленому комп'ютерному застосуванні дозволяє застосовувати метод на практиці. Порівняння результатів методу з відповідними даними комп'ютерного імітаційного моделювання дозволяє зробити висновок про його застосовність для аналізу зв'язків, що утворюються відносно короткими шляхами, в усьому діапазоні насиченості мережі гілками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Erdős P., Rényi A. On Random Graphs I. *Publicationes Mathematicae*. 1959. Vol. 6. P. 290–297.
2. Князева Н. А., Ненов А. Л. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры. *Вісник ДУІКТ*. 2011. Т. 9, № 4. С. 318–325.
3. Князева Н. О., Ненов О. Л., Колумба І. В. Оцінка структурної надійності телекомунікаційних мереж невизначеної топології на основі імітаційного моделювання. *Вісник університету "Україна". Серія: Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика*. 2019. № 2 (23). С. 192–208.
4. Kniazieva N., Nenov A., Kolumba I. Method for assessing the structural reliability of networks with undetermined topology. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska — IAPGOŚ*. 2020. Vol. 1. P. 32–35.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛАЗЕРНИМИ DFB-МОДУЛЯМИ: СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ, КОНЦЕПЦІЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ САК

Похлєбіна Н. О., Мазур О. В.

Розглянуто особливості технологічного процесу формування інфра-червоного випромінювання напівпровідниковими DFB лазерними діодами — (англ. *Distributed feedback laser* «з розподіленим зворотним зв'язком»), системи автоматичного керування лазерним DFB-модулями, які використовуються в якості джерел оптичного сигналу для передачі даних та оптичних

вимірювань. Виявлено основні недоліки та розглянуті можливі шляхи для удосконалення структури і функцій систем автоматичного керування процесом. Представлені структурна та параметрична схеми процесу формування випромінювання лазерним DFB-модулем як об'єкта керування, концептуальна структура САК підвищеної динамічної точності.

The paper discusses the features of the technological process of the formation of infrared radiation by semiconductor DFB laser diodes — (English Distributed feedback laser “with distributed feedback”), automatic control systems for laser DFB modules that are used as sources of an optical signal for data transmission and optical measurements. The main disadvantages are identified and possible ways to improve the structure and functions of automatic process control systems are considered.

The presented structural and parametric diagrams of the process of radiation formation by the laser DFB-module as a control object, the conceptual structure of the ACS with increased dynamic accuracy.

Різні типи лазерів, створені до теперішнього часу, мають широкий спектр фізичних і робочих характеристик. Якщо лазери класифікують за фізичним станом активного середовища, то їх називають твердотільними, рідинними або газовими лазерами. За п'ятдесят років, що минули з моменту винаходу й початку виробництва першого твердотільного напівпровідникового лазера, техніка пройшла довгий шлях розвитку зазнала безліч змін та поліпшень. Широта діапазону фізичних або робочих характеристик напівпровідникових лазерів забезпечує величезний потенціал можливого використання в різних областях науки та техніки. Їх використання сприяло появі і розвитку величезної кількості новітніх технологій, зокрема в сферах телекомунікацій, вимірювань, фундаментальних та прикладних наукових досліджень. Так, методи лазерної діодної спектроскопії знаходять широке використання в дослідженнях структури і складу речовин [5]. Застосування напівпровідникових діодних лазерних випромінювачів забезпечило бурхливий розвиток волоконно-оптичних систем вимірювання параметрів газових середовищ — складу, концентрації, температури, тиску тощо [7]. Але найбільший прогрес завдяки використанню напівпровідникових лазерних діодів було досягнуто в галузі телекомунікаційних технологій. Для забезпечення потреб багатоканального оптичного зв'язку використовуються високотехнологічні лазерні модулі в стандартному чотирнадцятиконтактному корпусі типу «Butterfly» з вбудованим термоелектричним перетворювачем та терморезистором для системи температурної стабілізації довжини хвилі випромінювання та контрольним фотодіодом для системи ке-

рування потужністю випромінювання. В якості джерел випромінювання в таких модулях зазвичай використовуються DBR або DF лазерні діоди.

Розглянемо напівпровідникові лазерні діоди як об'єкти керування, зокрема одночастотні лазерні діоди, що представляють собою модифікацію плоского резонатора Фабрі — Перо, до якого додана періодична просторова модуляційна структура, налаштована на відповідну довжину хвилі. В DFB-лазері (англ. Distributed feedback laser «лазер з розподіленням зворотним зв'язком»), вона поєднана з активною областю, а в DBR-лазері (англ. Distributed Bragg Reflector Laser «лазер з розподіленням брегівськими відбивачем») вона винесена за межі активної області.

Напівпровідникові DFB-лазери з розподіленням зворотним зв'язком на відміну від лазерів з інтерферометром Фабрі—Перо працюють в одночастотному режимі генерації. Їх зручно використовувати в якості джерела зі змінною частотою випромінювання, оскільки вони мають помітну температурну залежність частоти (довжини хвилі) генерації. Коефіцієнт температурної залежності довжини хвилі випромінювання типового DFB-лазера становить $0.1 \text{ нм} / ^\circ\text{C}$. Виходячи з того, що діапазон робочих температур деяких лазерів досягає $100\text{—}120^\circ\text{C}$, можлива зміна довжини хвилі може досягати 10 нм .

Лазерні DFB-модулі зазвичай використовуються для формування оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), при цьому ширина смуги випромінювання такого лазера може складати менше 1 нм . Вимоги до стабільності довжини хвилі випромінювання такого лазера можуть бути менше ніж $\pm 1 \text{ нм}$. При використанні для аналітичних задач до таких лазерів, окрім жорстких вимог до стабільності довжини хвилі випромінювання, додаються досить жорсткі вимоги з формування випромінювання заданої потужності. Тобто проблема створення систем керування лазерним модулем з підвищеною динамічною точністю досить актуальна.

Метою функціонування лазерного модуля є генерація когерентного електромагнітного випромінювання з заданими спектральними характеристиками: центральною довжиною хвилі спектра випромінювання, шириною цього спектра та його потужністю.

В DFB-лазері генерація випромінювання супроводжується небажаними процесами. Значна частина енергії, яка підводиться до лазерного діода, перетворюється в теплову, що призводить до підвищення

його температури, зміни довжини хвилі випромінювання та зменшення вихідної потужності лазера. Для лазерних діодів потужністю понад 5 мВт пасивного відводу тепла недостатньо і для їх охолодження та підтримки температури на заданому рівні в складі лазерного модуля зазвичай використовуються термоелектричні перетворювачі на елементах Пельтьє (ТЕП). Вони відводять або підводять тепловий потік до лазерного діода в залежності від напрямку і величини струму, що протікає крізь ТЕП. Лазерний модуль зазвичай розташовується в металокерамічному герметичному корпусі, який забезпечує відвід тепла в навколишнє середовище.

Основними параметрами ТЕП є робочий струм і напруга, а також холодопродуктивність, яка вимірюється при стандартній різниці температур між його холодною та гарячою поверхнями 25°C . В такому режимі холодопродуктивність ТЕП складає, 55–60 % споживаної електричної потужності.

Лазерний модуль зазвичай розташовується в металокерамічному герметичному корпусі, який забезпечує відвід тепла в навколишнє середовище. Окрім лазерного діода в ньому зазвичай розташовані такі елементи модуля:

- Контрольний фотодіод, який забезпечує вимірювання інтенсивності випромінювання лазерного діода;
- Терморезистор, який дозволяє контролювати температуру лазерного діода;
- Термоелектричний перетворювач на ефекті Пельтьє (ТЕП), який є виконавчим елементом схеми термостабілізації лазерного діода;
- Теплопровід, який забезпечує відвід теплового потоку від лазерного діода.

Схема технічної структури лазерного модуля представлена на рис. 1.

Потужність випромінювання лазерного діода пропорційна струму, який протікає крізь нього (струму накачки). При струмі накачки нижче порогового лазерний діод працює в режимі світлодіода даючи некогерентне випромінювання з напівшириною спектру 20–25 нм, при струмі вище порогового діод переходить в режим генерації когерентного випромінювання, ширина спектру якого значно вужча і зазвичай становить одиниці нанометрів або навіть десятки долі нанометрів. Потужність випромінювання прямо пропорційна струму крізь лазерний діод (струму накачки лазера). Положення центральної довжини хвилі спектру випромінювання напівпровідникового лазерного діода має сильну залежність від його температури та струму накачки.

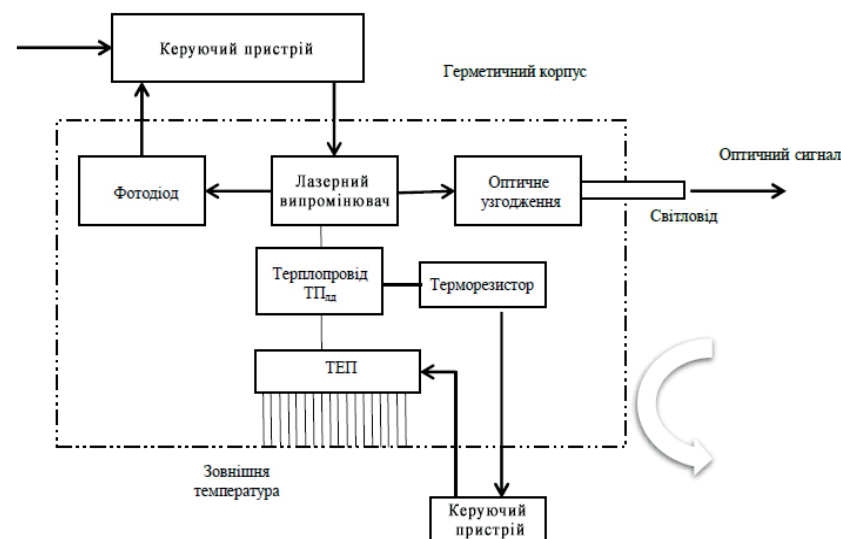


Рис. 1. Схема технічної структури лазерного модуля

Параметризована схема технічної структури лазерного модуля представлена на рис. 2.

На рис. 3 представлені структурна (а) та параметрична (б) схеми процесу формування випромінювання лазерним DFB-модулем як об'єкта керування.

Для керування лазерними випромінювачами при формуванні оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) застосовуються системи керування як потужністю, так і довжиною хвилі випромінювання. При цьому керування довжиною хвилі випромінювання здійснюється скісно без безпосереднього вимірювання довжини хвилі — за опором терморезистора R_{tr} , що вимірює температуру лазерного діода. Структурна схема такої «базової» САР представлена на рис. 4.

Виходячи з того, що в об'єкті керування існують значні взаємні перехресні впливи між контурами керування потужністю та довжиною хвилі випромінювання, а також спостерігається досить суттєвий вплив температури навколишнього середовища [7], підвищення динамічної точності системи керування можливе при її побудові на принципах інваріантності та автономності. Концептуальна структурна схема такої САР представлена на рис. 5.

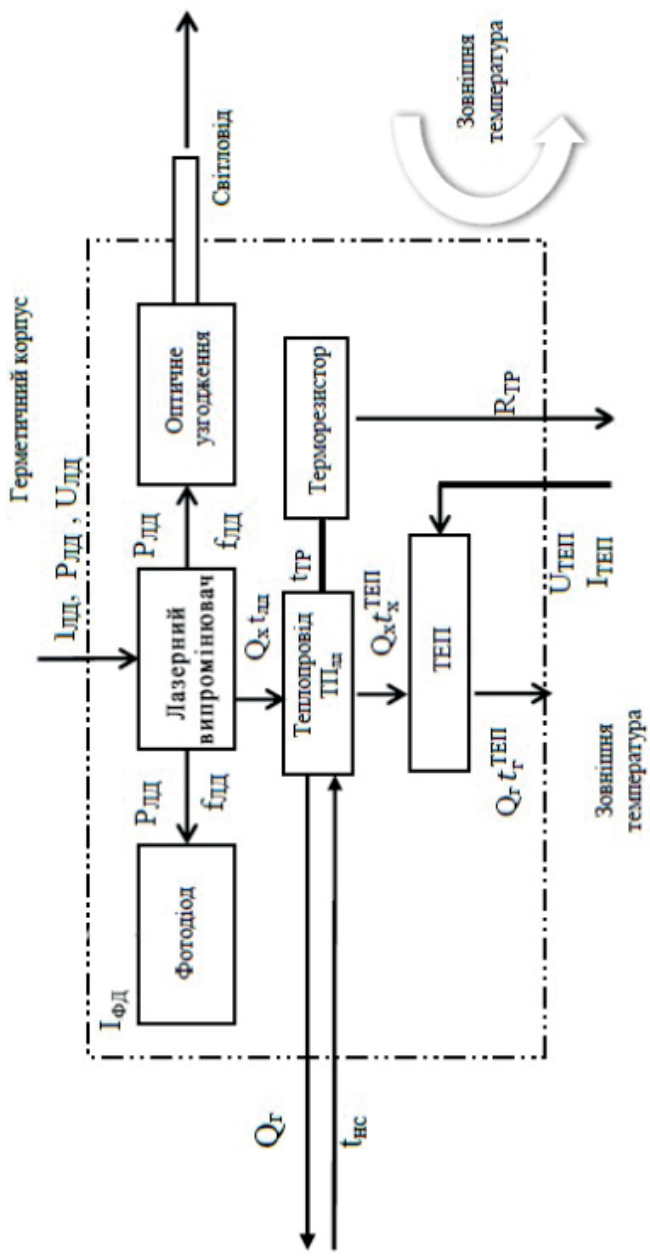


Рис. 2. Параметризована схема технічної структури лазерного модуля, де t_x^{TEP} — температура «холодної» поверхні ТЕР, t_c^{TEP} — температура «гарячої» поверхні ТЕР, $I_{\text{ЛД}}$ — струм лазерного діода, $I_{\text{ФД}}$ — струм термоелектричного перетворювача, $R_{\text{ТР}}$ — опір терморезистора, $t_{\text{ис}}$ — температура навколишнього середовища, $\lambda_{\text{ЛД}}$ — довжина хвилі лазерного випромінювання, $P_{\text{ЛД}}$ — потужність випромінювання лазера, $Q_{\text{Х}}$ — «холодний» тепловий потік ТЕР, $Q_{\text{Г}}$ — «гарячий» тепловий потік ТЕР

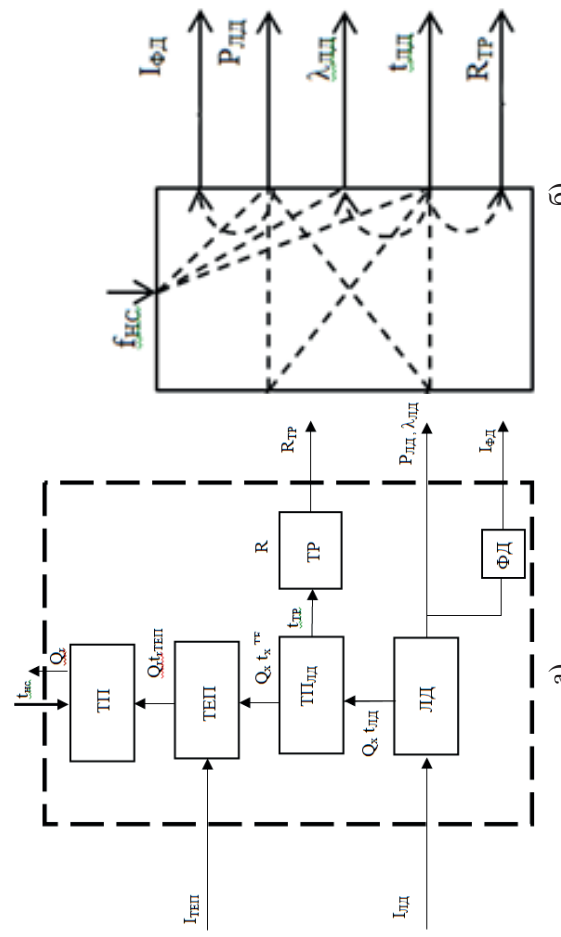


Рис. 3. Структурна (а) та параметрична (б) схеми процесу формування випромінювання лазерним DFB-модулем як об'єкта керування, де ТП — теплопровід, ТЕР — термоелектричний перетворювач, ТП_ЛД — теплопровід лазерного діода, ТР — терморезистор, ЛД — лазерний діод, ФД — фотодіод, t_x^{TEP} — температура «холодної» поверхні ТЕР, t_c^{TEP} — температура «гарячої» поверхні ТЕР, $I_{\text{ЛД}}$ — струм накачки лазерного діода (керуючий вплив зміни потужності випромінювання), $I_{\text{ФД}}$ — струм термоелектричного перетворювача (керуючий вплив зміни довжини випромінювання), $R_{\text{ТР}}$ — опір терморезистора, $t_{\text{ис}}$ — температура навколишнього середовища, $t_{\text{ТР}}$ — температура терморезистора, $\lambda_{\text{ЛД}}$ — довжина хвилі лазерного випромінювання, $P_{\text{ЛД}}$ — потужність випромінювання лазера, $Q_{\text{Х}}$ — «холодний» тепловий потік ТЕР, $Q_{\text{Г}}$ — «гарячий» тепловий потік ТЕР

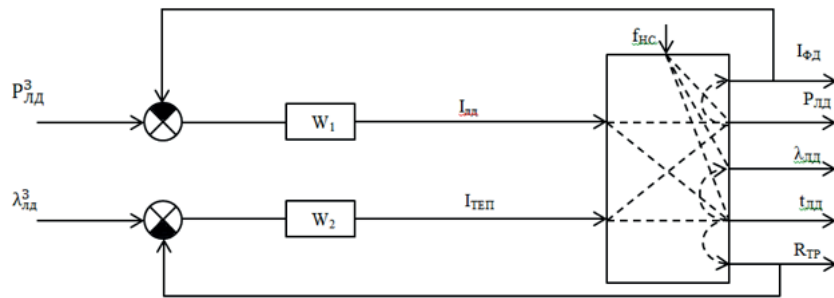


Рис. 4. Базова структура САК процесом формування випромінювання лазерним DFB-модулем, де W_1 — регулятор потужності випромінювання лазерного діода, W_2 — регулятор довжини хвилі лазерного діода, $I_{\text{ЛД}}$ — струм накачки лазерного діода (керуючий вплив зміни потужності випромінювання), $I_{\text{ТЕП}}$ — струм термоелектричного перетворювача (керуючий вплив зміни довжини випромінювання)

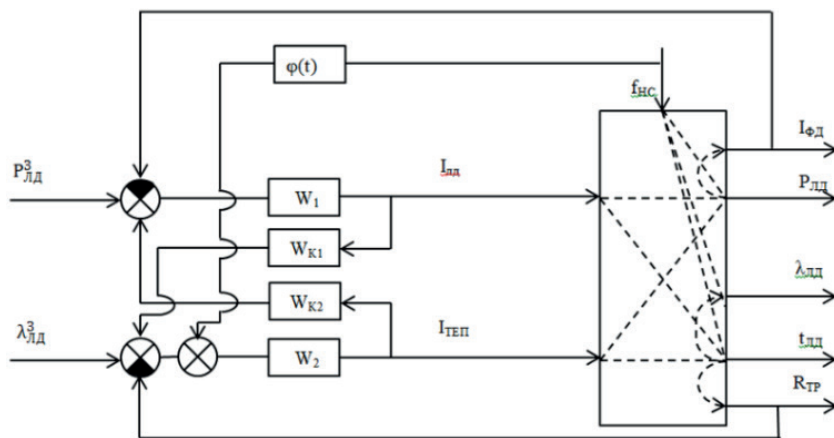


Рис. 5. Структурна схема САК процесом формування випромінювання підвищеної динамічної точності, де W_1 — регулятор потужності випромінювання, W_2 — регулятор довжини хвилі випромінювання, W_{K1} , W_{K2} — корегувальні між регуляторні ланки, $\phi(t)$ — корегувальна ланка компенсації збурень за температурою навколишнього середовища

Інваріантність контуру регулювання довжини хвилі випромінювання від температури навколишнього середовища досягається за рахунок введення корегувального зв'язку $\phi(t)$ в контур стабілізації тем-

ператури ЛД, а автономність за рахунок введення міжрегуляторних корегувальних зв'язків.

Висновки. Подальше поліпшення динамічної точності керування параметрами випромінювання лазерного DFB-модуля можливе за рахунок вдосконалення системи керування шляхом розробки алгоритмів управління, що забезпечують автономність контурів регулювання потужності та довжини хвилі випромінювання, а також інваріантності їх від параметрів навколишнього середовища. Для вирішення цієї задачі необхідно: дослідити процес формування випромінювання, приділивши особливу увагу дослідженню динамічних властивостей об'єкта керування; провести ідентифікацію основних каналів перетворення об'єкта; побудувати імітаційну модель процесу і перевірити її на адекватність; провести синтез системи керування підвищеної динамічної точності та дослідити її з використанням імітаційної моделі процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Звелто О. 3 43 Принципы лазеров / пер. под науч. ред. Т. А. Шамонова. — 4-е изд. — СПб.: Лань, 2008. — 720 с: ил. — (Учебные пособия для вузов. Специальная литература).
2. Митрофанов А. С. Основные принципы работы лазеров: учебное пособие по курсу «Лазерная физика, техника и технология». — СПб: СПбГИТМО(ТУ), 1999. — 74 с.
3. Коэф Й., Фишер М., Легге М., Сейферт Й., Вернер Р. Лазеры с распределенными брэгговскими решетками на квантовых ямах, точках и с квантовыми каскадами. — Фотоника, 2008. — № 4.
4. Жмудь В. А. Системы автоматического управления. Прецизионное управление лазерным излучением: учебное пособие для вузов / В. А. Жмудь ; под общ. ред. С. Н. Багаева. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 437 с.
5. Дураев В. П. Источники оптического излучения // Волоконно-оптическая техника: История, достижения, перспективы: сб. статей / под ред. Дмитриева С. А., Слепова Н. Н. — М.: Connect, 2000.
6. Дураев В. П. Полупроводниковые лазеры с волоконной брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530–1560 нм. // Квантовая электроника. 2001.
7. Сравнение температурных и электрических методов управления длиной волны излучения полупроводниковых лазеров. Ветров А. А., Данилов Д. А., Есипов С. С., Комиссаров С. С., Сергушичев А. Н. — Санкт-Петербург: Оптический журнал, 2009. — № 8.

ВПЛИВ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ДОСТОВІРНІСТЬ ПРОГНОЗУ ДРЕЙФУ СУДНА, ЯК НАПРЯМОК БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ

Пунченко Н. О.

Розглядається структура методу для алгоритму побудови систем прогнозу швидкості дрейфу судна для ведення числення його шляху на базі нейронних мереж. Перехід до наближеної дискретної моделі вимірювань показує, що прогноз швидкості дрейфу є завданням апроксимації функції багатьох змінних. Рішення даного завдання на основі нейронних мереж, які відповідають умовам теореми про універсальну апроксимацію, дозволяє теоретично наблизити швидкість дрейфу судна нейронною мережею зі можливо високою точністю. Взятю спрощене формулювання завдання, яке представляє собою задачу апроксимації швидкості дрейфу як функцію компонентів вхідного вектора. Завдання апроксимації може бути вирішена з як заведено високою точністю за допомогою нейронної мережі, що задовольняє умовам теореми про універсальну апроксимацію.

The structure of the method for the algorithm for constructing systems for predicting the ship's drift speed for calculating its path based on neural networks is considered. The transition to an approximate discrete measurement model shows that the drift velocity forecast is a problem of approximating a function of many variables. The solution of this problem on the basis of neural networks that meet the conditions of the universal approximation theorem allows us to theoretically approximate the speed of ship drift by a neural network with arbitrarily high accuracy. A simplified formulation of the problem is taken, which is the problem of approximating the drift velocity as a function of the components of the input vector. The approximation problem can be solved with arbitrarily high accuracy using a neural network that satisfies the conditions of the theorem of universal approximation.

В даний час, незважаючи на оснащення флоту високоточними засобами навігації, а також ефективними засобами спостереження і зв'язку, залишається актуальною проблема навігаційної безпеки плавання.

Для програми розвитку перспективних шляхів підвищення загальної безпеки мореплавства спостерігаються тенденції збільшення кількості смертельних випадків від морських аварій. Про те, що тільки високоточних засобів навігації без оцінки показників навігаційної безпеки плавання для її забезпечення недостатньо, каже і навігаційна аварійність дуже добре оснащених кораблів ВМФ США і НАТО. У 2005–2007 рр. зафіксовані, наприклад, посадка на міліну крейсера «Порт

Ройал», зіткнення з підводними скелями атомних підводних човнів «Сьюперб», «Сан-Франциско», «Рубін» [1]. Статистика свідчить, що переважна більшість аварійних ситуацій на морі тією чи іншою мірою пов'язана з негативним впливом людського фактора. Причиною цього є недосконалість інформаційного забезпечення морських транспортних процесів [2]. Дефіцит часу на прийняття рішення з забезпечення безпеки судна призводить до необхідності виділення тільки тієї інформації, яка потрібна для виконання основного завдання управління і прийняття рішень. Виникає проблема попереднього відбору та аналізу інформації, необхідної для реалізації механізму логічного висновку і вироблення практичних рекомендацій. Науковий базис для вирішення проблеми безпечного судноплавства заснований на аналізі опублікованих робіт вчених, таких як Демиденко П. П., Вагущенко Л. Л., Астреин В. В., Проталинский О. М., Лукьянова Л. М., Новиков Д. А., Путилов В. А., Саати Т. Л., Финаев В. И., Гриф М. Г., Edwin V. K., Jing H., Scott A., Новикова Д. А., Тихонов В. И., Волкова В. Н., Денисова А. А., Huget M., Гаскарова Д. В., Люгера Дж., Павлова В. В., Губко М. В., Lurton X., Lamarche G., Корякін Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В., Чуркін О. Ф., Старожицька В. В., M. Sozer, M. Stojanovic, Proakis J. G., Маркович І. І., Душенин Ю. В., Шелестенко Е. Ю., Freddy, Шендеров Е. Л., Buckingham M. J., Куперман У., Енсен Ф., Geerits T. W. та ін. Знаємо, що сучасні судна морського флоту, в своїй більшості, обладнані відносним лагом, який може виміряти лише подовжню складову його швидкості, і гірокомпасом. Але при використанні цих засобів вимірювальної техніки з'являється задача обліку швидкості дрейфу судна.

Традиційні методи вирішення не завжди досягають необхідної точності, оскільки не враховують багато параметрів руху судна, вихідні дані залежать від зовнішнього середовища, часто являють собою спрощені лінійні алгоритми. Шляхи підвищення точності прогнозу швидкості дрейфу судна, счислення координат його місця повинні враховувати властивості нелінійної процесу числення і невизначеності вихідних даних.

Для докладного розгляду у відкритому доступі знаходиться ряд досліджень, в яких вивчаються похибки числення шляху судна, вплив зовнішніх факторів на характер зміни помилки счислених координат місця судна в реальному масштабі часу. В роботі Л. А. Земнухова «Дослідження точності числення шляху морських транспортних суден» вивчаються питання зміни похибки числення в процесі плавання.

Авраменко В. І. розглядає вплив зовнішніх факторів середовища на точність поточного місця судна. Синтез регуляторів утримання судна на заданій траєкторії вимагає застосування моделей руху судна в умовах зовнішніх факторів. Побудова моделей на основі диференціальних рівнянь пропонується в роботі С. П. Дмитрієва та А. Е. Пелевіна, завдання навігації і управління при стабілізації судна на траєкторії.

В умовах нелінійної системи, невизначеності та неповноти вихідних даних використовують алгоритми, де на чолі стоїть використання штучних нейронних мереж (рисунок 1). Для отримання інформації у нейрона є входні канали, які називаються синапси. Синапси це канали, по яких в нейрон надходить інформація з інших нейронів. На рисунку синапси позначені літерою W , а інші нейрони буквою X . Кожен синапс має вагу, чим більше вага синапсу, тим більше результат роботи нейрона буде переважати в подальших обчисленнях про що йдеться в роботах Каллана Р. і Хайкіна В. [3; 4], так як відомо, що універсальними апроксимуючими властивостями володіють штучні нейронні мережі (рисунок 2), це видно з робіт [5–7], що робить їх перспективним інструментом моделювання руху судна.

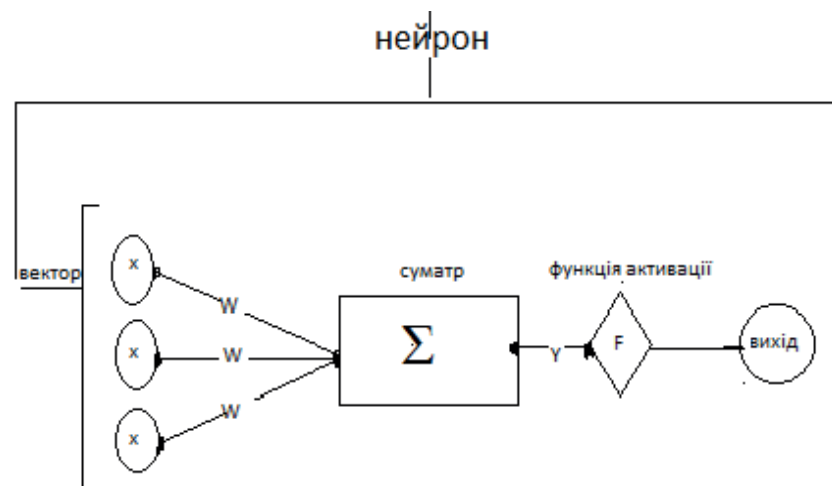


Рис. 1. Синапси нейронної мережі

В даний час проектування складних систем часто визначається рівнем інтелектуальності, досягнення якого відкриває можливості проектування систем, що функціонують в умовах невизначеності [8–

17]. У роботах [18–20] запропоновані ідеї використання нейронних мереж для прогнозу параметрів руху судна. Нейронні мережі являють собою потужний математичний інструмент, який показує свою спроможність при вирішенні широкого класу задач, таких як розпізнавання образів, апроксимація, класифікація, прогнозування та інше. За результатами багатьох досліджень зроблено висновок, що нейронна мережа виконує функцію ідентифікації моделі руху судна. Роботи [21; 22] пропонують використовувати нейронні мережі для прогнозу траєкторії, а корекцію їх вільних параметрів виконувати в режимі реального часу по мірі руху судна.

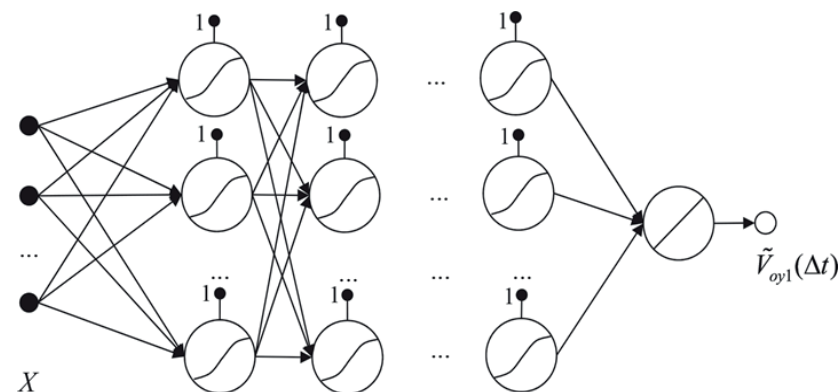


Рис. 2. Вигляд нейронної мережі для прогнозу швидкості дрейфу судна

Метою роботи є використання нейронних мереж для визначення числення місця судна. Для цього застосовують три варіанти побудови нейронних мереж, які прогнозують швидкість дрейфу судна в умовах зовнішніх факторів, що збурюють. Загальною для структури нейронних мереж, які використовуються для вирішення завдання прогнозу швидкості дрейфу судна, є наявність в їх структурі нейронів з нелінійними функціями активації у вигляді гіперболічного тангенса. Вибір нелінійної функції активації обумовлений тим, що перетворення зовнішніх збурень «через судно» в швидкість дрейфу носить якісно нелінійний характер. Проте, як функції активації нейронів можуть використовуватися й інші нелінійні функції, наприклад, логістична. У фундаментальній праці з нейронних мереж [5] містяться евристичні рекомендації з проектування нейромережових систем, вивчення яких виконується з використанням алгоритму зворотного

поширення помилки. Відповідно до цих рекомендацій використання непарних сигмоїдальних функцій, до яких і належить гіперболічний тангенс, є кращим у порівнянні з іншими варіантами. Так, логістична функція не задовольняє умові непарності. Вибір нелінійних функцій в класі сигмоїдальних пояснюється їх здатністю підтримувати баланс між нелінійною і лінійною поведінкою модельованої системи [10], що характерно для прогнозу швидкості дрейфу судна в умовах зовнішніх збурень. Для нейромережевої реалізації функцій з будь-якою точністю досить було б використовувати мережу прямого поширення з одним прихованим шаром і повними зв'язками. Функції активації прихованого шару такої мережі повинні бути не поліномами, а також локально інтегрованими (за Ріманом). Нейрон одного шару має тотожну функцію активації. Такі умови для універсальної апроксимації мереж з одним прихованим шаром [14], тобто дрібних нейронних мереж. Основним недоліком дрібних нейронних мереж є те, що для отримання заданої точності наближення функції може знадобитися дуже велика кількість нейронів прихованого шару [20]. Використанням глибокої архітектури можна сподіватися досягти тієї ж точності наближення, але з меншою загальною кількістю нейронів мережі. Як правило, повнозв'язкова глибока мережа прямого поширення утворюється з дрібною шляхом додавання прихованих шарів між першими прихованими шарами.

Налаштування їх вільних параметрів виконується на основі зразків, отриманих в ході спостережень:

«силовий» підхід — п'ять з шести компонент вхідного вектора утворюють сили, що діють на корпус судна;

«безпосередній» підхід — компоненти вхідного сигналу становлять величини, що характеризують дію відповідних сил на корпус судна;

«статичний» підхід — нейронна мережа передбачає врахування часу безпосередньо у вхідних сигналах за рахунок інтегрування за часом величин.

Загальною для структури нейронних мереж, які використовуються для вирішення завдання прогнозу швидкості дрейфу судна, є наявність в їх структурі нейронів з нелінійними функціями активації у вигляді гіперболічного тангенса. Вибір нелінійної функції активації обумовлений тим, що перетворення зовнішніх збурень «через судно» в швидкість дрейфу носить якісно нелінійний характер.

Метод побудови нейронної мережі, що прогнозує швидкість дрейфу судна, включає в себе:

1. визначення архітектури нейронної мережі:

1.1. складається диференціальне рівняння швидкості дрейфу судна (задача Коші), права частина якого є функцією багатьох змінних, що залежать від часу. У число змінних входять позовжня і поперечна складові відносної швидкості, кутова швидкість повороту, а також інші величини. Останні визначаються на основі аналізу методів визначення окремих сил, що діють на корпус судна;

1.2. формулюється конкретне завдання визначення швидкості дрейфу на кінці часового проміжку, якщо відомі змінні попереднього кроку на його межах. Складається вхідний вектор X , який містить значення визначальних величин на кордонах тимчасового відрізка. Значення швидкості дрейфу в кінці відрізка приймається рівним значенню в його початку;

1.3. показується, що спрощене завдання є завданням апроксимації швидкості дрейфу як функції багатьох змінних — компонент вхідного вектора X ;

1.4. як інструмент універсальної апроксимації вибирається багатошарова мережа прямого поширення. Її приховані шари мають нейрони з нелінійними монотонно зростаючими обмеженими безперервними функціями активації, ненульовими в загальному випадку граничними зсувами. Нейрон вихідного шару має тотожну функцію активації;

2. формується набір початкових даних (зразки);

3. конкретизуються параметри структури мережі — число прихованих шарів і нейронів у них, вид функцій активації нейронів;

4. відбувається вибір алгоритму настройки вільних параметрів мережі (алгоритм навчання) і його параметри;

5. виконується вивчення нейронної мережі;

6. виконується тестування нейронної мережі;

7. відбувається ітерація пунктів 3 і 4 до отримання результату, який задовольняє тестовій вибірці.

Ітерація необхідна для того, щоб побачити результат проходження двох цих циклів, один з яких є вкладеним, визначаються параметри структури і алгоритму вивчення, при якому досягаються кращі результати узагальнення нейронною мережею для зразків вибірки.

Спрощена блок-схема алгоритму побудови нейромережевої системи прогнозу швидкості дрейфу судна представлена на рисунку 3. Цикли за параметрами архітектури та параметрами і / або типу алгоритму вивчення показані схематично, без блоків прийняття рішень

і змін циклових змінних. Сенс полягає тому, що в результаті проходження двох цих циклів, один з яких є вкладеним, визначається набір параметрів (структури і алгоритму навчання), при якому досягаються найкращі результати узагальнення нейронною мережею для зразків тестової вибірки.

Висновки. Для числення шляху судна, забезпеченого однокомпонентним відносним лагом і гірокомпасом, можливо тільки приблизно розглядати завдання прогнозу швидкості дрейфу як задачі апроксимації. Розглядаючи перехід до наближеної дискретної моделі вимірювань, можна побачити, що завдання прогнозу швидкості дрейфу є завданням апроксимацію функції багатьох змінних. Рішення цього завдання на основі нейронних мереж, які відповідають умовам теореми про універсальну апроксимацію, дозволяє теоретично наблизити швидкість дрейфу судна нейронною мережею з високою точністю.

Приведення завдання прогнозу швидкості дрейфу до задачі апроксимації функції декількох змінних має велике теоретичне значення, оскільки дозволяє обґрунтувати в рамках принципу конкуренції на базі аналізу альтернатив необхідність досліджень в області бажаних обчислювальних технологій з використанням методів класичної математики і нейронних мереж з деякою дискретністю для визначення числення координат судна в реальному масштабі часу. Алгоритми апроксимації, засновані на використанні стандартних рішень з розрахунку силових впливів на судно, такими властивостями не володіють. У цьому полягає перевага нейронної мережі перед ними як структури, яка має гарантовані властивості апроксимації.

На даному етапі тільки починається застосування нейронних мереж для прогнозу швидкості дрейфу судна. Для розвитку цього напрямку необхідно прагнути до об'єкта, який працює в просторі координат, і створення системи, яка зможе забезпечити стабілізацію судна згідно з інформацією активних слабоформалізованих технічних навігаційних систем.

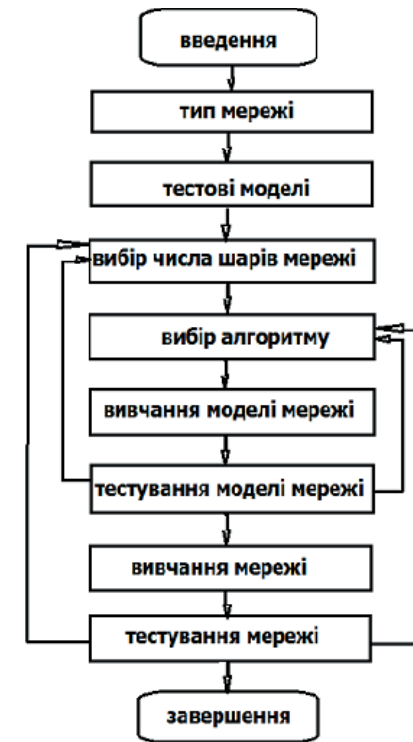


Рис. 3. Блок-схема алгоритму побудови нейромережевої системи числення шляху судна

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кушнарёв А. Г., Михальский В. А. Проблемы оценки показателей навигационной безопасности плавания кораблей // Программные продукты и системы. — 2016. — № 1. — С. 51–55.
2. Інформаційні технології: сучасний стан та перспективи. Характеристики інформаційного забезпечення логістичних процесів судноводіння: кол. монографія / Н. О. Пунченко та ін.; за заг. ред. В. С. Пономаренка — Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. — 462 с.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан; пер. с англ. А. Г. Сивак. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин; пер. с англ. Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестова. — М.: Издат. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.

5. Funahashi K.-I. On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks/ K.-I. Funahashi // Neural Networks. — 1989. — Vol. 2, Is. 3. — P. 183–192. — DOI: 10.1016/0893–6080(89)90003–8.
6. Guliyev N. J. On the approximation by single hidden layer feedforward neural networks with fixed weights/ N. J. Guliyev, V. E. Ismailov // Neural Networks. — 2018. — Vol. 98. — P. 296–304. — DOI: 10.1016/j. neuronet.2017.12.007.
7. Haykin S. S. Neural Networks and Learning Machines / S. S. Haykin. — Third Edition. — Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2009. — 906 p.
8. Александров В. Л. Интеллектуальные системы новых поколений / В. Л. Александров, А. П. Матлах, Ю. И. Нечаев, В. И. Поляков // Морской вестник. — 2002. — № 2. — С. 53–57.
9. Бокс Дж. Анализ временных рядов: прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. — М.: Мир, 1974.
10. Борисов Ю. Ю. Построение прогнозирующих моделей динамических систем на основе исследования окрестностей реконструированных аттракторов / Ю. Ю. Борисов // Автоматизация и современные технологии. — 2007. — № 2. — С. 32–37.
11. Лесных В. Ю. Динамическая реконструкция временных рядов / В. Ю. Лесных // Сб. докладов X Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2007. — Санкт-Петербург, 2007. — Т. 1. — С. 199–202.
12. Нечаев Ю. И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени / Ю. И. Нечаев // Нейроинформатика-2003: тр. 5-й Всероссийской конференции. — М.: МИФИ, 2003. — Ч. 2: Лекции по нейроинформатике. — С. 119–179.
13. Нечаев Ю. И. Нейроаппроксимация и нейропрогноз при контроле динамики сложного объекта / Ю. И. Нечаев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2005. — № 9. — С. 22–31.
14. Нечаев Ю. И. Концептуальные основы создания бортовых интеллектуальных систем / Ю. И. Нечаев // Информационно-измерительные и управляющие системы. Ч. 2: Корабельные системы. — 2006. — № 9. — С. 39–49.
15. Нечаев Ю. И. База знаний и механизм логического вывода / Ю. И. Нечаев, О. Н. Петров // Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 2. Корабельные системы. — М.: Радиотехника, 2009. — С. 23–27.
16. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Уоссермен Ф. — М.: Мир, 1992.
17. Takens F. Lectures notes in mathematics/ Takens F. — N. Y.: Springer, 1981. — Vol. 898. — P. 366–381
18. Ведякова А. О. Идентификация в условиях внешнего возмущения с использованием нейронных сетей / А. О. Ведякова // International Journal of Open Information Technologies. — 2014. — Т. 2, No 3. — С. 18–22.
19. Ebada A. Intelligent techniques-based approach for ship maneuvering simulations and analysis (Artificial Neural Networks Application):Doktor-Ing.

- genehmigte Dissertation; Institute of Ship Technology und Transport Systems / A. Ebada. — Germany, 2007. — 156 p.
20. Moreira L. Dynamic model of maneuverability using recursive neural networks / L. Moreira, C. G. Soares // Ocean Engineering. — 2003. — No 30. — P. 1669–1697.
21. Nguyen. H. M. Improving GPS/INS Integration through Neural Networks / H. M. Nguyen, Z. Chi // Journal of Telecommunications. — 2010. — No 2 (2). — P. 1–6.
22. Xu T. A Novel Approach for Ship Trajectory Online Prediction Using BP Neural Network Algorithm / T. Xu, X. Liu, X. Yang // Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS). — 2012. — No 4 (11). — P. 271–277.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВІДДІЛЕННЯМ ВАКУУМ- АПАРАТІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Скаковський Ю. М.

Розглянуто рішення з модернізації технічної структури системи автоматизованого керування (САК) відділенням вакуум-апаратів (ВА) періодичної дії цукрового виробництва. Наведений аналіз відомих рішень із розробки аналогічних систем. Проведені лабораторні дослідження програми керування варкою цукрового утфелю у ВА, що була складена FBD-подібною мовою програмування контролера МІК52 українського виробництва. Складена спрощена модель ВА як об'єкта керування. Імітаційне моделювання САК проводилось на спеціалізованому стенді із застосуванням промислових контролерів та програмних засобів українського виробництва, в тому числі SCADA-системи «ІНДЕЛ». За результатами лабораторних досліджень було створено промисловий варіант автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора ВА, із пультом дистанційного керування для реалізації деяких функцій. Остаточний промисловий варіант АРМ був впроваджений на діючому цукровому заводі для одного ВА. На основі позитивних результатів промислових випробувань запропоновані технічні рішення з розширення інтелектуальних функцій САК ВА та модернізації технічної структури САК відділенням ВА цукрового заводу.

The solutions for the modernization of the technical structure of automated control system (ACS) for the department of sugar-batch pan (VA) are considered. The analysis of known solutions to develop similar systems is presented. Laboratory studies of software for control massecuite boiling down in VA, which was compiled by FBD programming language of the Ukrainian-made MIK52 controller was done.

Simplified model of VA as a control object has been obtained. The simulation of ACS was carried out at specialized stand with the use of industrial controllers and software of Ukrainian production, including INDEL SCADA system. Based on the results of laboratory studies, industrial version of automated workplace (AWP) for the VA operator was created, using remote control for certain functions realization. Commercial prototype of AWP for operator VA was implemented at the operating sugar plant. On the basis of the positive results of industrial tests, technical solutions to expand the intellectual functions of ACS for VA and modernize the technical structure of ACS for VA department of the sugar plant were proposed

Постановка проблеми. В Одеській національній академії харчових технологій в межах госпдогвірної тематики виконуються роботи із надання науково-технічної допомоги при модернізації систем автоматизації для підвищення ефективності їх функціонування на Красилівському бурякоцукровому заводі (Хмельницької області). На даний час, у зв'язку із реконструкцією технологічної схеми продуктового відділення з додаванням нових вакуум-апаратів періодичної дії (ВА), виконуються роботи з модернізації системи автоматизації вакуум-апаратів періодичної дії, що базується на використанні технічних і програмних засобів українського виробництва. Процес отримання утфелю першого продукту (кристалізації) традиційно розділяють на етапи (стадії): набір (наповнення) ВА сиропом (вище рівня розташування гріючої камери), згущення його до певного стану, коли потрібно заводити у ВА цукрову пудру для створення центрів кристалізації; нарощування кристалів, згущення утфелю, вивантаження звареної маси в мішалку та пропарювання ВА [1]. Найбільш поширеним методом проведення всіх етапів отримання утфелю є робота з періодичним введенням у ВА сиропу (вихідного розчину) — так званої «підкачки», що викликано високою густиною вихідних розчинів та утрудненням використання виконавчих механізмів із неперервно діючими регулюючими органами.

Аналіз відомих розробок аналогічних САК дозволив обрати комплекс технічних рішень, що базуються на досвіді НВО «Харчопром-автоматика», а саме використання нових конструкцій ротаційного віскозиметра (розробки Вітвицького В. Д.), що, на нашу думку, має суттєву перевагу над іншими методами контролю консистенції продукту в циклі його варки.

На основі проведених досліджень було розроблено алгоритм і програму керування ВА, котрі дозволили створити модернізовану САК процесом варки утфелю з використанням досвіду останніх роз-

робок, враховуючи досвід робітників служби КВП і А заводу з роботи і обслуговування мікропроцесорних контролерів та регуляторів фірми «МІКРОЛ» (м. Івано-Франківськ), а також SCADA-системи «ІНДЕЛ», котра також являє собою сучасний програмний засіб вітчизняного виробництва, створений на підприємстві «Інфотехпром» (м. Полтава). Розроблена САК ВА була впроваджена у складі АРМ оператора-варщика ВА на цукровому заводі [1]. Подальші дослідження були направлені на розширення інтелектуальних функцій САК та формування рішень з модернізації системи автоматизованого керування відділенням ВА цукрового заводу.

Основні задачі та їх рішення щодо модернізації САК відділенням ВА. Основним завданням дослідження було розробити комплекс алгоритмів і програм, що включає функції автоматизованого керування варкою та автоматизованого обліку утфелю першого продукту, що зварений за поточну зміну, з архівацією даних обліку впродовж сезону цукроваріння, та, на основі отриманих технічних рішень, розробити структуру модернізованої САК відділенням ВА цукрового заводу.

Діюча до модернізації САК відділенням ВА включала комплекс датчиків (Д), виконавчих механізмів (ВМ) та пульт дистанційного контролю і керування (ПДУ) для кожного ВА, щит оператора відділення, централізований контролер, зв'язаний з комп'ютером із SCADA-системою «ІНДЕЛ», котрий за допомогою мережі з інтерфейсом MODBUS RTU об'єднувався з іншими АРМ, в тому числі з АРМ диспетчера, головного технолога та ін.

При цьому САК відділенням ВА базувалась на застарілому контролері Реміконт Р-110М з обмеженими обсягами оперативної пам'яті, що не дозволяло реалізувати в її складі актуальні завдання з автоматичного обліку звареного утфелю, а структура її була функціонально і територіально централізована. Технічна структура діючої САК відділенням ВА наведена на рис. 1.

Запропонована модернізована технічна структура САК відділенням ВА (рис. 2) носить територіально централізований (розташування в операторському пункті), але функціонально розподілений характер і базується на програмованих контролерах (МПК) вітчизняного виробництва МІК52.

Для кожного ВА пропонується використання в структурі САК ВА «свого» контролера та пульта дистанційного керування, що дозволяє, окрім задачі автоматизованого керування варкою, вирішити завдання оперативного обліку звареного утфелю для ВА першого продукту. Для

ВА інших продуктів (другого та третього) технологічними правилами така задача не ставиться, і резерви їх ресурсів можуть бути використані для задач розрахунку кількості цукрового утфелю, що знаходиться на верстаті [2].

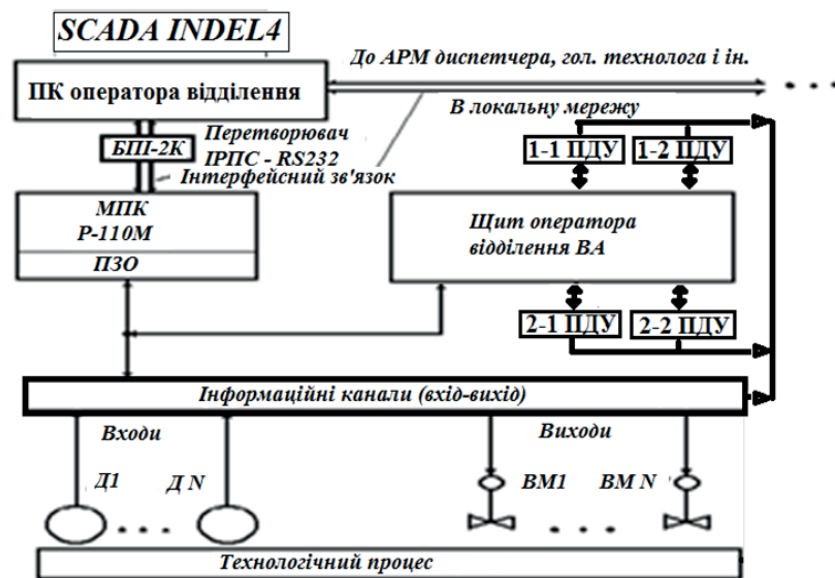


Рис. 1. Технічна структура САК відділенням ВА до модернізації

На рис. 2 наведений орієнтовний попередній розподіл ВА за продуктовими потоками (продуктами). За традиційним розподілом ВА за продуктами передбачена можливість використання, за потребою, деяких ВА для варіння суміжних продуктів, наприклад, 2–1ВА для варіння утфелю першого продукту, а 3–1ВА для варіння утфелю другого продукту.

Розглянемо детальніше принципову схему САК ВА (рис. 3), яка складає основу САК відділення ВА. При цьому САК кожного ВА, що реалізується на базі МПК, об'єднується з іншими та з комп'ютером зі SCADA-системою «ІНДЕЛ», за допомогою мережі з інтерфейсом MODBUS RTU. Використовується перетворювач інтерфейсів БПІ-52, котрий дозволяє з'єднувати більше 20 абонентів.

На рис. 3 наведено технологічну схему ВА періодичної дії (з циркулятором), оснащеного виконавчими пристроями (ВП) для керування

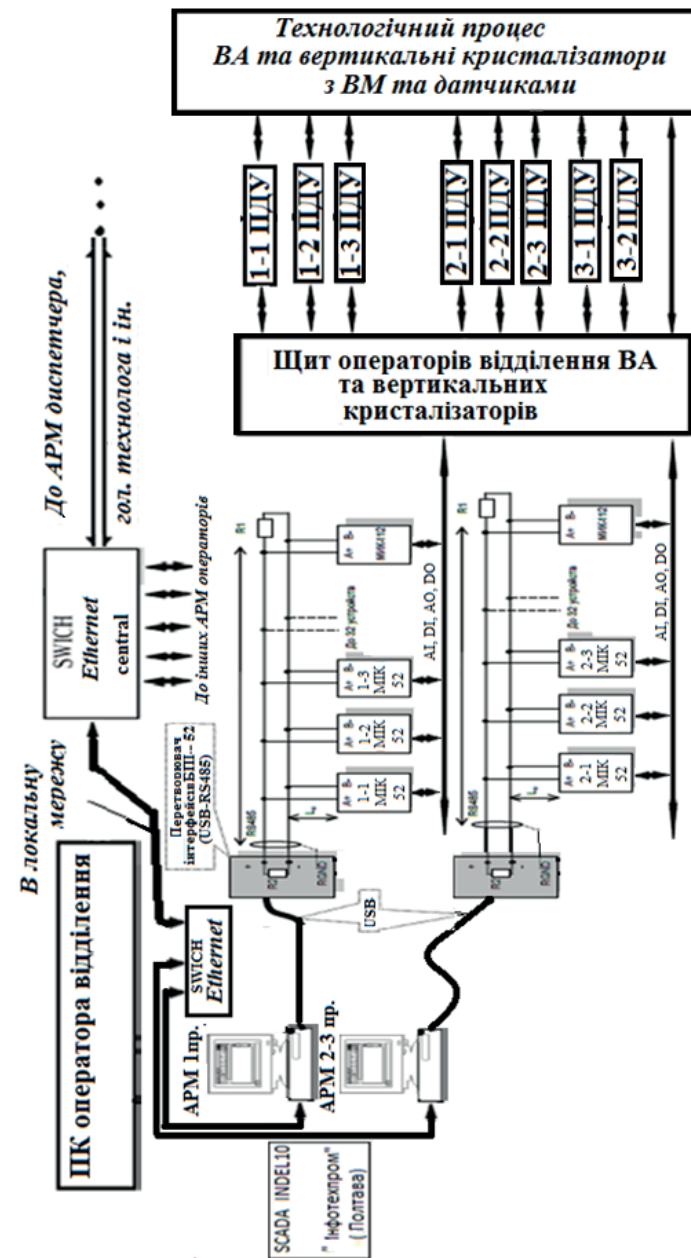


Рис. 2. Технічна структура модернізованої САК відділенням ВА

процесом варки утфелю та блок-схеми підсистеми автоматизованого керування ВА та підсистеми оперативного обліку утфелю.

Система містить ВП 1 подачі грюючої пари у ВА, ВП 2 для здійснення пропарки ВА між циклами уварювання, ВП 3 (основний) зв'язку внутрішнього простору ВА із магістраллю розрідження, ВП 4 (допоміжний) для подібного ж зв'язку, ВП 5 (основний) для вивантаження готового утфелю у приймальну мішалку, ВП 6 (допоміжний) для попереднього ВП 5, ВП 7 для подачі вихідного розчину у ВА, ВП 8 для зв'язку внутрішнього простору ВА із атмосферою. Усі названі виконавчі пристрої зв'язані з блоками дистанційного керування та сигналізації стану ВП відповідно 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, котрі розташовані на пульті дистанційного керування ВА, та через них із контролером 23, з котрим також зв'язані датчики рівня 9, температури в ВА 10 та консистенції утфелю 11. Перемикач 22 дозволяє вибрати режим керування процесом уварювання утфелю у ВА: автоматичний або дистанційний. Тумблери 20 («Набір») та 21 («Підкачка»), що зв'язані з контролером 23, дозволяють задавати стадію варіння утфелю у ВА за програмою, що реалізована у блоці 33 в контролері. Контролер 23 зв'язаний з комп'ютером 24, для передачі, відображення необхідних даних на екранній формі оператора та архівації їх для наступного аналізу.

Підсистема оперативного обліку утфелю, в якій реалізується запропонований алгоритм, включає такі блоки. Блок 25, котрий виконує функцію перерахунку сигналу рівня у ВА (від датчика 9) на кількість (масу) утфелю у ВА (кусково-лінійної апроксимації нелінійної залежності маси від рівня), і зв'язаний з блоками пам'яті 28, 29, 30, 31, в котрих здійснюється фіксація чисельних значень маси утфелю у ВА наприкінці кожної варки.

Кількість блоків пам'яті визначена максимально можливою кількістю варок одним ВА (не більше чотирьох) першого продукту за зміну. Блок 26 здійснює функцію лічильника імпульсів і зв'язаний із блоком 14 керування та сигналізації стану ВП 3 та через нього із самим ВП 3 (основний) зв'язку внутрішнього простору ВА із магістраллю розрідження. Блок 26 зв'язаний також із блоком 27, що реалізує функцію перемикача за номером, котрий зв'язаний з блоками пам'яті 28, 29, 30, 31. Кожний з останніх блоків зв'язаний з блоком 32, де виконується функція підсумовування кількості (маси) утфелю, що зварений у ВА за поточну зміну. Контролер 23, де реалізовані названі блоки, зв'язаний з комп'ютером РС 24, на якому реалізовані функції візуалізації та архівації даних.

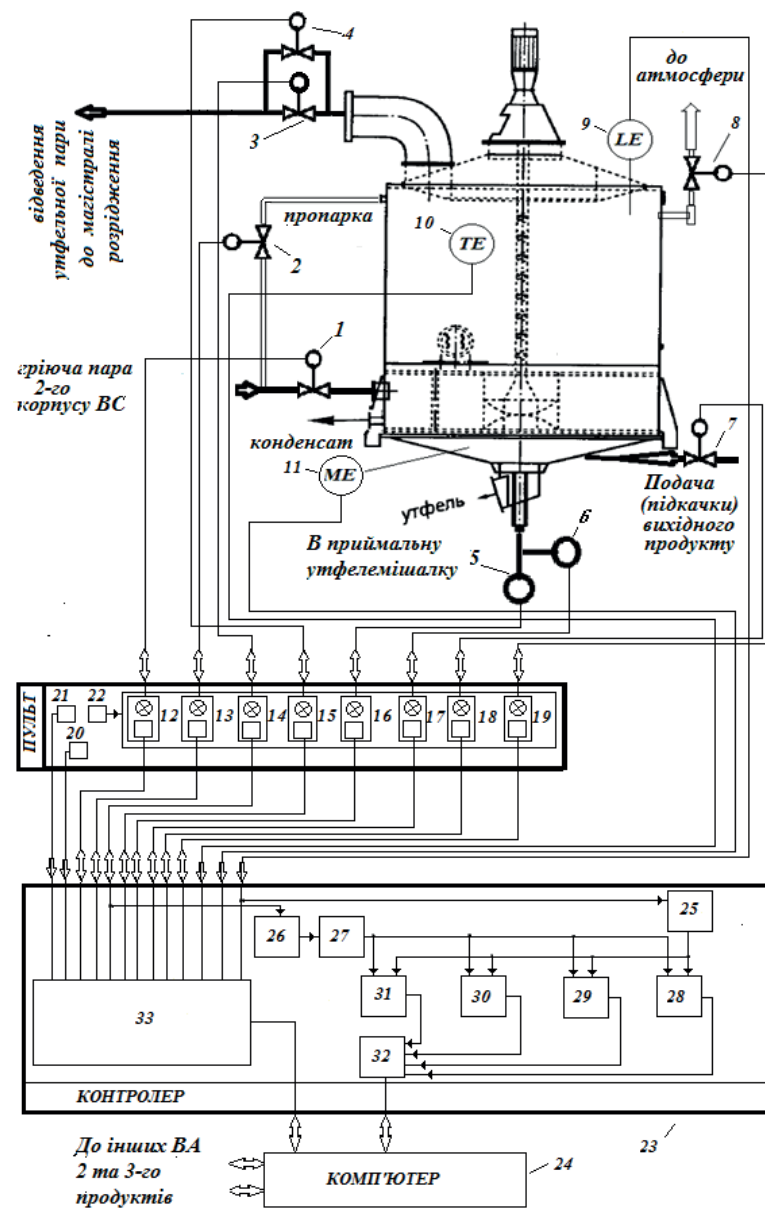


Рис. 3. Принципова схема САК вакуум-апаратом

Алгоритм оперативного обліку здійснюється у такому порядку. Сигнал рівня утфелю у ВА від датчика 9 поступає в контролер 23 (через пристрій зв'язку), де він надходить як в блок 33 для реалізації програми керування процесом варки утфелю, так і в блок 25, де здійснюється перерахунок його на кількість (масу) утфелю у ВА шляхом кусково-лінійної апроксимації нелінійної залежності маси від рівня. Поточний сигнал з блоку 25, що відповідає масі утфелю у ВА, одночасно поступає у блоки пам'яті 28, 29, 30, 31. Наприкінці кожної варки сигнал відключення ВП 3 (основний) зв'язку внутрішнього простору ВА із магістраллю розрідження поступає через блок 14 керування та сигналізації (розташований на пульті) у контролер 23 (через пристрій зв'язку), де він надходить як в блок 33 для реалізації програми керування процесом варки утфелю, так і в блок 26, котрий здійснює функцію лічильника імпульсів. Сигнал з блоку 26, котрий відповідає номеру варки, що закінчилася у ВА, надходить на блок 27, котрий реалізує функцію перемикача за номером. Останній передає сигнал включення у відповідний блок пам'яті 28, 29, 30 чи 31. Так із закінченням першої варки сигнал з блоку 27 передається в блок 28, що забезпечує фіксацію чисельного значення маси утфелю у ВА наприкінці першої варки та передачу його від блоку 28 до блоку підсумовування 32. Аналогічно з закінченням другої варки сигнал з блоку 27 передається в блок 29, де здійснюється фіксація чисельного значення маси утфелю у ВА наприкінці другої варки та передачу його від блоку 29 до блоку підсумовування 32. Таким чином, в блоці 32 накопичується чисельне значення кількості (маси) утфелю, котрий було зварено у ВА протягом зміни, та передається до комп'ютера 24, де відображається у відповідній екранній формі та архівується. Наприкінці зміни здійснюється скидання даних в блоках пам'яті 28, 29, 30, 31 та лічильника в блоці 26, для реалізації наступного циклу обліку утфелю, що зварений у ВА.

Програма, що реалізує описаний алгоритм обліку утфелю, звареного в ВА за зміну, складена мовою програмування «α» для контролера МІК52. Вибір типу програмованого контролера обумовлений достатніми резервами цього контролера для вирішення, разом із задачею керування варкою утфелю в ВА, розглянутої задачі та досвідом робітників служби головного метролога підприємства з обслуговування подібних засобів автоматизації.

У процесі імітаційного моделювання був використаний лабораторний стенд, котрий було оснащено промисловим контролером:

МІК52, аналоговими задатчиками РЗД-22 (зі струмовим виходом 4,...,20 мА), дискретними задатчиками (0; 24 В), блоком перетворення інтерфейсів БПІ-52, комп'ютером із інстальованим програмним забезпеченням, зокрема драйвером для БПІ-52, SCADA-системою «ІНДЕЛ» з драйвером MODBUS RTU, котрий надає можливості створити інформаційний шлюз між комп'ютером та контролерами за допомогою двохпроводного інтерфейсу RS-485.

Програма складалася з урахуванням середньостатистичної тривалості циклу варки утфелю 1-го продукту, котра складає 3,5,...,3,8 години. Відповідно за зміну, що складає 12 годин, кількість варок не може перевищити чотирьох подібних циклів.

На рис. 4 наведений фрагмент програми автоматичного обліку звареного утфелю, що працює у режимі імітаційного налагодження після третьої варки утфелю.

Реалізацію кусково-лінійної апроксимації нелінійної залежності маси від рівня виконано за допомогою алгоблоку (АБ) 17, лічильник кількості варок за зміну — АБ 13, перемикач за номером реалізує АБ 16. Функцію фіксації кількості утфелю наприкінці циклу варки за обраною ознакою — відключенням ВА від магістралі вакууму — та зберігання цієї інформації протягом зміни виконує, для першого циклу, група з АБ 15 (одновібратор), АБ 1 (пам'ять), АБ 20 (АБО, що виключає) та АБ 22 (інтегратор). Аналогічними групами АБ реалізується подібна функція для наступних циклів варки утфелю.

Проведене імітаційне моделювання дозволило оцінити складену програму як працездатну і визначити відносну похибку наведеного методу розрахунку, що склала за результатами випробувань 0,25 %.

Оцінювання відносної похибки методу виконувалось шляхом порівняння суми чисельних значень кількості звареного утфелю P_i за три варки, що зберігається в АБ 1, 7, 11 (пам'ять), та аналогічного значення P_{sum} на виході АБ 30 (суматор).

Ця похибка виникає під час інтегрування з фіксацією моментів дозволу, заборони інтегрування у відповідних АБ та округлення даних.

Загальна відносна похибка складається з вищенаведеної похибки апроксимації нелінійної залежності $P = V(h) \cdot \rho$ (не перевищує 0,2 % за даними підприємства) та похибки вимірювання рівня утфелю у ВА з використанням дифманометра з класом точності 0,5. Таким чином, загальну відносну похибку автоматичного оперативного обліку звареного утфелю у ВА можна оцінити як таку, що складає менше одного відсотка, що для подібних задач є досить прийнятною, враховуючи,

що ці розрахунки не належать до класу комерційних та те, що аналогічні похибки за ручним вимірюванням та розрахунками перевищують 4–5 % [2].

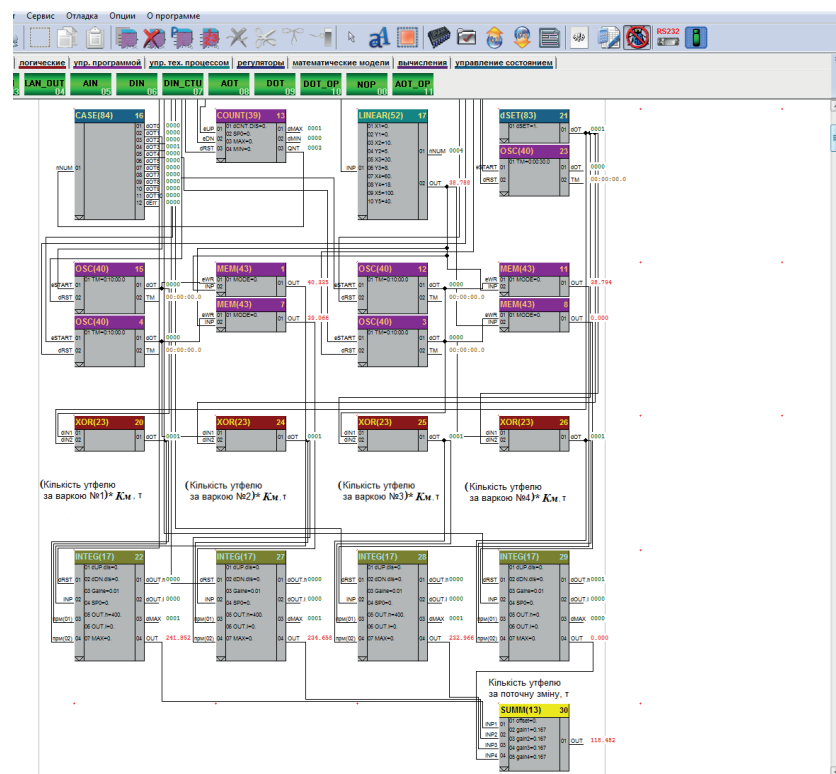


Рис. 4. Фрагмент програми обліку звареного утфелю за зміну

Інтегрування розробленої програми в програму моделювання САК ВА дозволяє реалізувати одночасно обидві задачі в складі АРМ оператора-варщика. В процесі складання інтегрованої програми виконується остаточна нумерація АБ та визначення номерів відповідних регістрів пам'яті, де зберігаються поточні числові значення змінних для зручності налагодження екранних форм у SCADA-системі.

На рис. 5 наведена інтегрована програма керування ВА (з програмою моделі ОК) та оперативного обліку кількості звареного утфелю за зміну для ВА № 3.

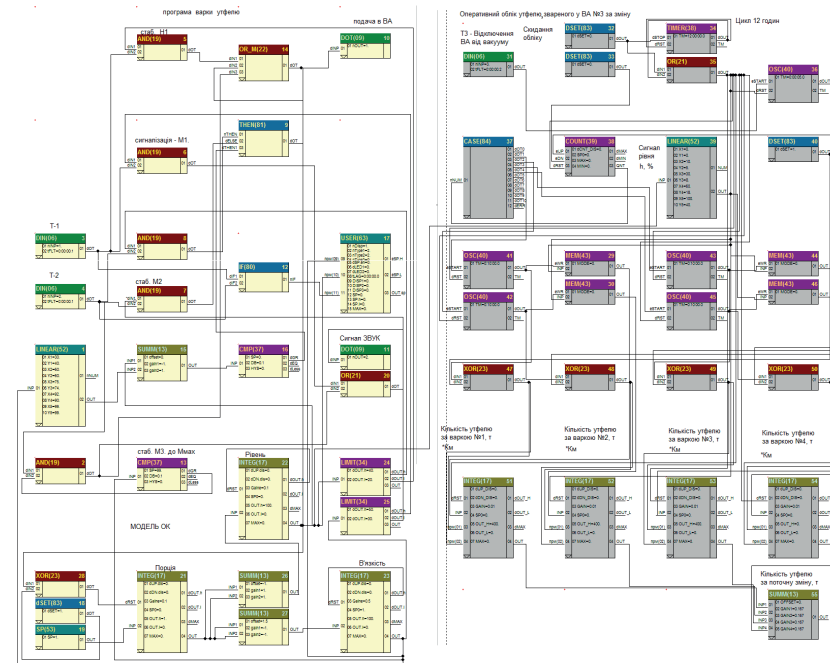
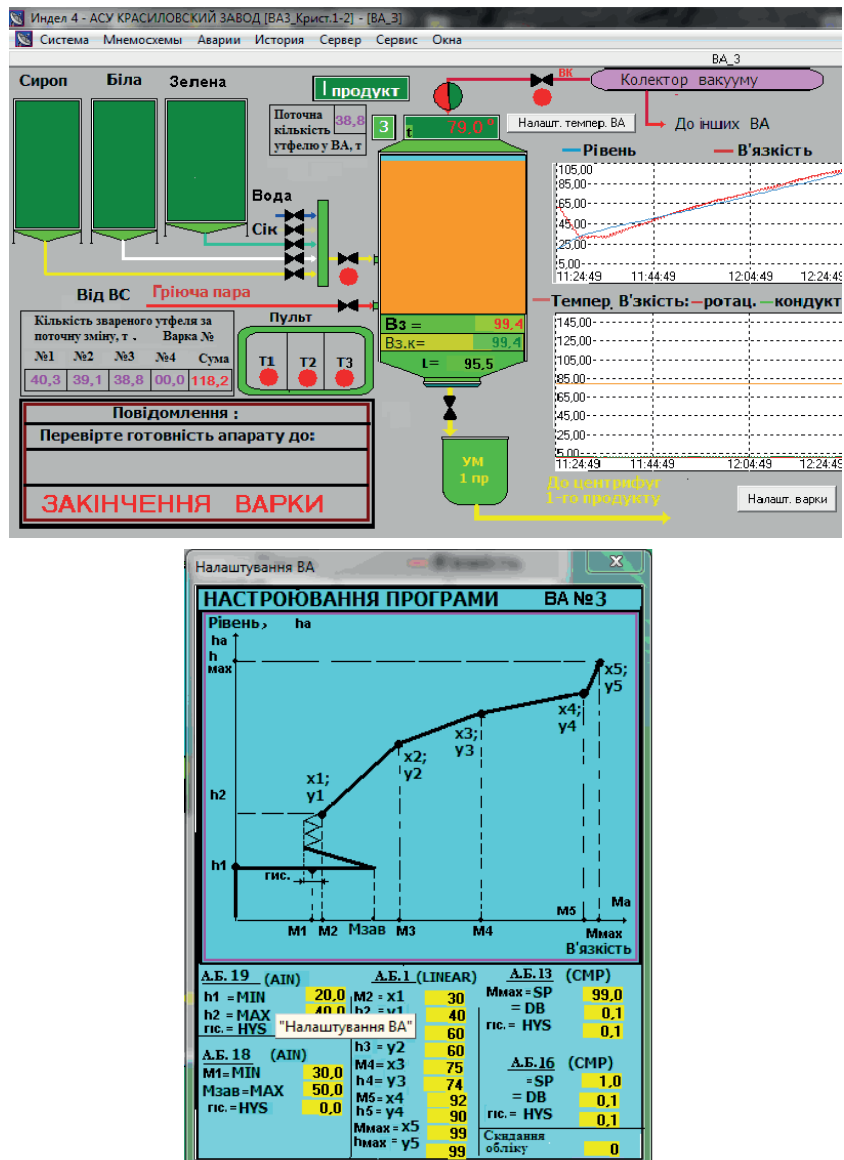


Рис. 5. Програма керування та обліку звареного утфелю за зміну у ВА № 3

Отримані дані за кількістю звареного утфелю наводяться на основній екранній формі ВА № 3 першого продукту оператора-варщика (рис. 6), де також наведена доповнена опцією «Скидання даних оперативного обліку звареного утфелю» допоміжна форма для налаштування програм.

Аналогічно алгоритм автоматичного оперативного обліку утфелю здійснюється в інших ВА першого продукту, що дозволяє реалізувати облік утфелю, що зварений у всіх ВА першого продукту, передавати сумарні дані до комп'ютера, де вони відображаються у відповідних екранних формах та архівуються. Слід зауважити, що ресурси кожного з МПК, що реалізують розглянуті задачі, ще мають резерви для подальшого розвитку САК відділення ВА.

Результати проведеного дослідження дозволяють зробити висновки про працездатність розробленої підсистеми автоматичного оперативного обліку утфелю, що зварений у ВА періодичної дії. Інтегрування програми оперативного обліку до програми керування



дозволило розширити перелік функцій САК ВА, підвищити інтелектуальність пропонованої системи та склали умови для модернізації АСКТП продуктового відділення цукрового заводу на основі отриманих позитивних результатів. Дані про кількість звареного утфелю, що отримані в автоматизованій системі обліку, архівуються засобами SCADA-системи, що дозволяє персоналу проводити необхідний аналіз результатів роботи кожної зміни та своєчасно вносити необхідні корективи режимів роботи продуктового відділення, проводити оперативні заходи для поліпшення техніко-економічних показників роботи відділення та заводу в цілому.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення остаточної структури комплексу інтелектуальних технічних засобів для реалізації АСКТП продуктового відділення, що будується на основі контролерно-комп'ютерної мережі з наступним підключенням до інформаційної мережі АСКТП заводу.

В модернізованій АСКТП відділення пропонується використати промислові комп'ютери, що обумовлено складними умовами повітряного середовища операторського пункту (ОП) продуктового відділення, а саме високою температурою та підвищеною вологістю. Для зменшення цих шкідливих факторів як для оператора, так і для технічних засобів в ОП необхідно використання примусової вентиляції.

Висновки. На основі отриманих позитивних результатів проведеного дослідження розроблений промисловий варіант АРМ оператора-варщика ВА, з розширеними інтелектуальними функціями системи та структури модернізованої САК відділенням ВА, котрі запропоновані керівництву підприємства до впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Скаковський Ю. Модернізація системи автоматизованого керування вакуум-апаратом періодичної дії цукрового виробництва на базі технічних і програмних засобів українського виробництва. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. — Одеса: ОНАХТ, 2019. — Т. 11, № 3. — С. 4–14.
2. Вітвицький В., Скаковський Ю. Рішення задач оперативного обліку в АСУТП ділянок цукрового виробництва. *Наукові праці ОНАХТ / МОН України*. — Одеса, 2004. — Вип. 27. — С. 213–221.

ІНВАРІАНТНА САР З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ІНТЕРВАЛУ ПРОГНОЗУВАННЯ КОНТРОЛЬОВАНИХ ЗБУРЕНЬ

Степанов М. Т.

Розглядається інваріантна система автоматичного регулювання, в якій прогнозування контрольованих збурень ведеться на основі кубічного сплайну. У математичну модель корегуючого зв'язку системи замість фізично не реалізуємої ланки чистого випередження вводиться модуль прогнозування на основі кубічного сплайну, що дозволяє значною мірою підвищити ефективність роботи системи автоматичного регулювання та знизити помилки стабілізації. Динамічна точність системи автоматичного регулювання з модулем прогнозування по кубічному сплайну залежить від точності завдання інтервалу прогнозування. Ця залежність має екстремальний характер. В умовах параметричної невизначеності і нестационарності властивостей об'єкта керування оптимальне значення інтервалу прогнозу визначається в реальному часі екстремальним пошуковим алгоритмом із запам'ятовуванням екстремуму. Результати моделювання підтверджують ефективність роботи системи автоматичного регулювання в умовах параметричної невизначеності і нестационарності об'єкта керування.

The article discusses an invariant automatic control system in which the prediction of controlled disturbances is based on a cubic spline. A prediction module based on a cubic spline is introduced into the mathematical model of the correcting connection, instead of a physically unrealizable link of pure lead, which makes it possible to significantly increase the efficiency of the automatic control system and reduce stabilization errors. The dynamic accuracy of an automatic control system with a cubic spline prediction module depends on the accuracy of setting the prediction interval. This dependence is extreme. Under conditions of parametric uncertainty and nonstationarity of the properties of the control object, the optimal value of the forecast interval is determined in real time by an extreme search algorithm with memorizing the extremum. The simulation results confirm the efficiency of the automatic control system under conditions of parametric uncertainty and nonstationarity of the control object.

В [1] показано, що введення в коригуючий зв'язок САР, інваріантної до контрольованих збурень, модуля прогнозування на основі кубічного сплайну дозволяє значною мірою підвищити ефективність роботи САР і знизити помилки стабілізації в порівнянні з інваріантними САР, де прогнозування ведеться на основі реальних форсуючих ланок. Результати моделювання показали, що інтегрально квадратичний показник якості зменшується в кілька разів. Слід так само відзначити, що ефективність САР з модулем прогнозування по

кубічному сплайну значною мірою залежить від точності завдання часу прогнозування. Але ця залежність має екстремальний характер (рис. 1) і в умовах параметричної невизначеності і нестационарних властивостей ОК оптимальне значення інтервалу прогнозування може бути знайдено автоматично з використанням спеціальних екстремальних пошукових систем.

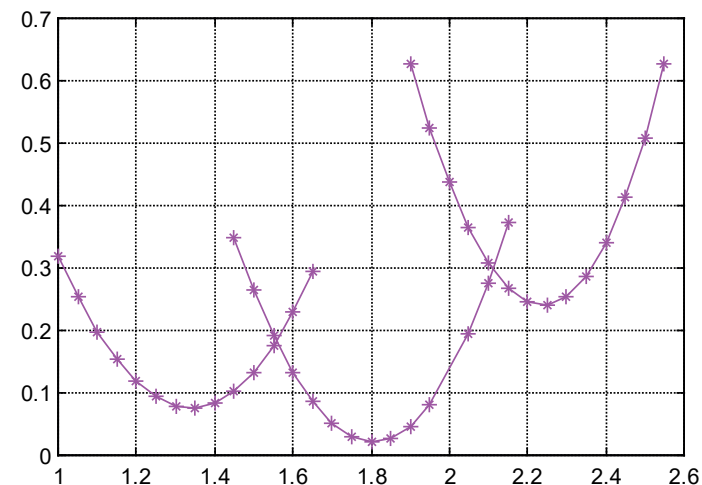


Рис. 1. Залежність критерію оптимальності від інтервалу прогнозування контрольованих збурень в інваріантній САР при різних значеннях нормованого часу запізнювання $\tau_{\text{пк}}^n$ в каналі контрольованих збурень

Структурна схема інваріантної САР з екстремальним пошуковим алгоритмом оптимального значення інтервалу прогнозування $\Delta\tau_{\text{пр}}$ контрольованих збурень представлена на рис. 2.

У якості регулятора $W_p(p)$ будемо використовувати ПІД — регулятор з реальним диференціатором. Модель об'єкта керування, як і в [1], розглянемо зі статичними властивостями і значно різними запізненнями за каналами керування і збурень. На рис.3 представлені нормовані перехідні характеристики віртуальної моделі ОК за каналом керування і каналом контрольованого збурення з ілюстрацією процедури параметричної ідентифікації моделей першого порядку за методикою Мініної.

Передатні функції моделей першого порядку за каналом керування і за каналом контрольованих збурень.

$$W_{uy}(p) = \frac{1.2e^{-3.1p}}{2.2p+1} \quad W_{fky}(p) = \frac{e^{-1.3p}}{1.9p+1}. \quad (1)$$

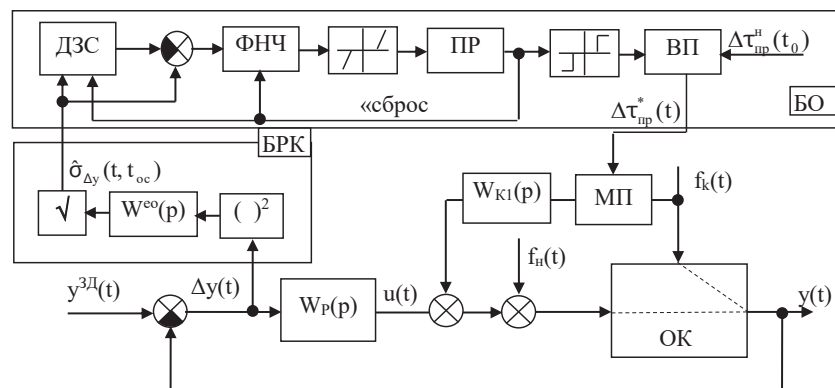


Рис. 2. Структурна схема інваріантної САР з оптимізацією інтервалу прогнозування контрольованих збурень

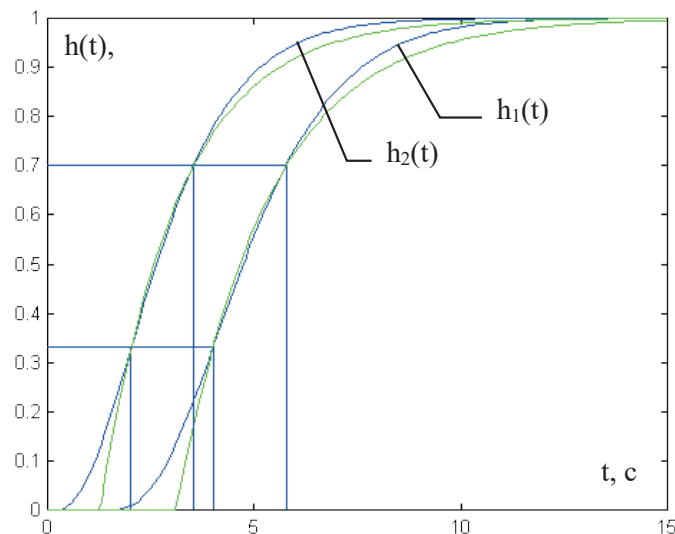


Рис. 3. Ілюстрація процедури параметричної ідентифікації параметрів моделі ОК (методика Мініної) за каналом керування (h1) і за каналом дії контрольованого збурення (h2)

Передатна функція коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$W^k(p) = -\frac{e^{-1.3p}}{\frac{1.9p+1}{1.2e^{-3.1p}}} = \frac{1}{1.2} * \frac{2.2p+1}{1.9p+1} * e^{+1.8p}. \quad (2)$$

Замінімо в (2) ланку чистого випередження на алгоритм прогнозування по кубічному сплайну і виділимо його в окремий модуль прогнозування (МП). Модуль прогнозування по кубічному сплайну будемо реалізовувати на основі виразу:

$$f_{kp}(t + \Delta\tau) = \bar{f}_k(t) + d(t)(t + \Delta\tau)^3 + c(t)(t + \Delta\tau)^2 + b(t)(t + \Delta\tau) + a(t), \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{np} \in [0, \tau_{np}].$$

Тоді, якщо вдасться знайти значення трьох похідних цих оцінок в момент часу $t = t_0$, то оцінки значень коефіцієнтів в (3) визначаються з простих і зручних для розрахунку в реальному часі співвідношень:

$$d(t_0) = \ddot{f}_k(t_0)/6,$$

$$c(t_0) = (\dot{f}_k(t_0) - \ddot{f}_k(t_0)t_0)/2,$$

$$b(t_0) = \dot{f}_k(t_0) - \ddot{f}_k(t_0)t_0 + \ddot{f}_k(t_0)t_0^2/2,$$

$$a(t_0) + \bar{f}_k(t_0) = f_k(t_0) - \dot{f}_k(t_0)t_0 + \ddot{f}_k(t_0)t_0^2/2 - \ddot{f}_k(t_0)t_0^3/6, \quad (4)$$

а прогнозоване на τ_{np} вперед значення контрольованих збурень розраховуються з виразів:

$$f_k(t_0 + \tau_{np}) = d(t_0)(t_0 + \tau_{np})^3 + c(t_0)(t_0 + \tau_{np})^2 + b(t_0)(t_0 + \tau_{np}) + a(t_0) + \bar{y}(t_0),$$

Необхідною умовою роботи алгоритму є триразова диференційованість $f_k(t)$. Ця умова цілком здійсненна, тому що змінні на вході ОК, відфільтровані від шумів, як правило, є багато разів диференційованими.

У розглянутому сплайні розрахунок коефіцієнтів ведеться в припущенні, що в момент t_0 відомі значення самої змінної і всіх необхідних похідних. У разі цифрової реалізації алгоритму керування, а саме вона передбачається як основна, похідні обчислюються за значеннями решітчастої функції $f_k(nT_{kv})$, $n = \overline{0, \infty}$ з кроком квантування T_{kv} .

Для оптимізації інтервалу прогнозування контрольованих збурень структурна схема інваріантної САР з виділеним модулем прогнозу-

вання (МП) [1] була доповнена блоком розрахунку критерію «БРК» і блоком оптимізації «БО». У «БРК» виконується розрахунок оцінки середньоквадратичного відхилення помилки регулювання $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ на ковзному інтервалі часу. Розрахунок $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ виконується методом експоненціального осереднення. У «БО» детектор зростаючого сигналу (ДЗС) перетворює $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ у зворотний сигнал і «пропускає» через себе тільки його зростаюче значення. У тому випадку, якщо сигнал починає зменшуватися, то на виході детектора залишається максимальне значення сигналу. Фільтр низьких частот (ФНЧ) і зона нечутливості (ДТ) служать захистом від шумів, попереджаючи неправильні реверси. Пристрій реверсу (ПР) видає імпульс на 3-позиційне реле, яке змушує виконавчий пристрій (ВП) (інтегратор) змінювати на своєму виході значення $\Delta\tau_{пр}^*(t)$. У момент реверсу через запізнення (його значення відповідає еквівалентному запізненню в каналі керування) видається сигнал «скидання», який обнуляє ФНЧ, і на вихід ДВС записує поточне значення сигналу зворотного $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$.

При замиканні контуру оптимізації ВП починає змінювати інтервал прогнозування $\Delta\tau_{пр}^H$ від початкового значення $\Delta\tau_{пр}^H(t_0)$ в бік збільшення або зменшення в залежності від початкових умов.

Розраховане значення $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ перетвориться у зворотний сигнал і надходить на вхід ДЗС. Якщо напрямок зміни $\Delta\tau_{пр}^H$ вибрано невдало і сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ падатиме, то різниця сигналів на вході в ФНЧ буде збільшуватися і при перевищенні зони нечутливості відбудеться спрацьовування ПР, сформується імпульс на 3-позиційне реле, яке переключиться, і інтегратор почне змінювати сигнал $\Delta\tau_{пр}^H$ в протилежному напрямку. Цей напрямок вже буде правильним. У цьому випадку сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$ буде зростати, а сигнал на вході ФНЧ буде дорівнювати нулю. Це буде тривати до тих пір, поки $\Delta\tau_{пр}^H$ не стане відповідати мінімуму $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$. Оскільки в об'єкті і в пристрої управління є запізнення, то $\Delta\tau_{пр}^H$ буде продовжувати змінюватися в тому ж напрямку. Тоді ДВС перестане пропускати через себе сигнал зворотний $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$, запам'ятавши його максимальне значення. При цьому сигнал на вході ФНЧ почне зростати по модулю. Коли він досягне зони нечутливості, пристрій реверсу сформує імпульс і змінить стан 3-позиційного реле керуючого ВП. Через час запізнення ФНЧ буде обнулено, а на виході ДВС буде записано поточне значен-

ня сигналу зворотного $\hat{\sigma}_{\Delta y}(t, t_{oc})$. $\Delta\tau_{пр}^H$ почне змінюватися в новому напрямку і робота керуючого пристрою повториться.

Дослідження роботи представленої САР проводилися методом імітаційного моделювання в середовищі Simulink. На попередньому етапі досліджень було проведено оптимальний параметричний синтез регулятора і сформована модель контрольованих збурень випадкового характеру з використанням методу формування фільтра. Схема моделювання САР представлена на рис. 4. На рис. 5 і 6 представлені фрагменти моделювання САР.

Висновки. Результати тестування показали, що блок оптимізації ефективно справляється з поставленим завданням. Система з досить високою точністю визначає оптимальні значення інтервалу прогнозу $\Delta\tau_{пр}^{**}$ при різних співвідношеннях часів запізнення в каналі управління і контрольованих збурень ОК. Система ефективно працює як при фіксованих значеннях запізнення (рис. 5), так і при його дрейфі (рис. 6). До недоліків системи можна віднести втрати на пошук, що виникають при її роботі. Зменшити втрати на пошук можна шляхом періодичного включення оптимізації.

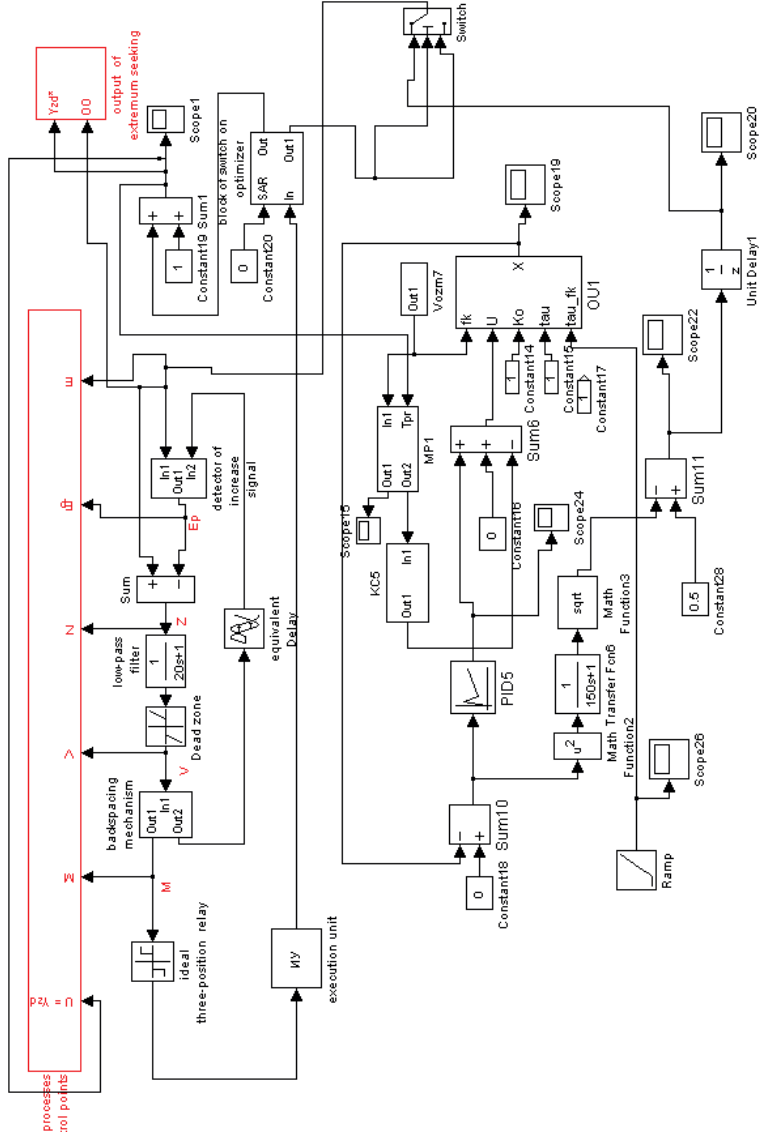


Рис. 4. Схема моделювання інваріантної САР з оптимізацією інтервалу прогнозування контрольованих збурень яка реалізована в середовищі Simulink.

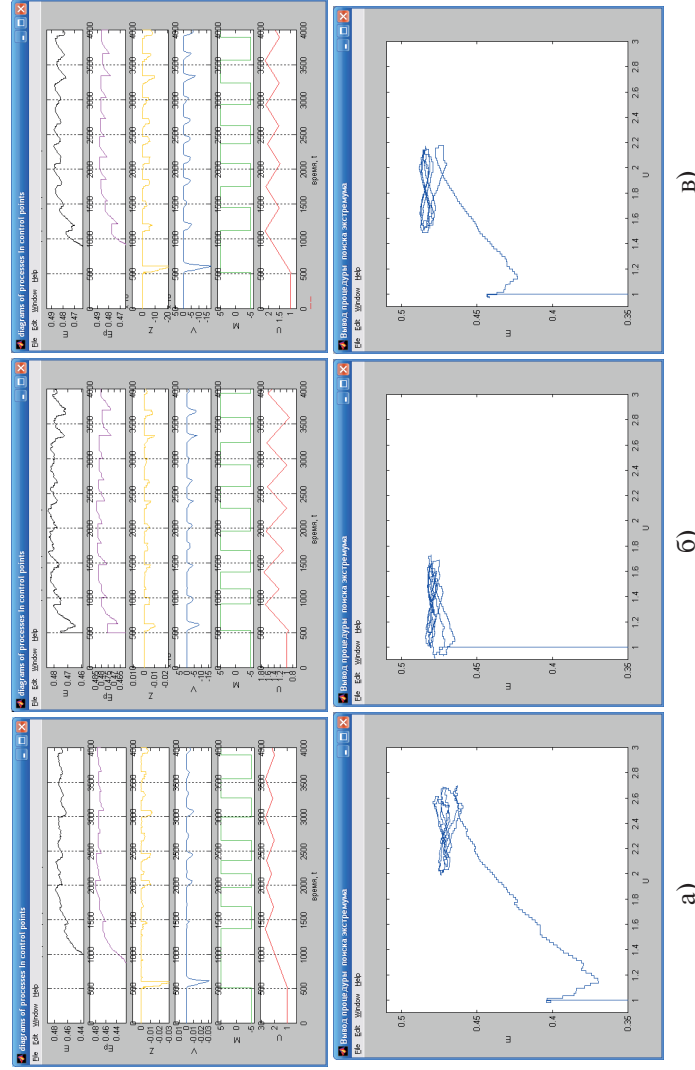


Рис. 5. Відображення процесу пошуку екстремуму в часі і на фазовій площині при моделюванні інваріантної САР з оптимізацією інтервалу прогнозування контрольованих збурень при різних значеннях нормованого часу запізнення τ_{ky}^H в каналі контрольованих збурень (позначення осей графіків відповідають позначенням координат САР на схемі моделювання, Δt^{**} — оптимальне значення інтервалу прогнозу)

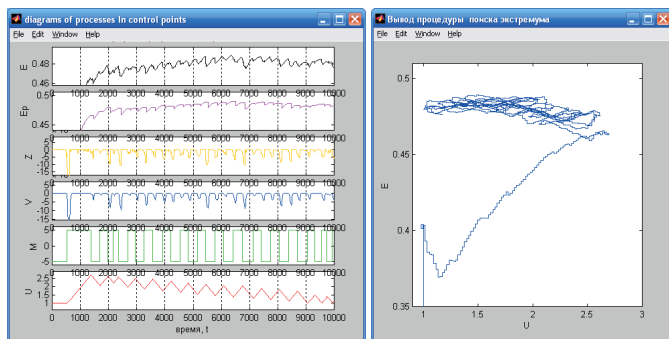


Рис. 6. Відображення процесу пошуку екстремуму в часі і на фазовій площині при дрейфі екстремуму (позначення осей графіків відповідають позначенням координат САР на схемі моделювання)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов М. Т. Система автоматичного регулювання інваріантна до контрольованих збурень з прогнозуванням сигналу корекції по кубічно-му сплайну / М. Т. Степанов, В. А. Хобін // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. — Одеса, 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 67–74.
2. Степанов М. Т. Прогнозирование вынужденного движения и его применение в системах гарантирующего управления / М. Т. Степанов, В. А. Хобін // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. — Одеса, 2011. — № 5–6. — С. 20–25
3. Пикина Г. А., Кузнецов М. С. Прогностические типовые алгоритмы регулирования / Г. А. Пикина, М. С. Кузнецов // Теплоэнергетика. — 2011. — № 4. — С. 61–66.

МЕТОД ПРОГРЕСІЙ ЯК ОСНОВА РОЗРАХУНКУ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ КВАЗІЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Хобін В. А., Гончаренко К. А.

Технологічні процеси реальних об'єктів, які реалізуються зокрема на зернових терміналах, є динамічними з транспортним або перехідним запізненням. Відомо, що підвищення ефективності керування такими об'єктами може дати перехід від лінійних регуляторів до регуляторів зі змінною структурою (квазілінійним). Однак їх застосування на практиці обмежується недостатньою розробкою теорії систем зі змінною структурою (СЗС), що у тому числі ускладнює вирішення завдань аналізу та синтезу таких систем. Принципові труднощі, подолання якої вимагає розробки спеціального методу, полягають у тому, що СЗС одночасно мають властивості лінійних (час перехідного процесу $T_{\text{пер}} \rightarrow \infty$) та релейних (при $T_{\text{пер}} \rightarrow \infty$ кількість перемикань $N_{\text{пер}} \rightarrow \infty$) систем. Вочевидь, що при $N_{\text{пер}} \rightarrow \infty$ метод точкових перетворень, який використовується при аналізі релейних систем, непридатний, а інтегрування рівнянь руху на їх лінійних інтервалах між моментами перемикання призводить до задачі обчислення нескінченної суми інтегралів.

Technological processes of real objects implemented particularly at grain terminals are dynamic with a transport or transient delay. It is known that an increase control efficiency of such objects can result a transition from linear controllers to controllers with variable structure (quasilinear). However in practice its application is limited by insufficient development of the theory of systems with variable structures, which, among other things, complicates the solution of analysis and synthesis problems for such systems. The fundamental difficulty, the overcoming of which requires the development of a special method, is that systems with variable structure simultaneously possess the properties of linear (transient time $T_{\text{per}} \rightarrow \infty$) and relay (with $T_{\text{per}} \rightarrow \infty$ the number of switchings is $N_{\text{per}} \rightarrow \infty$) systems. For $N_{\text{per}} \rightarrow \infty$ method of point transformations used in the analysis of relay systems is obviously inapplicable and the integration of the equations of motion on their linear intervals between switching times leads the problem of calculating an infinite sum of integrals.

Розглянемо «класичний» варіант СЗС (і достатньо простий). Його структурна схема має вид (рис. 1).

В операторній формі ($p \equiv \frac{d}{dt}$) розглядувана СЗС описується системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} y = W_{uy}^o(p)(u + f), W_{uy}^o(p) = \frac{k_0 e^{-\tau_0 p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \\ u = \psi(\Delta y, g) \Delta y, \psi = \begin{cases} k_p^\alpha, \Delta y g > 0 \\ -k_p^\beta, \Delta y g < 0 \end{cases} \\ g = W_g(p) \Delta y, W_g(p) = T_g p + 1 \\ \Delta y = y^{zd} - y \end{array} \right. , \quad (1)$$

де $W_{uy}^o(p), W_g(p)$ — передавальні функції об'єкта керування та формувача функції перемикавання $g(t)$, τ_0 — запізнення, ψ — пропорційний регулятор з коефіцієнтом передачі k_p , знак якого змінюється в залежності від співвідношення знаків похибки регулювання Δy та функції перемикавання $g(t)$. За винятком ψ всі рівняння в (1) є лінійними.

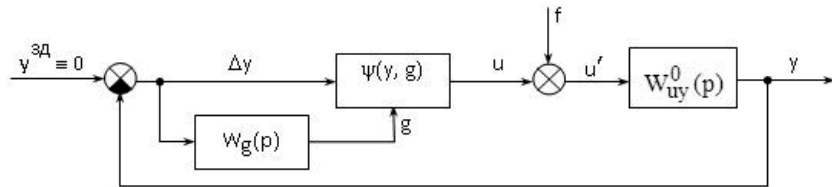


Рис. 1. Структурна схема розглядуваної СЗС

Таким чином, у СЗС (1) можливі дві структури: « α » з від'ємним зворотним зв'язком та « β » з додатним зворотним зв'язком [1]. Для цих фіксованих структур СЗС (1) їх передавальна функція може бути представлена у вигляді:

$$W^{СЗС}(p) = \frac{k_0 e^{-\tau_0 p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + k_0 \psi e^{-\tau_0 p} + 1} . \quad (2)$$

Знаменник (2) є оператором однорідного диференціального рівняння власного руху СЗС (1). Запишемо його у явному вигляді для окремого випадку, коли $\tau_0 = 0$:

$$T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + (k_0 \psi + 1) y(t) = 0 . \quad (3)$$

Характер власного руху СЗС на кожній зі структур визначається коренями $\lambda_{1,2}$ відповідного (3) характеристичного рівняння. Для $n = 2$ вони розраховуються за (4):

$$\lambda_{1,2} = \frac{-T_1 \pm \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2(k_0 \psi + 1)}}{2T_2^2} . \quad (4)$$

Для достатньо великих коефіцієнтів передачі k_p СЗС \rightarrow на α -структурі будуть мати пару комплексно-спряжених коренів, а її фазовий портрет — сімейство збіжних чи розбіжних спіралей. На β -структурі — пару дійсних коренів різних знаків, а її фазовий портрет є сімейством гіпербол з асимптотами (траекторіями стійкого S_c та нестійкого S_n виродженого руху):

$$S_c = y_2 - \lambda_1 y_1, S_c = 0 \rightarrow y_1 = \frac{1}{\lambda_1} y_2, S_n = y_2 - \lambda_2 y_1, S_n = 0 \rightarrow y_1 = \frac{1}{\lambda_2} y_2 ,$$

де $y_1 = y, y_2 = \frac{dy}{dt}$.

Рис. 2–5 ілюструють фазові портрети та відповідні часові діаграми перехідних процесів (ПП) в СЗС для режимів перемикавання ($G > S_c$) та ковзання ($G < S_c$), де $G = g(t) \equiv 0$.

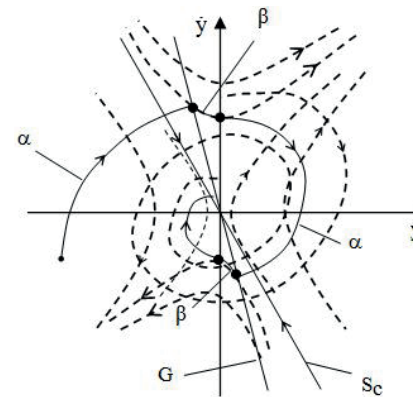


Рис. 2. Фазовий портрет ПП СЗС у режимі перемикавання

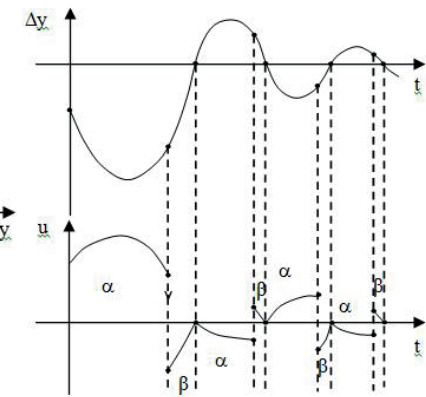


Рис. 3. Часові діаграми ПП СЗС у режимі перемикавання

З рисунків наочно випливає, що розрахунок інтегральних, тобто за час ПП, показників ПП СЗС, наприклад, найпростішого інтегрального квадратичного показника (5), потребує розрахунку нескінченної суми інтегралів, що обчислюються на траекторіях руху послідовно змінюючих один одного α - та β -структур.

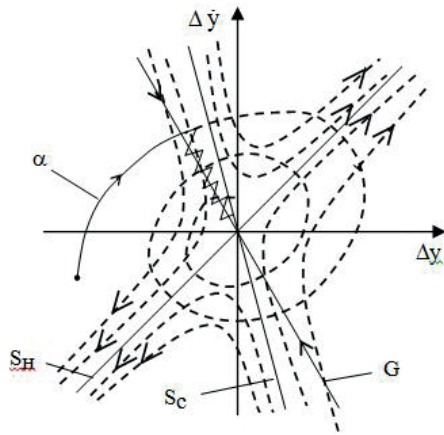


Рис. 4. Фазовий портрет ПП СЗС у режимі ковзання

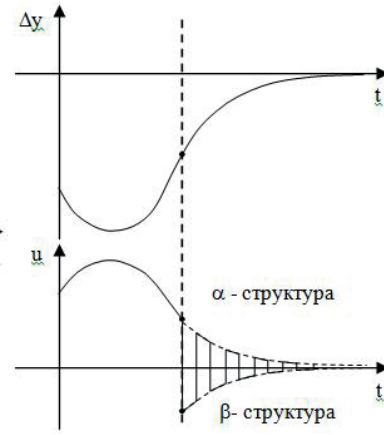


Рис. 5. Часові діаграми ПП СЗС у режимі ковзання

$$I = \int_0^{\infty} (\Delta y(t))^2 dt. \quad (5)$$

Описана ситуація обумовлює принципову складність вирішення задач аналізу та синтезу СЗС. Вона є відображенням того, що СЗС одночасно мають властивості лінійних (час перехідного процесу $T_{\text{ппр}} \rightarrow \infty$) та релейних (при $T_{\text{ппр}} \rightarrow \infty$ кількість перемикачів $N_{\text{ппр}} \rightarrow \infty$) систем. Вочевидь, що при $N_{\text{ппр}} \rightarrow \infty$ метод точкових перетворень, що використовується про аналізі релейних систем, непридатний.

Для подолання цих труднощів нами, поки що в разі вільного руху СЗС, розроблені основи методу «прогресій», який дозволяє розраховувати інтегральні показники якості за фрагментами перехідних процесів. Суть цього методу визначається такими теоремами.

Т е о р е м а 1. Час переходу зображуючої точки по площині (y_1, y_2) з однієї лінії типу $S = y_1 + \theta_s y_2 \equiv 0$, $\theta_s \in (-\infty, +\infty)$ до іншої лінії того ж типу не залежить від початкового положення цієї точки.

Д о в е д е н н я. Позначимо через P_i ($i=1, \infty$) — точки перетину ліній перемикачів з фазовими траєкторіями, що проходить зображуюча точка (ЗТ) у момент перемикачів з однієї структури на іншу; точка P_0 з координатами $(y_1, 0)$ — обране початкове положення. Рівняння руху ЗТ для всіх $\lambda_{1,2}$ при $\tau = 0$ можуть бути отримані рішенням

лінійного диференціального рівняння (3) для кожної зі структур [2]. У результаті маємо:

$$\left. \begin{aligned} y_1(\theta, t) &= -y_2''(\theta) \theta e^{-\frac{t}{\theta}} \\ y_2(\theta, t) &= y_2''(\theta) e^{-\frac{t}{\theta}} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} y_1(\lambda_1, t) &= y_2''(\lambda_1) \frac{1}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} [(\theta \lambda_{12} + 1) e^{\lambda_{11} t} - (\theta \lambda_{11} + 1) e^{\lambda_{12} t}] \\ y_2(\lambda_1, t) &= y_2''(\lambda_1) \frac{1}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} [\lambda_{11} (\theta \lambda_{12} + 1) e^{\lambda_{11} t} - \lambda_{12} (\theta \lambda_{11} + 1) e^{\lambda_{12} t}] \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} y_1(\lambda_2, t) &= y_2''(\lambda_2) \frac{1}{\lambda_{22}} e^{\lambda_{21} t} \sin(\lambda_{22} t) \\ y_2(\lambda_2, t) &= y_2''(\lambda_2) [\cos(\lambda_{22} t) + \frac{\lambda_{21}}{\lambda_{22}} \sin(\lambda_{22} t)] e^{\lambda_{21} t} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

де корені $\lambda_1 = \lambda_{11}, \lambda_{12}$ — дійсні різних знаків, що відповідають β -структурі, $\lambda_2 = \lambda_{21} \pm i \lambda_{22}$ — комплексно-спряжені корені α -структури.

У (6)–(8) $y_2''(\lambda_1), y_2''(\lambda_2)$ визначаються з початкових умов по даній ділянці фазової траєкторії, а вони співпадають з координатами точок P_0 та P_i ($i=1, \infty$). Причому $y_1^0 \in P_0, y_2''(\lambda_1) \in P_1, y_2''(\lambda_2) \in P_2$. Точки P_0 та P_i ($i=1, \infty$) належать лініям $x \equiv 0$, або $y \equiv 0$, або $g \equiv 0$, тому для їх однозначного визначення достатньо однієї з двох фазових координат, що не дорівнює нулю (ця умова вже була використана у (6)–(8)).

Позначимо час переходу ЗТ між точками $P_0 P_1$ через t_0 , $P_1 P_2$ через $t_1, \dots, P_n P_{n+1}$ через t_n . Враховуючи, що «кінцеві» умови «попередньої» (n -ї) фазової траєкторії співпадають з початковими умовами «подальшої» ($(n+1)$ -ї) фазової траєкторії руху, запишемо координати «початкових» точок P_i'' за умовою, що точка P_0 має координати $(y_1, 0)$, де $y_1 \neq 0$. Тоді при $t = 0, \infty$ отримаємо:

$$y_1^1 = y_1^0 \frac{1}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} [\lambda_{11} (\theta \lambda_{12} + 1) e^{\lambda_{11} t_0} - \lambda_{12} (\theta \lambda_{11} + 1) e^{\lambda_{12} t_0}] = y_1^0 A_1, \quad (9)$$

$$y_2^2 = -y_1^0 A_1 \frac{1}{\lambda_{22}} e^{\lambda_{21} t_1} \sin(\lambda_{22} t_1) = y_1^0 A_1 A_2, \quad (10)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$y_1^{2l+1} = y_1^0 A_1 \cdot \dots \cdot A_{2l-1} \frac{1}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} \times$$

$$\times [\lambda_{11} (\theta \lambda_{12} + 1) e^{\lambda_{11} t_{2l}} - \lambda_{12} (\theta \lambda_{11} + 1) e^{\lambda_{12} t_{2l}}] = y_1^0 A_1 \cdot \dots \cdot A_{2l}, \quad (11)$$

$$y_2^{2l+2} = -y_1^0 A_1 A_1 \cdot \dots \cdot A_{2l} \frac{1}{\lambda_{22}} e^{\lambda_{21} t_{2l+1}} \sin(\lambda_{22} t_{2l+1}) = y_1^0 A_1 \cdot \dots \cdot A_{2l+1}. \quad (12)$$

Послідовно, починаючи з $(n+1)$, розв'язавши спільно рівняння прямої та фазової траєкторії (7)–(8), котрим належить P_n , а початковими умовами є координати точок P_{n-1} з (9)–(12), знайдемо час t_n , тобто $t_{2l}, t_{2l+1}, t_{2l+2}$ та отримаємо, що для кожного l виконується:

$$t_{2l+1} = t_1 = t_0, t_{2l+2} = t_2, \quad (13)$$

причому t_1, t_2 не залежать від y_1^0 .

Вище ми прийняли, що лінії типу S співпадають з лініями перемикавання $x \equiv 0$, $y \equiv 0$, $g \equiv 0$. Разом із тим, (13) залишається справедливим і тоді, коли S довільна тому, що будь-яка лінія S може бути лінією перемикавання при виконанні умов $\theta = \theta_s$. Якщо за час $t(S_1, S_2)$ руху ЗТ від S_1 до S_2 вона потрапляє на лінії перемикавання, то цей час може бути розрахований як сума відрізків часу руху між моментами перемикавання, що не залежать від початкового положення ЗТ. Оскільки значення параметрів y_1^0 та θ довільні, то теорема 1 доведена.

Т е о р е м а 2. Послідовності фазових координат, що відповідають почерговому перетину зображуючою точкою фіксованої лінії типу в S , утворюють геометричну прогресію.

Д о в е д е н н я . Підставляючи (13) у (9)–(12) та порівнюючи між собою вирази з номерами $(2l+1)$ та $(2l+2)$ відповідно для всіх l , отримаємо:

$$A_1 = A_3 = \dots = A_{2l+1} = \frac{1}{\lambda_{12} - \lambda_{11}} [\lambda_{11} (\theta \lambda_{12} + 1) e^{\lambda_{11} t_0} - \lambda_{12} (\theta \lambda_{11} + 1) e^{\lambda_{12} t_0}], \quad (14)$$

$$A_2 = A_4 = \dots = A_{2l+2} = \frac{1}{\lambda_{22}} e^{\lambda_{21} t_1} \sin(\lambda_{22} t_1). \quad (15)$$

З урахуванням (14)–(15) з (7)–(8) та (9)–(12) випливає, що для фазових координат точок P_i та точки P_0 , що відповідають послідовному

перетину ЗТ ліній $x \equiv 0$, $y \equiv 0$, $g \equiv 0$ фазової площини (y_1, y_2) , виконуються співвідношення:

$$\frac{y_1^2}{y_1^0} = \dots = \frac{y_1^{2(l+1)}}{y_1^{2l}} = \dots = \frac{y_1^3}{y_1^1} = \dots = \frac{y_2^{2(l+1)+1}}{y_2^{2l+1}} = \dots = A_1 A_2 = \zeta. \quad (16)$$

Співвідношення (16) відображає властивість геометричних прогресій зі знаменником ζ . Тож (16) є доведенням теореми у випадку, коли S співпадає з однією із ліній перемикавання. З міркувань, що приведені у кінці доведення теореми 1 та на її основі, теорема 2 доведена для довільної лінії S .

Розглянутий метод дозволить у тому числі створити прикладні методики для обґрунтованого вибору конкретного варіанту (структури) СЗС та її параметричної оптимізації. Це у свою чергу дозволить більш обґрунтовано вести розробку САК для конкретних технологічних об'єктів із запізненням у цілях підвищення ефективності їх функціонування. У випадку зернових терміналів такий підхід повинен підвищити продуктивність технологічних ліній приймання та перевантаження зерна на морські судна, збільшуючи при цьому пропускну здатність терміналів і знижуючи питомі енерговитрати на перевантаження.

Розвиток методу прогресій пов'язаний із розширенням його застосування на випадок ПП, що викликаються зовнішніми збуреннями f , та для більш складних варіантів СЗС [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Емельянов С. В. Системы автоматического управления с переменной структурой, М.: Наука, 1967. 336 с.
2. Руткас А. Г. О классификации и свойствах решений уравнения $Ax' + Bx = f(t)$ // Диф. уравнения. — 1989. — 25, № 7. — С. 1150–1155.
3. Хобин В. А. Регулятор переменной структуры для объектов технологического типа // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — Херсон: Херсонский государственный технический университет, 2004. — № 1 (13). — С. 190–196.

Розділ III

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

THE MAIN DIFFERENCES BETWEEN TYPES OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES

Boitsova O., Boitsova M.

One of the most exciting developments in printing technology history, 3D printing is becoming more affordable for professional and domestic users. Modern 3D printers are capable of producing 3D objects and items using high quality resin. The article shows the main differences between 3D printing technologies, advantages and disadvantages of utilizing one or another technology.

Як одна з захоплюючих розробок в історії технологій, 3D-друк стає більш доступним для професійних та звичайних користувачів. Сучасні 3D-принтери здатні створювати 3D-об'єкти, використовуючи високоякісні матеріали. Розділ показує основні відмінності між технологіями 3D-друку, а також переваги та недоліки у використанні тієї чи іншої технології.

There are various 3D printing methods which were developed to build 3D structures and objects. A number of them are prevalent nowadays, and a few have fallen by the wayside.

There are seven different types of 3D printers

1. Fused deposition modeling (FDM)
2. Stereolithography (SLA)
3. Digital Light Processing (DLP)
4. Selective Laser Sintering (SLS)
5. Selective laser melting (SLM)
6. Laminated object manufacturing (LOM)
7. Digital Beam Melting (EBM)

Fused deposition modeling (FDM)

FDM technology is currently the most popular 3D printing technology and used in both affordable 3D printers and even 3D pens, which we happen to specialize in.

This technology was originally developed and implemented by Scott Crump from Stratasys, founded, in the 1980s. Other 3D printing companies

have embraced similar technology but under different names. A well-known manufacturer MakerBot coined a virtually identical technology, calling it Fused Filament Fabrication (FFF).



Fig. 1. The result of FDM technology printing

With the assistance of FDM, you can print not just operational prototypes, but also ready-for-use products such as Lego, plastic gears and much more.

What's great about this technology that all components printed with FDM can go in high performance and engineering-grade thermoplastic, which is quite beneficial for mechanic engineers and manufacturers.

FDM is the only 3D printing technology which uses production-grade thermoplastics, so items printed have excellent mechanical, thermal and chemical attributes.

3D printers which use FDM Technology construct objects layer by layer from the very bottom up by heating and extruding thermoplastic filament. The whole process is somewhat similar to stereolithography. Specialized programs or Slicers "cut" CAD models into layers and computes the manner printer's extruder would assemble each layer.

In addition to thermoplastic, a printer may extrude support materials too. Then the printer heats thermoplastic until its melting point and extrudes it throughout nozzle on a printing bed, which you may know as a build platform or a desk, on a predetermined pattern determined by the 3D model and Slicer software.

The Slicer software running on the computer connected to the 3D printer translates the measurements of an object into X, Y, and Z coordinates and controls the nozzle and the foundation follow calculated route during printing.

When the thin layer of plastic binds to the layer beneath it, it melts and hardens. When the layer is completed, the base is lowered (as shown in step 5) to accommodate the printing of the next layer, this is shown in steps 1 to 5 in the diagram below.

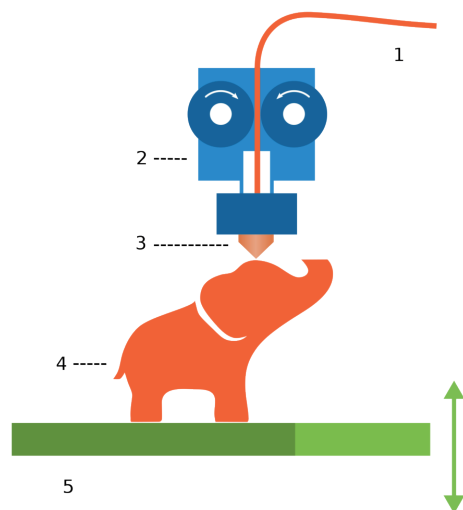


Fig. 2. The full FDM process in 5 steps

Printing time depends upon size and complexity of your model. Small objects can be completed relatively quickly, while larger, more intricate parts need more time. When compared to SLA, FDM has a slower printing speed.

When the printing is finished supporting materials can readily be removed either by putting an object into a detergent and water solution or snapping the support material off by hand.

Nylon is typically used as a support material and can be dissolved in acetone. Read more about this process in our article about the various types of 3D printer filaments. Then objects may also be painted, plated or even hammered afterward.

FDM technology is widely spread today, and used in industries such as automobile manufacturers, food producers, and toy manufacturers.

FDM is used for new product development, prototyping and even in end-product manufacturing. This technology is considered simple-to-use and environment-friendly. Through the use of this 3d printing method, it became possible to construct objects with complex geometries and cavities.

We can use many different types of thermoplastics with FDM printers. The most common of these are ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) and PLA (Polylactic Acid) plastic. Additionally, there are several kinds of support materials such as water-soluble wax or PPSF (polyphenylsulfone).

Pieces printed with this technology have excellent mechanical strength and heat resistance, allowing you to use printed models as functional prototypes.

FDM is widely for the production end-user goods. We are specifically referring to small, detailed components and technical manufacturing tools. Some thermoplastics (such as PLA, which is non-toxic) may even be utilized in food and drug packaging, making FDM a favorite 3D printing method within the medical sector.

Stereolithography (SLA)

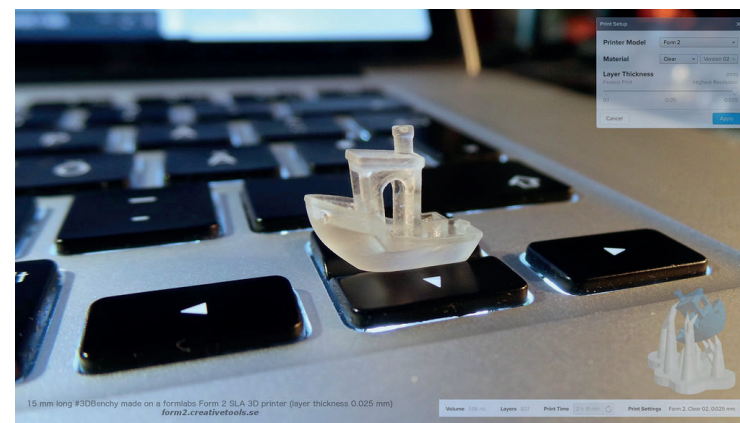


Fig. 3. The result of SLA technology printing

SLA is a 3d printing method which could be used to execute your projects that involve the 3D printing of items. Although this process is the earliest one in the history of 3D printing, it is still in use today.

The idea and application of this method are amazing. Whether you're a mechanical engineer, who wants to confirm whether the part can fit your design or creative individual who wishes to print a plastic prototype for a fresh upcoming project, Stereolithography can truly bring your 3D models to life.

SLA printing machines do not function like normal desktop printers that extrude some quantity of ink to the surface. SLA 3D printers operate with an excess of liquid plastic that after a while hardens and forms to a solid object.

Parts printed by stereolithography 3D printers usually have smooth surfaces, but its quality depends on the quality of SLA printer used.

After the plastic hardens a stage of the printer drops down in the tank a fraction of a millimeter and laser forms another layer until printing is finished. After all, layers are printed, the item has to be rinsed using a solvent and then put in an ultraviolet oven to complete processing.

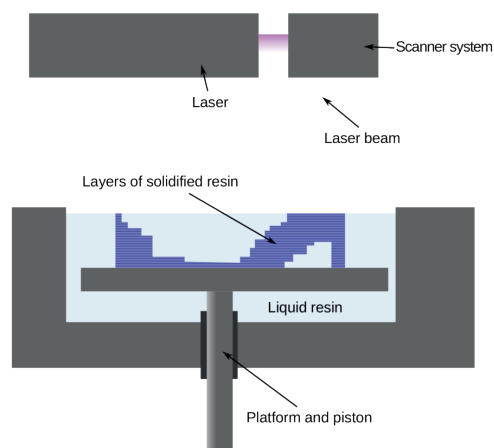


Fig. 4. SLA printing process explained

The time required to print an object depends upon the size of the SLA 3d printer utilized. Small items can be printed within 6–8 hours using a basic kid's 3D printer, while large 3d prints can be several meters in 3 dimensions and printing time could be up to several days long.

Digital Light Processing (DLP)

DLP is another 3D Printing process quite much like stereolithography. The DLP technology was made in 1987 by Larry Hornbeck of Texas Instruments and became well known for its use in the production of projectors.

It utilizes digital micromirrors laid out on a semiconductor chip. The technology is found in mobile phones, film projectors, and, of course, in 3D printing.

For 3D printing, both DLP and SLA functions with photopolymers. However, the difference

between SLA and DLP technology is that DLA requires an additional source of lighting.

3D printing amateurs frequently use more traditional sources of lights like arc lamps for DLP printing.

The other important piece of the DLP puzzle is an LCD (liquid crystal display) panel, which gets applied to the entire surface of the 3D printed layer during a single run of the DLP procedure. The substance used for printing is a liquid plastic resin that's set in a transparent resin container.

The resin hardens quickly when exposed to a lot of photons, or more simply put, bright light.

The printing speed for DLP is the kicker. A layer of hardened material can be produced with this kind of printer in few seconds. After the layer is completed, it is transferred, and printing of the next layer is started.

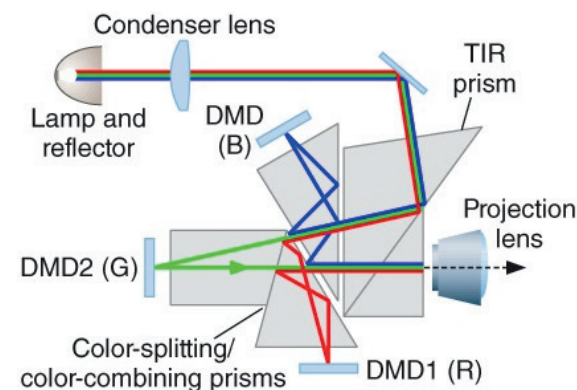


Fig. 5. How does DLP works

Selective Laser Sintering (SLS)

SLS is a technique that uses a laser as power supply to form strong 3D printed objects. This technique was developed by Carl Deckard, a pupil of Texas University, and his professor Joe Beaman in the late 1980s.

Later on, they participate in base of Desk Top Manufacturing (DTM) Corp., that was sold to its large competitor 3D Systems in 2001. As was mentioned previously, 3D systems Inc. developed Stereolithography (SLA), which per chance happened to be extremely similar to Selective Laser Sintering (SLS).

The most notable difference between SLS and SLA is that it uses powdered material in the vat rather than liquid resin in a cube, like SLS does.

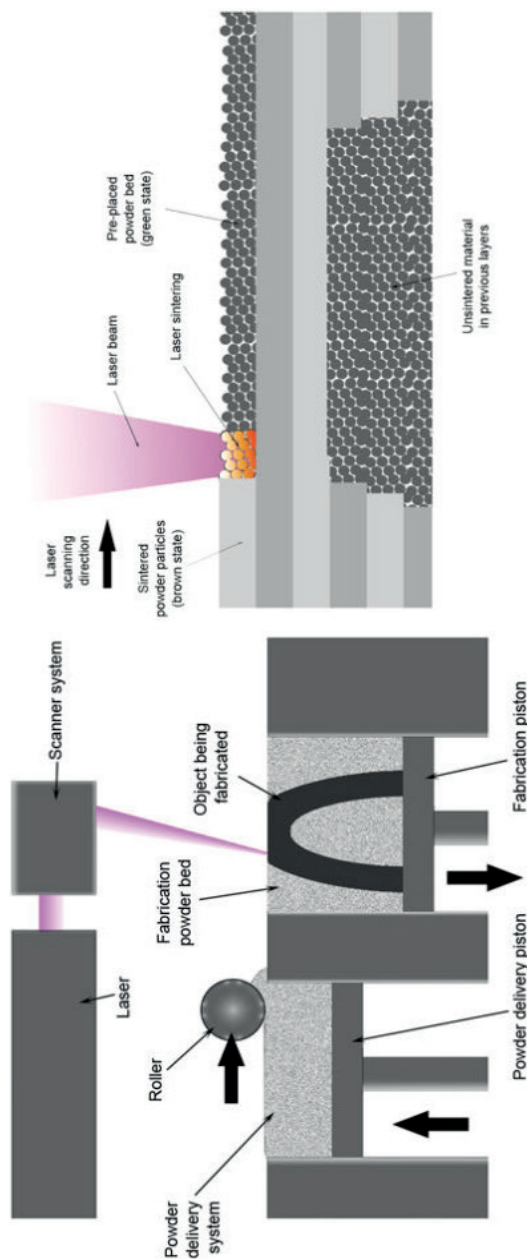


Fig. 6. How SLS works

Unlike some other additive production processes, such as FDM and SLA, SLS does not have to use some other support structures as the object being printed is surrounded by unsintered powder.

Like the rest of the methods listed above the method begins with the creation of a computer-aided design (CAD) file, which then has to be converted into.stl format with special applications. The material used for printing can range from nylon, glass and ceramics to some metals such as aluminum, silver or steel.

Due to large selection of materials which may be used with this sort of 3d printer that the technology is quite popular for 3D printing customized goods.

SLS is more dispersed among manufactures instead of 3D amateurs at home as this technology requires using high-powered lasers, resulting in these printers being rather expensive.

That being said, there are quite a few startups working on cheap SLS printing machines. For example, recently Andreas Bastian has shared details about his SLS printer (in development) which uses wax and carbon for printing. Another fantastic example is the Focus SLS printer which can be easily used at home requirements and originally was presented at Thingiverse.

Selective laser melting (SLM)

Selective laser melting (SLM) is a technique that also uses 3D CAD data as a source and forms 3D object by means of a high-power laser beam that fuses and melts metallic powders together. In many sources SLM is considered to be a subcategory of selective laser sintering (SLS). But this is not so true as SLM process fully melts the metal material into solid 3D-dimensional part unlike selective laser sintering. The history of SLM started with German research project held by group of Fraunhofer Institute ILT in 1995.

Similarly, to other 3d printing methods CAD file needs to be processed by special software to slice the CAD file information into 2D layers. The file format used by printing machine is also a standard.stl file. Right after the file is loaded the printing machine's software assigns parameters and values for construction of the path.

The fine metal powder is evenly distributed onto a plate, then each slice of 2D layer image is intensively fused by applying high laser energy that is directed to the powdered plate. The energy of laser is so intense that metal powder melts fully and forms a solid object. After the layer is completed the process starts over again for the next layer. Metals that can be used for SLM include stainless steel, titanium, cobalt chrome and aluminum.

This method of printing is widely applied to parts with complex geometries and structures with thin walls and hidden voids or channels. Lots of pioneering SLM projects were dedicated to aerospace application for different lightweight parts. SLM is great for project that experience such kind of problems like tooling and physical access difficulties to surfaces for machining, as well as restrict the design of components. The technology is not widely spread among at-home users but mostly among manufactures of aerospace and medical orthopedics. But the whole process of acceptance, certification and final approval takes some time which results in long time for development and qualification for this technology.

Laminated Object Manufacturing (LOM)

Laminated object manufacturing (LOM) is one more rapid prototyping system that was developed by the California-based company Helisys Inc.

During the LOM process, layers of adhesive-coated paper, plastic or metal laminates are fused together using heat and pressure and then cut to shape with a computer-controlled laser or knife. Post-processing of 3D printed parts includes such steps as machining and drilling.

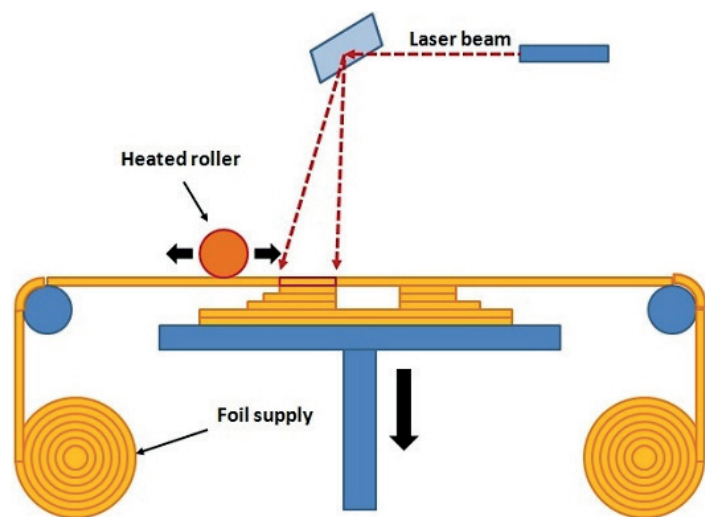


Fig. 7. The process of LOM printing

The LOM process includes several steps. Firstly, CAD file is transformed to computer format, which are usually STL or 3DS. LOM printers use continuous sheet coated with an adhesive, which is laid down across substrate

with a heated roller. The heated roller that is passed over the material sheet on substrate melts its adhesive. Then laser or knife traces desired dimensions of the part. Also, the laser crosses hatches of any excess material in order to help to remove it easily after the printing is done.

After the layer is finished, the platform is moved down by about one-sixteenth of an inch. A new sheet of the material is pulled across substrate and adhered to it with a heated roller. The process is repeated over and over again until 3D part is fully printed. When any excess material has been cut the part can be sanded or sealed with a paint. If paper materials were used during printing, then the object would have wood-like properties, which means it needs to be protected from moisture. So, to cover it with a lacquer or paint might be a very good idea.

Probably LOM is not the most popular 3D printing method but one of the most affordable and fastest. The cost of printing is low due to not expensive raw materials. Objects printed with LOM can be relatively big, that means that no chemical reaction needed to print large parts.

Currently Cubic Technologies, the successor to Helisys Inc., is the main manufacturer of LOM printers. There are not too many companies these days that work with LOM technology. But it's worth mentioning the Irish company Mcor Technologies Ltd. that sells LOM 3D printers. Their devices are widely being used by artists, architects and product developers to create affordable projects from usual letter paper.

The printers that are being sold by Cubic Technologies for home use are pretty expensive comparing to Makerbot Replicator or 3D System's Cube devices. However, printers from Mcor Technologies can become more popular in the nearest future, as they came to partnership with office supplier retailer Staples. They offer in-store printing services including printing of predefined parts like phone cases, pens, jewelry and many other useful things. Also, there can be custom objects ordered that would be based on customer's own design.

Electronic Beam Melting (EBM)

EBM is another type of additive manufacturing for metal parts. It was originally coined by Arcam AB Inc. in the beginning of this century. The same as SLM, this 3d printing method is a powder bed fusion technique. While SLM uses high-power laser beam as its power source, EBM uses an electron beam instead, which is the main difference between these two methods. The rest of the processes is pretty similar.

The material used in EBM is metal powder that melts and forms a 3D part layer by layer by means of a computer, that controls electron beam in

high vacuum. Contrary to SLS, EBM goes for full melting of the metal powder. The process is usually conducted under high temperature up to 1000 °C.

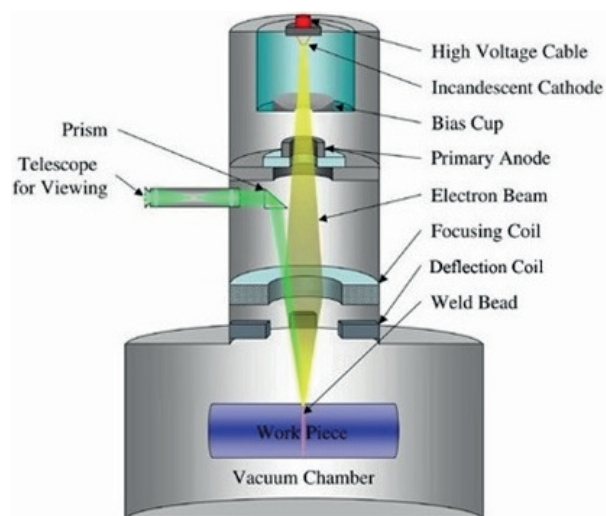


Fig. 8. The EBM 3D printer

Comparing to SLM the process of EBM is rather slow and expensive, also the availability of materials is limited. So, the method is not so popular though still used in some of manufacturing processes. Currently the most well spread materials that are used for EBM are commercially pure Titanium, Inconel 718 and Inconel 625. The application of EBM is mainly focused on medical implants and aerospace area.

In conclusion, FDM, SLA and SLS printing technologies are the most common in comparison with other due to their printing quality and fairly low cost. FDM is best for basic proof-of concept models and simple prototyping. For example, it can be used for printing small copies of intricate models, for demonstrations etc., but it has low resolution and accuracy of printing. FDM is widely used exactly at the customer level.

SLA is best for functional prototyping, patterns, molds and tooling. It provides highest resolution and can be used for producing if fine details. Students can use this technology for their more serious projects, but it will cost much more than making a model with FDM printer. SLA is a great option for highly detailed prototypes requiring tight tolerances and smooth

surfaces, such as molds, patterns, and functional parts. SLA is widely used in a range of industries from engineering and product design to manufacturing, dentistry, jewelry, model making, and education.

SLS is best for custom manufacturing, and, like SLA, for functional prototyping. It has the highest productivity and doesn't need any supporting constructions like FDM and SLA. The combination of low cost per part, high productivity, and established materials make SLS a popular choice among engineers for functional prototyping, and a cost-effective alternative to injection molding for limited-run or bridge manufacturing.

REFERENCES

1. What is 3D printing? [Electronic resource]. Access mode: <https://3dprinting.com> (date of access 11.10.2020). screen title
2. 3D printing technologies [electronic resource]. Access mode: <https://3d-printingindustry.com> (date of access 10.10.2020). screen title
3. Redwood B. The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications / B. Redwood, F. Schoffer, B. Garret. November 14, 2017. P. 768.
4. 3D Concrete Printing Technology: Construction and Building Applications / A. Nazari, Jay G. Sanjayan, Behzad Nematollahi. February 12, 2019. P. 425.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR DETERMINATION OF THE FOREIGN LANGUAGE PROFICIENCY LEVEL

Borysova N. V., Melnyk K. V., Yershova S. I.

Розглянуто принципи роботи та функціональні можливості інформаційної системи для визначення рівня володіння німецькою мовою. Система може перевіряти такі три аспекти володіння німецькою мовою, як Leseverstehen, Hörverstehen, Schriftlicher Ausdruck, для чого використовуються різні типи питань та тестових завдань. З системою можуть працювати два типи користувачів: адміністратор-викладач, який може працювати з базою тестових завдань та оцінювати роботи користувачів; та користувач, який може проходити тестування. Користувач може працювати з системою у двох режимах: якщо хоче визначити свій рівень володіння німецькою мовою (режим адаптивного тестування) та якщо хоче визначити, чи відповідає його рівень володіння німецькою мовою певному рівню, який він може сам і обрати (режим рівневого тестування). Для збереження тестових завдань та результатів тестування користувачів застосовується база даних. В якості

архітектури інформаційної системи було обрано трирівневу клієнт-серверну архітектуру.

This article deals with the principles of operation and functionality of the information system to determination the German language proficiency level. The system can test three aspects of German language proficiency such as Leseverstehen, Hörverstehen, Schriftlicher Ausdruck, using different types of questions and test tasks. Two types of users can work with the system: administrator is a teacher who can work with the database of test tasks and can evaluate the users' works; and a user who can be tested. There are two modes of the system: when user wants to determine German language proficiency level (adaptive test mode) and when he/she wants to determine whether his level of German language proficiency corresponds to a chosen certain level (level test mode). A database is used to store test tasks and user's test results. A three-level client-server architecture was chosen as the information system architecture.

In the current realities of globalization of society, knowledge of a foreign language becomes a necessary skill for people who interact with people from other countries. Modern employers pay considerable attention to the language skills of their employees. The candidates for vacant positions in companies that work with foreign partners should pass tests for knowledge of a foreign language. However, if a candidate has a relevant international certificate, it will increase his / her chances of employment compared to other candidates. To obtain an international certificate you must successfully pass an international exam. The most famous and popular exams for English are TOEFL and IELTS, for German are Goethe-Zertifikat, TestDAF, TELC Deutsch [1]. Anyone can pass these exams personally in specialized licensed centers. However, the 2020 pandemic has brought the significant changes to the lives of people around the world. It would be good to be able to take these exams remotely in synchronous and / or asynchronous mode to protect those who wants to take the exam, as the risk of infection remains, if a person will use public transport or intercity transport to get to the examination center. In addition, the remote passing of the exam eliminates unnecessary contact with other people, which reduces the risk of infection. It is clear, that the remote format of the exams requires the special software. Available testing tools and services do not provide all the necessary functionality or do not take into account the specifics of the language exam. Therefore, the aim of our study is to develop the information technology for determining the foreign language proficiency level. To achieve this goal, we focus on pan-European regulations that provide recommendations for language education [1] and for the development and use of language tests [2].

The work [1] shows, that the CEFR has been developed to provide a common basis for the explicit description of objectives, content and methods in second/foreign language education. This document uses an action-oriented approach, which describes language learning outcomes in terms of language use. It has three principal dimensions: language activities, the domains, and the competences. The document [1] describes the dividing language activities into four kinds: the reception (listening and reading), the production (spoken and written), the interaction (spoken and written), and the mediation (translating and interpreting). It provides a taxonomic description of four domains of language use: public, personal, educational, professional. It specifies locations, institutions, persons, objects, events, operations, and texts for each domain [1]. The CEFR defines the six common reference levels for the reception, the production, the interaction, and some competences (Fig. 1), using «can do» descriptors to define the learner/user's proficiency at each level. The common reference levels provide a basis for comparing second/foreign language curricula, textbooks, courses and exams. Together with the rest of the CEFR's descriptive apparatus, they can also be used to support the design of curricula, teaching programs, learning materials, and assessment instruments [1].

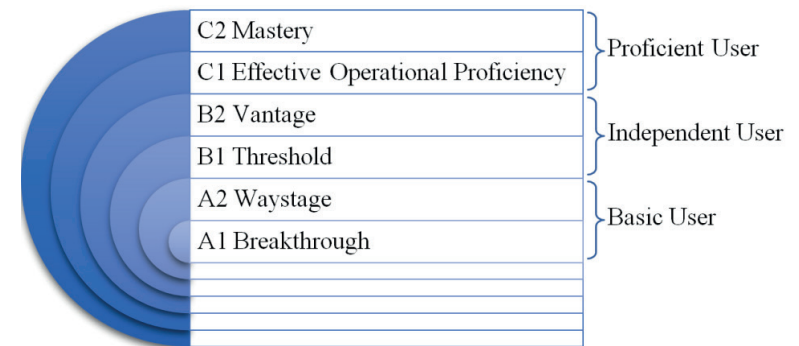


Fig. 1. Six level of foreign language proficiency

The work [2] describes the using the document [1] for anyone interested in developing and using language tests which relate to the CEFR. It introduces common principles which apply to language testing generally. It assumes that tests developers are already familiar with the CEFR, or will be ready to use it together with [2] during the developing and using tests. The stages of test development and usage are presented in [2] (Fig. 2).

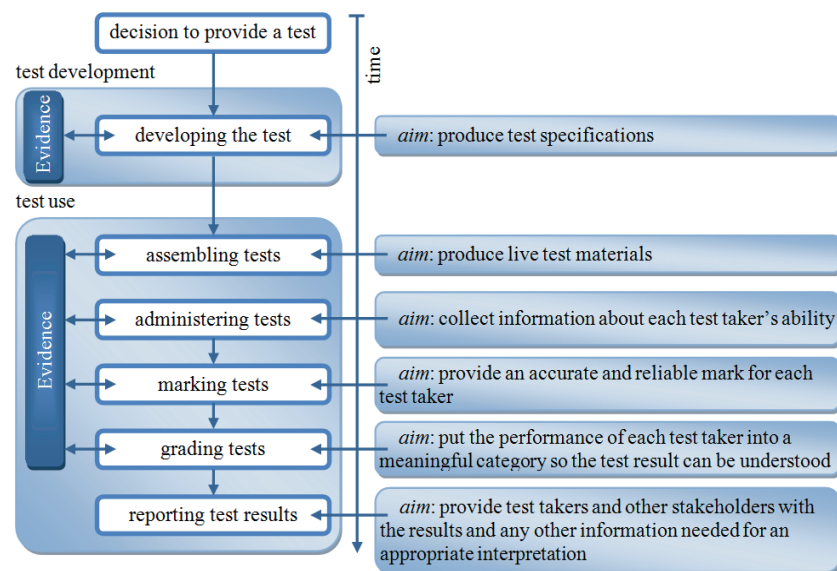


Fig. 2. The stages of test development and usage

These stages form a cycle where success in one stage depends on the outcomes of the preceding stage. The process of construction of a new test starts with a decision to provide a test, which may be made by the test provider, or someone else, such as a head teacher, an administration office or ministry. The stage of test development comes next, followed by those stages connected with test use. The completion of each stage depends on the completion of many smaller tasks within that stage. The tasks are solved to achieve the aims listed in the boxes on the right of the diagram. A time line shows that these stages follow each other consecutively because the output from one stage is required for starting the next stage. After the test has been developed, the stages of test's use may be repeated many times using the output (test specifications) from the test development stage. It allows producing of many equivalent forms of the same test [2]. According to this scheme, our tests have been developed. Because different aspects of language proficiency are tested in the language test, the different types of tasks must be used in the tests. These tasks must have different levels of complexity as well. In our case, the level of complexity is the level of foreign language proficiency in accordance with the document [1], namely A1, A2, B1, B2, C1, and C2. Of course, before creating new information sys-

tem, the detailed analysis of existing online systems, tools and services, that solve the same problem, should be done. That analysis is given in [3]. The following websites were considered: the websites of world-renowned organizations for German-language education, such as the Goethe-Institut, the TELC Association and the TestDaF Institute, which are the developers of worldwide recognized international exams such as Goethe-Zertifikat exams from level B2 to C2, TELC Deutsch from level A1 to C1, Test DAF respectively. It was found that, they don't have online testing systems of full value. Only the website of the Goethe-Institut has online short test of 30 questions to determine their level of language proficiency. However, if you want to pass this test again, you will get exactly the same set of questions. That is why a user can use this test only for self-examination. The websites of other organizations present the test materials in the form of copybooks with test questions. The one copybook consists of questions corresponding to one level of German language proficiency and keys for correct answers. The sites also have audio and video files to check such aspects of German language proficiency as *Hörenverstehen*. All these materials can be downloaded. So, the user should download the required materials, print them as he/she wish, answer questions, compare own answers with the keys and determine according to the relevant instructions of the developers, whether his/her level of German language proficiency corresponds with the level specified in the copybook. We have analyzed not only the sites of the above-mentioned organizations, which provide an opportunity to determine online the level of German proficiency. Such websites contain a small database of questions, the questions are often the same, the user's activity is not characterized by variety, some sites give the test result without a detailed analysis of user answers, and in addition, different sites use the same questions [3]. Thus, the conducted analysis allowed us to determine the direction of development of our information system and also the requirements for it, namely:

- a database should consist of large number of test tasks, so that when re-taking the test the user received other questions;
- IS should have a variety of test tasks, ie the ability to add different types of questions in order to diversify the user's activities;
- IS should have a module for checking the various aspects of German language proficiency, such as *Leseverstehen*, *Hörenverstehen*, *Schriftlicher Ausdruck*, in the future the module to check the fourth aspect such as the *Mündlicher Ausdruck* can also be added, in order to user can connect with the teacher in real time by videoconference for a conversation;

- the ability to add audio and video files to test the *Hörenverstehen* aspect;
- the user can work with the system in two modes: if the user wants to determine his level of German language proficiency and if the user wants to determine whether his level of German language proficiency corresponds to a certain level, which he can choose;
- the ability of getting results immediately (first mode) or after checking the performed tasks by the teacher (second mode);
- the ability of conducting the detailed analysis of test results and providing recommendations for further activities to learn the German language;
- the ability to work with *IS* for the user only after successful registration, which allows many users to work with the system on one computer or other device;
- the ability of reviewing of all test results by user to assess own progress;
- the ability of the teacher of viewing all test results by all users in the system, which will allow to accumulate statistics of test results for further analysis;
- the possibility of establishing a level of complexity for questions;
- intuitive and friendly user interface.

Also the requirements for our own information system are presented in [4; 5].

Several types of questions have been uploaded to the system database to check different aspects of German language proficiency. To check the *Leseverstehen* aspect, the user is offered several texts, open and closed questions to these texts. For instance, the user should enter his own answer, or select one correct answer from the offered one, or choose the statement is true or not. To check the *Hörenverstehen* aspect, the user is offered several audio and video recordings and open and closed questions to these recordings. The variances of user's actions are similar to previous case. To check the *Schriftlicher Ausdruck* aspect, which is checked only when user worked with the system in the second mode, the user has to write an essay on the proposed topic in the appropriate field, a brief description of the topic is provided directly in the task.

As mentioned earlier, the user can work with the system in two modes: if he wants to know his level of German language proficiency (*Adaptive Test mode*) and if he wants to know if his level of German language proficiency corresponds to the level chosen by himself (*Level Test mode*). The Fig. 1 presents the business process model «*Adaptive Test*» in the form of *BPMN*-diagram. It simulates all data flows, message flows, associates data with actions, shows the business process stages from start to finish, demonstrates in detail the sequence of work required for execution of the process,

identified events, performers, material and documentary flows that accompany the execution of the business process.

Let's provide a verbal description of the aforementioned process. If the user wants to know his level of German language proficiency, because he/she does not know it, the system will work on an adaptive testing model. A detailed description of such model is presented in [6]. In the beginning, the system provides the user the six questions of different types of medium complexity (in our case it is *B1*). If the user answers for the 4–6 questions correctly, the level of complexity of the questions increases; if the user answers for the 3 questions correctly, the level of complexity of the questions remains unchanged; if the user answers for the 0–2 questions correctly, the level of complexity of the questions decreases. The provision of questions continues until the user reaches the threshold of his competence. If the user has a clear knowledge structure, he will answer a small number of questions of the adaptive test. If the structure of the user's knowledge is not clear, the testing time may increase, because the abrupt change in the level of complexity of the questions does not increase the measurement accuracy and the number of questions adapted to the complexity provided to the user increases.

The Fig. 2 presents examples of trajectories of adaptive testing of three students. Each of them begins its testing with a medium level of difficulty. The number in the circles shows the number of questions provided at each step, above the arrow indicates the number of questions the student answered correctly. The following criterion has been chosen for completion of testing: testing will terminate if the questions of four levels of difficulty are given, regardless of whether the level of complexity of questions increased, decreased or remained unchanged during testing. The first student correctly answered for all 6 proposed questions of level *B1*, then for 4 questions of level *B2*, then for 5 questions of level *C1*, and then for 3 questions of level *C2* and testing was completed. With such a trajectory, testing would end in any case: if the student answered 4–6 questions of level *C2* correctly in the last step, testing would end because the system would not be able to offer questions of greater complexity than *C2*; and if the student answered 1–2 questions of level *C2* correctly in the last step, the testing would end because the system had to reduce the level of complexity to *C1*, and the student already answered the question of this complexity level in the previous step. Regarding the second student, he correctly answered for 2 questions of level *B1*, then for 5 questions of level *A2*, then for 4 questions of level *B1*, then for 4 questions of level *B2*, then for 2 questions of level *C1* and testing ended because the question of this complexity level the student has already

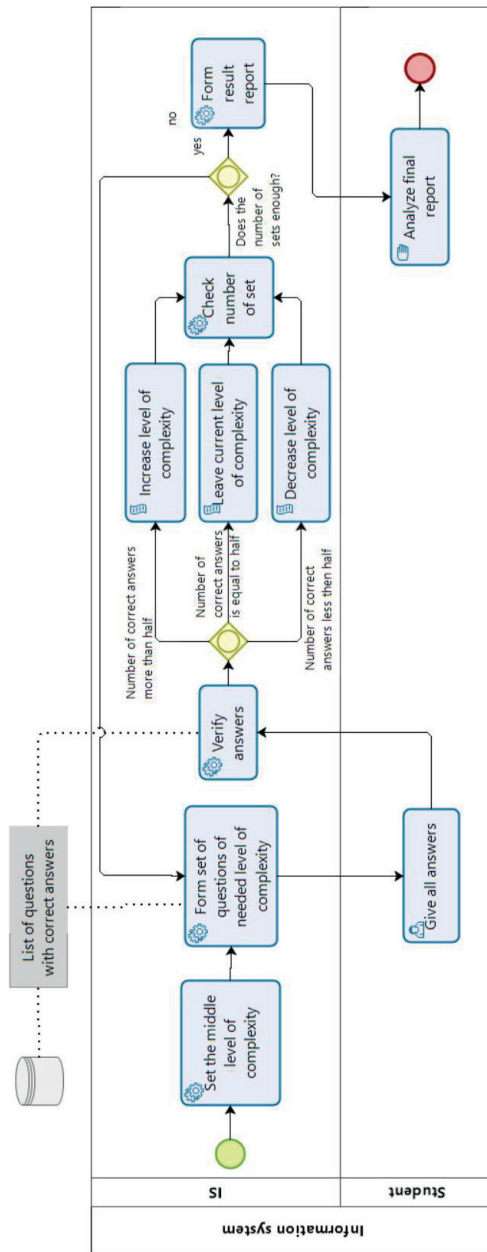


Fig. 1. BPMN-diagram of business process «Adaptive Test»

answered in the previous step. Regarding the third student with the longest trajectory, he correctly answered for 3 questions of level B1, then for 4 questions of the same level, then for 3 questions of level B2, then for 2 questions of the same level, then for 1 question level B1, then for 1 question of level A2, and then for 5 questions of level A1. With such trajectory, testing would end in any case: if the student answered correctly for 3 questions of level A1 in the last step, testing would end because the system had to leave the level of complexity unchanged, ie A1, and the question of this level of complexity the student has already answered the previous step; and if the student answered for 1–2 questions of level A1 correctly in the last step, the testing would end because the system would not be able to offer questions of less complexity than A1.

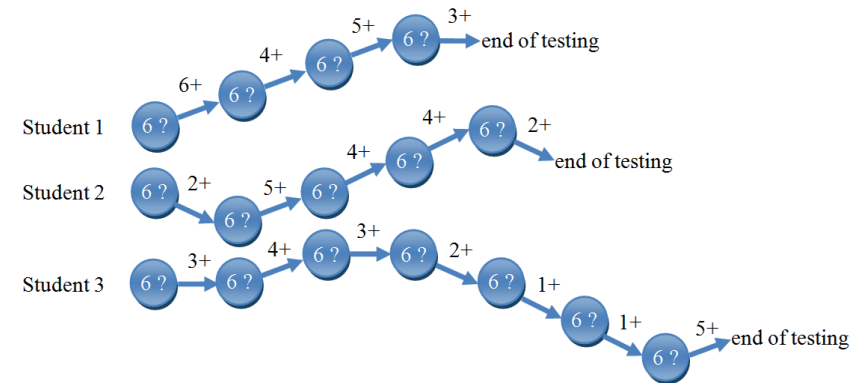


Fig. 2. Examples of trajectories of adaptive testing of students

Let's consider the model of the business process «Level Test», which can be presented in the form of BPMN- diagram also (Fig. 3).

If the user wants to check whether his level of German language proficiency corresponds to the level chosen by him, the system will provide questions of the one complexity level. An additional function in this mode is writing an essay on the proposed topic. It is checking the aspect as Schriftlicher Ausdruck. The work is send for evaluating to the teacher. The user can see the result only after the teacher gives a mark for this work. The result is determined by calculating the percentage of correct answers. The obtained percentage is interpreted according to the scale of the Goethe-Institut, which is used to assess the results of the international exam to obtain the Goethe-Zertifikat (Table 1).

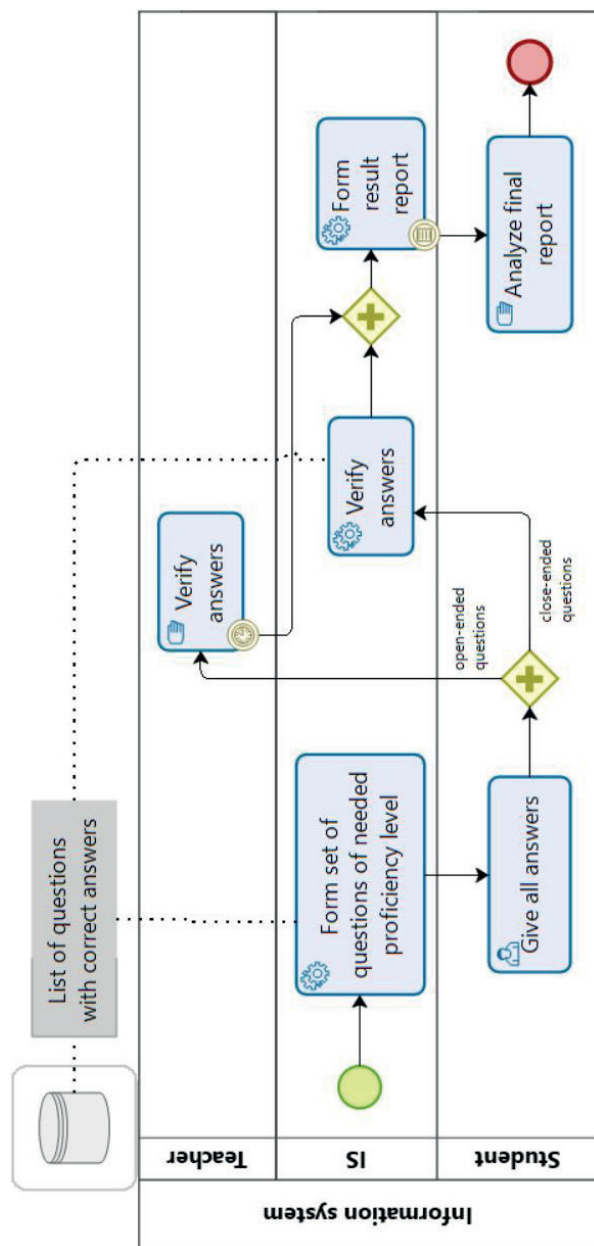


Fig. 3. BPMN-diagram of business process «Level Test»

Table 1

User result estimation in the second mode of user working with the system

Estimation	The percentage of correct answers
sehr gut	100,0–90,0
gut	89,5–80,0
befriedigend	79,5–70,0
ausreichend	69,5–60,0
nicht bestanden	Less than 60,0

An analysis of the domain area allows developing the following data model (Fig. 4). It shows a conceptual representation of data objects, the relationships between different data objects, and enforces business rules.

The structure of Database model consists of the eleven entities: Question, Answer, Person, Testing, Level_complexity, Set_of_answers, Type_question, CEFR_level, Goethe_Institut_estimation, Adaptive_test, Level_test. The table 2 presents a more detailed description of the database entities and their attributes. The following information has been stored in Database:

- the entity «Question» represents all information about question;
- the entity «Answer» contains all possible answers for all questions;
- the entity «Person» describes information about registered users;
- the entity «Testing» has information about all performed tests;
- the entity «Level_complexity» represents a list of levels of the questions;
- the entity «Set_of_answers» describes the relationship between the entities «Question» and «Answer», it shows set of questions, which were chosen by the system to the definite test;
- the entity «Type_question» contains a list of the questions' types;
- the entity «CEFR_level» represents a list of the language proficiency levels by CEFR;
- the entity «Goethe_Institut_estimation» describes the possible estimations for the level test made by Goethe-Institut;
- the entity «Adaptive_test» shows all the results of the passed adaptive tests from the certain user;
- the entity «Level_test» shows the result information about the passed level tests from the certain user.

The 3-layers client-server architecture was chosen as the IS's architecture because of high degree of flexibility, scalability, performance and security. The architecture is presented in the form of a Deployment diagram (Fig. 5).

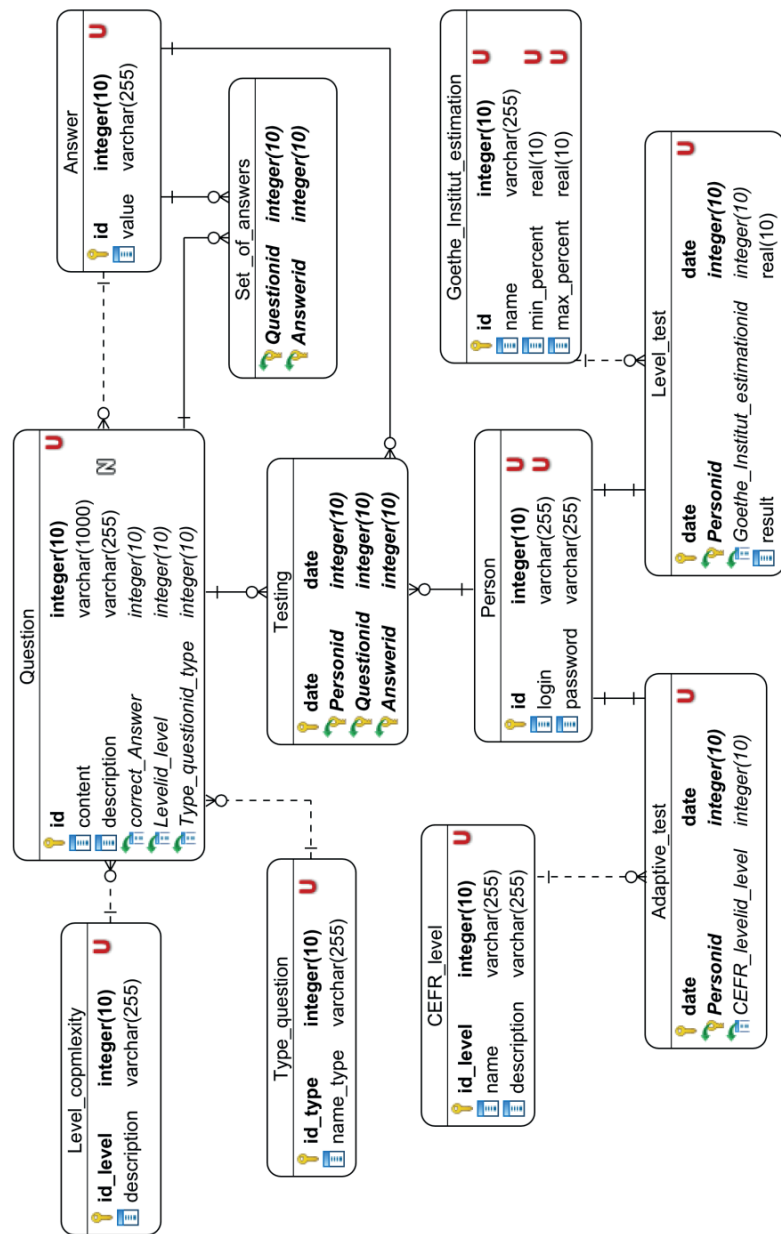


Fig. 4. Database model of domain area

The following two components are deployed on the Client node: Web-Browser and Framework for JavaScript. Framework is necessary for the implementation of business logic on the client side.

Internet Information Services (IIS) is a web server created by Microsoft. IIS is a web server of the system, which communicates with the client using HTTP protocol. The dimension of the corresponding connection is indicated as «1... *» to «1... *». It means the possibility of simultaneous operation of several clients with several requests to the Web server. The following components are deployed on the WebServer IIS site:

1. ASP. NET MVC 5 Webapplication. It is a server application that uses ASP. NET MVC 5 technology. ASP. NET MVC 5 is a web framework developed by Microsoft that implements the Model-View-Controller template.

2. bootstrap.js and bootstrap.min.js — JavaScript extension plugin for Bootstrap.

3. bootstrap.css and bootstrap.min.css — CSS Bootstrap templates.

4. jquery-1.10.2.js and jquery-1.10.2.min.js is a JavaScript library that focuses on the interaction of JavaScript and HTML. The JQuery library makes it easy to access any DOM element, access and manipulate DOM attributes and content elements. In addition, the JQuery library provides a convenient API for working with AJAX.

5. ORM (object-relational mapping) is a component that implements object-relational mapping when working with the database system.

6. ADO. NET EntityFramework — is an open source ORM framework for ADO. NET.

MSSQL server with a database node is a database management system developed by Microsoft. Entity Framework 6 provides communication with this node, the size of the connection is defined as “1: 1... *”. In the IS we need to have at least 1 web server, it can make many requests to the database server.

Testing_level.mdf is an MS SQL database file that contains a schema and data.

Testing_level.ldf is a MSSQL transaction log file.

The developed system has an intuitive and friendly interface. Two types of users can work with it: the administrator — the teacher who can add, edit, delete questions, check answers of users; and a user who takes tests in one of two modes. The registration window is presented in Fig. 6a. The user has to write a name between 6 and 32 characters long, and generate a password that contains at least 8 characters, and then re-enter the password in the appropriate field. After checking the name for uniqueness, the user can log in

Table 2

Description of the database entities and their attributes

Entity	Attribute	Attribute description
Question	Id	Question's Id
	Content	Question
	Description	Question's Description
	Levelid_level	Question's Complexity Level
	Correct_Answer	Correct answer to the question
	Type_questionid_type	Question's Type
Answer	Id	Answer's Id
	Value	Possible Answer
Person	Id	User's Id
	Login	User's Login
	Password	User's Password
Testing	Date	Date of testing
	Personid(FK)	User's Id
	Questionid(FK)	Question's Id
	Answerid(FK)	Answer's Id
Level_complexity	Id_level	Level's Id
	Description	Level's Description
Set_of_answers	Questionid(FK)	Question's Id
	Answerid(FK)	Answer's Id
Type_question	Id_type	Type's Id
	Name_type	Type's Name
CEFR_level	Id_level	CEFR Level's Id
	Name	CEFR Level's Name
	Description	CEFR Level's Description
Goethe_Institut_estimation	Id	Estimation's Id
	Name	Estimation's Name
	Min_percent	Minimum percent to get estimation
	Max_percent	Maximum percent to get estimation
Adaptive_test	Date	Date of adaptive testing
	Personid(FK)	User's Id
	CEFR_levelid_level(FK)	CEFR Level's Id
Level_test	Date	Date of level testing
	Personid(FK)	User's Id
	Goethe_Institut_estimationid(FK)	Estimation's Id
	Result	Test result

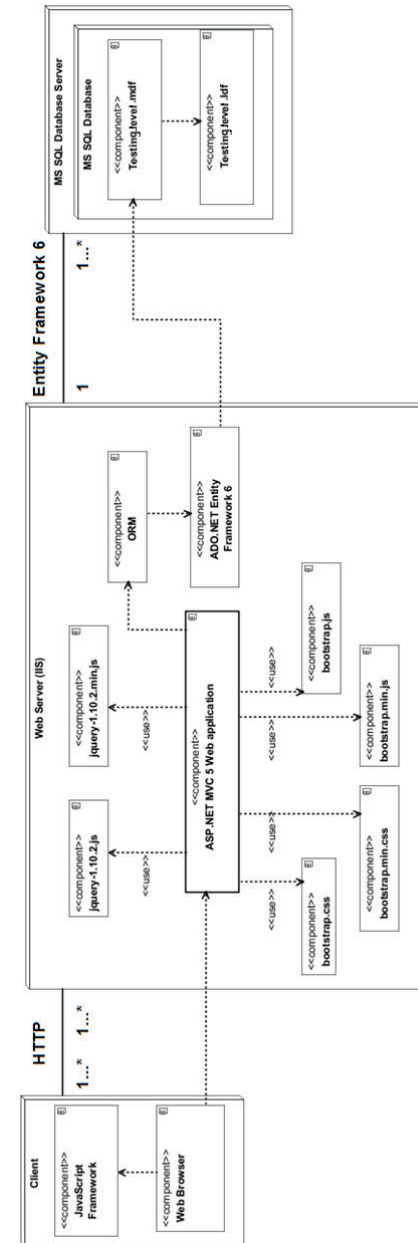


Fig. 5. Architecture of the information system

and start using the system (Fig. 6b). The user can choose the Adaptivetest, if he wants to determine his level of proficiency in German. If the user wants to check whether his level of proficiency corresponds to a certain level, he can choose the Level Test. In this case, user can specify particular level by selecting in the appropriate drop-down list. Also in this window, the user can view the test results by clicking on the My results button.

a) system registration window

b) system start window

Fig. 6. Getting started with the system

After the user selects the test mode, he will receive a test question. The system retains questions of different types (Fig. 7).

As you can see in Fig. 7, the user can choose the following types of questions:

- choose the correct answer from the set of answers,
- write your answer in the appropriate field,
- choose whether the user agrees with the statement (choose the answer «Ja» or «Nein»),
- choose true or not for the statement (choose the answer «Richtig» or «Falsch»),
- listen to the audio file or watch the video file and answer the questions,
- write an essay on the proposed topic.

It is necessary to use the «Next» button for selecting the next group of the questions.

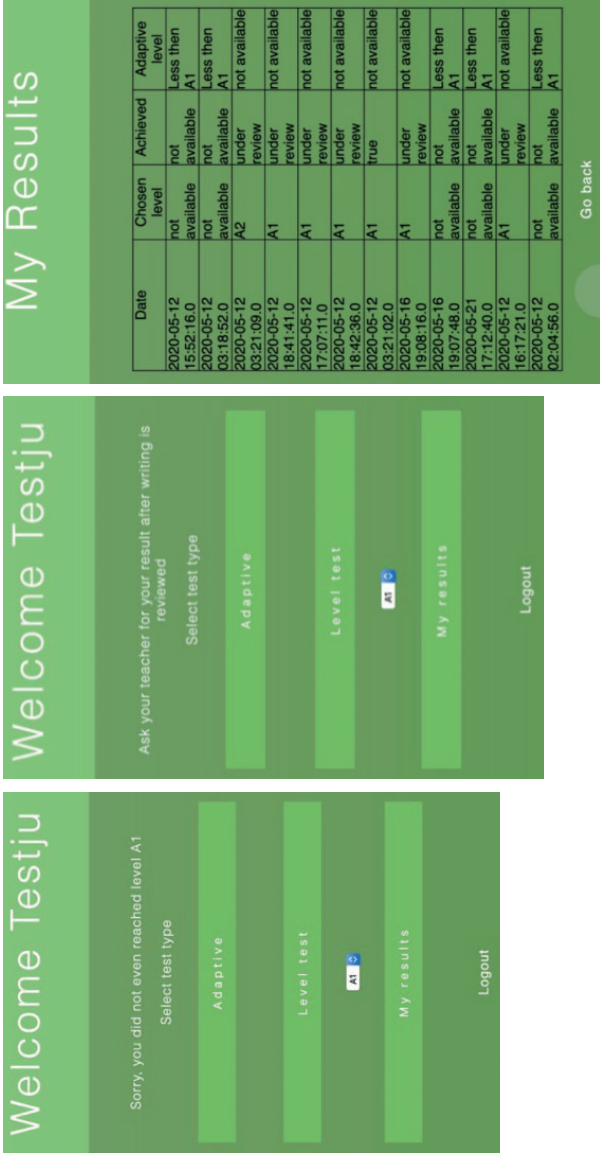
Fig. 7. Types of tasks in the system

When the user provides answers to all the questions of the test, depending on the mode of operation of the program, he will get different results (Fig. 8). In case of passing the Adaptive Test, the result will be a message indicating which level of German language proficiency corresponds to the user's level, or a message that the user has not reached level A1 (Fig. 8a). In case of passing the Level Test, the user will receive a message: «You will get the results after the teacher checks the work» (Fig. 8b). When the teacher checks and evaluates the submitted work, the user will be able to see their results in the section My results (Fig. 8c).

The teacher user can work with test questions (Fig. 9). In order to add a question to the database of the test tasks, the teacher after successful entry must click on the button «Add new question» (Fig. 9a). Then she or he should select the type of question in the next window (Fig. 9b) and the required level of complexity of the question (Fig. 9c). The next step is typing the question and description (Fig. 9d). There are many types of the question. It can be task, question or link to audio or video. The final step is adding options for answers to the question and noting the correct answer (Fig. 9e). To save the question, teacher should press the «Add» button.

When the user submits his/her work for review, the teacher receives a notification. In order to check and evaluate the work of a particular user, the teacher can search this work among all test results or view all test results and find in this list unchecked work (Fig. 10a). When the teacher finds the required work, he/she sees the user name, the type of test and the level selected by the user. In addition, the work has the special sign, which characterizes the absence of the test result (Fig. 10b). Then the teacher puts the grade in the appropriate field and clicks the «Add» button to save the results of the evaluation (Fig. 10c). A final mark shows whether the user has reached the selected level or not. The user will receive a message about the obtained results (Fig. 10d).

Conclusions: This article deals with the principles of operation and functionality of the information system to determination the German language proficiency level. The system can test three aspects of German language proficiency such as Leseverstehen, Hörverstehen, Schriftlicher Ausdruck, using different types of questions and test tasks. Two types of users can work with the system: administrator — a teacher who can work with the database of test tasks and evaluate the users' works; and a user who can be tested. The user can work with the system in two modes: if he wants to determine his German language proficiency level and if he wants to determine whether his level of German language proficiency corresponds to a certain



a) result of the AdaptiveTest
b) result of the LevelTest
c) user's result

Fig. 8. Testing user result

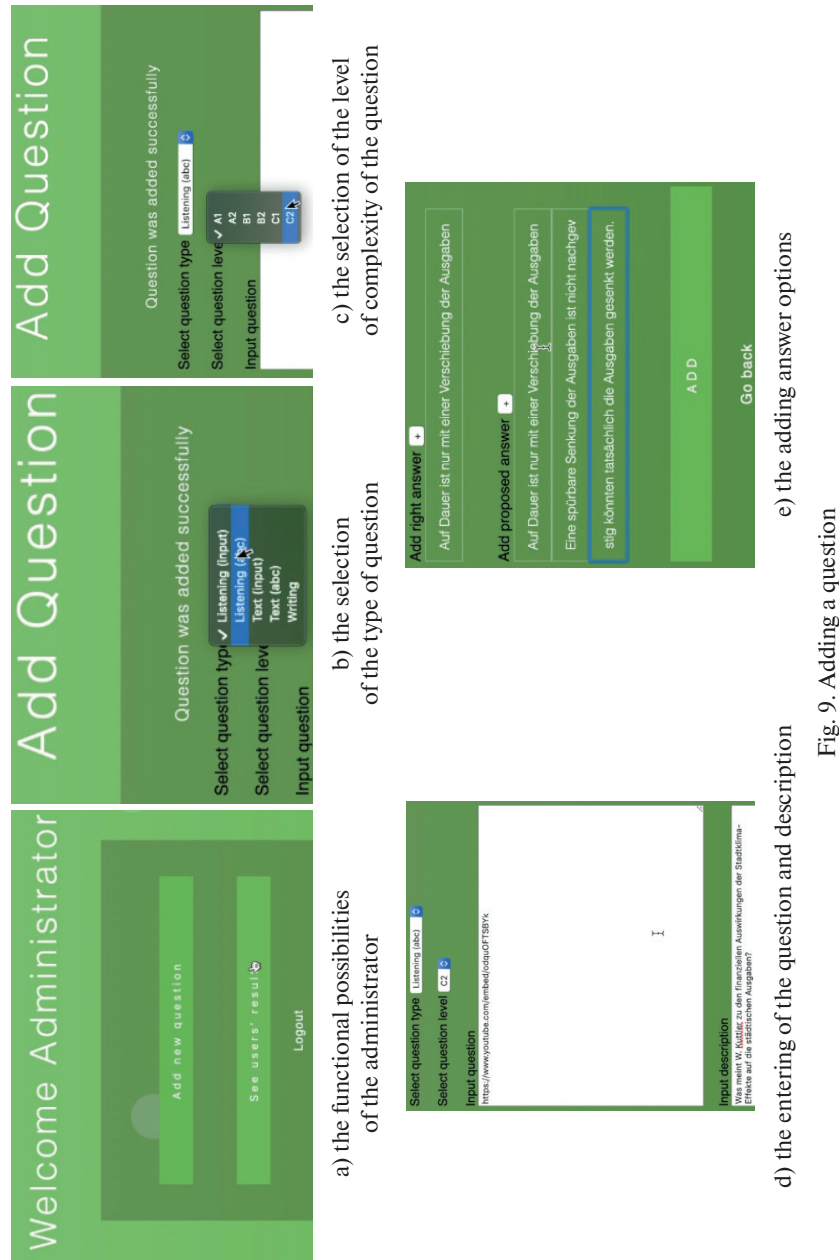


Fig. 9. Adding a question

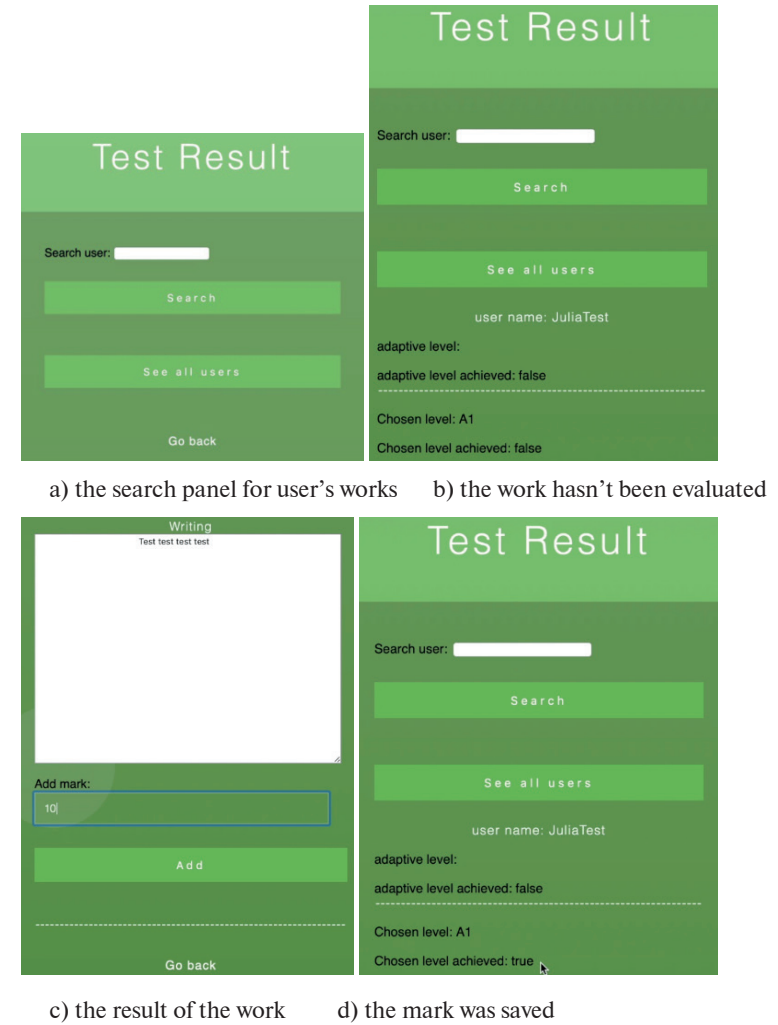


Fig. 10. Searching and evaluation of the user's work by the teacher

level that he can choose. Even with the available capabilities, the system can be used in secondary and higher education institutions and specialized language courses as a tool for determining the level of German language proficiency. Regarding the prospects for the development of the system in the future, a module to test the fourth aspect of German language proficiency is

Mandlicher Ausdruck could be add. It should also be noted that the system can be used without any changes to check the level of any foreign language proficiency, all you need is to add test tasks to the database.

REFERENCES

1. *Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment (CEFR)* [Online]. Available: <https://www.coe.int/en/web/portfolio/the-common-european-framework-of-reference-for-languages-learning-teaching-assessment-cefr->. Accessed: November 20, 2020.
2. *Manual for language test development and examining. For use with the CEFR. Produced by ALTE on behalf of the Language Policy Division, Council of Europe* [Online]. Available: https://www.alte.org/resources/Documents/ManualLanguageTest-Alte2011_EN.pdf. Accessed: November 20, 2020.
3. Chervatiuk Yu., Borysova N., Melnyk K. To the problem of creating software to determine the level of fluency of German". *Proc. 4th Computational Linguistics And Intelligent Systems (COLINS 2020)*. Lviv, Ukraine, April 23–24. 2020. Vol. II: Workshop. P. 225–227.
4. Borysova N. V., Melnyk K. V., Yershova S. I. Development of a computer testing system for determination of the level of foreign language proficiency. *Proc. 13th International Conf. on Information technology and Automation — 2020*. Odesa, Ukraine, October 22–23. 2020. P. 152–155.
5. Борисова Н. В., Мельник К. В., Черватюк Ю. В. Розробка функціональних вимог до програмного забезпечення для визначення рівня володіння німецькою мовою. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції*. (MicroCAD-2020). Харків, 2020. Ч. 1. С. 18.
6. Melnyk K. V., Borysova N. V. Automated system for students' knowledge testing. *Modern Problems Of Computer Science And IT-Education* / K. Melnyk and O. Shmatko, Eds. Vienna, Austria: Premier Publishing s.r.o., 2020. P. 193–207.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЛАНУВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Бевз С. В., Бурбело С. М., Скурський І. В.

Планування в інформаційних системах набуває важливого значення і обумовлює розробку органайзерів як засобів створення й управління робочими процесами. Автоматизація процесів планування в інформаційних системах розглянута на прикладі розробки мобільного додатку — планувальника подорожей. Розроблено метод автоматизації мобільного органайзера подорожей, який здійснює параметричний аналіз вхідних даних, що дозволяє автоматично створювати списки речей у залежності від обраних параметрів поїздки. Запропоновані моделі мобільного органайзера орієнтовані на параметричний аналіз даних з використанням клієнт-серверної архітектури мобільного додатку. Створено програмні засоби автоматизації мобільного органайзера подорожей.

Розроблено основні модулі мобільного додатку, що призначені для керування списками речей для створених поїздок. Також розроблено серверне програмне забезпечення для того, щоб здійснювати синхронізацію та автоматичний підбір речей на основі створеного методу.

Розроблений продукт має зручний інтерфейс, встановлюється на більшість сучасних версій операційної системи Android, дозволяє зберігати дані на сервері. Програмний продукт розроблено мовою Java з використанням програмних засобів Android Studio.

Planning in information systems is becoming important and determines the development of organizers as a means of creating and managing workflows. Automation of planning processes in information systems is considered on the example of development of a mobile application — travel planner. A method of automation of a mobile travel organizer has been developed, which performs parametric analysis of input data, which allows to automatically create lists of things depending on the selected trip parameters. The proposed models of the mobile organizer are focused on parametric data analysis using the client-server architecture of the mobile application. Mobile travel organizer automation software has been developed.

The main modules of the mobile application have been developed, which are designed to manage lists of things for created trips. Server software has also been developed to synchronize and automatically select things based on the created method.

The developed product has a user-friendly interface, installs on most modern versions of the Android operating system, allows you to store data on the server. The software product is developed in Java language using Android Studio software.

Процеси планування в інформаційних системах є багатофакторними і потребують додатково розроблених засобів автоматизації для уніфікації підходів до створення узагальнених рішень щодо встановлення

й організації робочих процесів [1–2]. Як приклад розробки органайзера для інформаційних систем розглянемо планувальник подорожей, реалізований як мобільний додаток, орієнтований під операційну систему Android. Існуючі сучасні аналоги використовуються більше як записники чи органайзери з чек-листом, де користувач самостійно вводить список речей. Це потребує невинновданно значних часових затрат. При цьому вірогідність того, що не всі потреби користувача при плануванні подорожі будуть враховані, залишається досить високою [3]. Тому актуальною є розробка мобільного додатку, який дозволить автоматизувати процес організації власної подорожі.

Метою роботи є автоматизація процесу організації подорожі за рахунок використання спеціалізованого мобільного додатку, що дозволить автоматизувати процес формування списку рекомендованих речей для подорожі з урахуванням рекомендацій та базових параметрів процесу прийняття рішення.

Для досягнення поставленої мети вирішуються задачі: аналіз існуючих рішень, аналіз особливостей мобільних платформ для вибору цільового середовища, розробка методу та моделей автоматизації мобільного органайзера, проєктування програмних модулів мобільного додатку, розробка серверної частини й тестування додатку.

Об'єктом дослідження є процес формування організаційних рекомендацій під час планування подорожі.

Предметом дослідження постають методи та засоби розробки мобільного органайзера подорожей.

Для реалізації поставлених задач були використані методи організації баз даних для ефективного збереження інформації на сервері, методи обробки інформації для підготовки вхідних і вихідних даних за запитами користувачів та методи розробки мобільних програм для програмної реалізації мобільного органайзера подорожей.

Розроблений метод автоматизації мобільного органайзера подорожей здійснює параметричний аналіз вхідних даних, що дозволяє автоматично створювати списки речей з урахуванням обраних параметрів поїздки. Алгоритми роботи органайзера подорожей ілюструють процеси планування в інформаційній системі. Розроблені моделі мобільного органайзера орієнтовані на параметричний аналіз даних у середовищі з клієнт-серверною архітектурою.

Серед аналогів обрано три мобільних додатки, призначені для допомоги користувачу в плануванні своєї подорожі та виборі списку речей, необхідних для мандрівки.

1. «My Luggage» — додаток для організації власної подорожі [4]. Користувач обирає заняття для себе на період подорожі, а програма виводить список речей, які система рекомендує користувачу взяти з собою.

2. «Think Trips» — програма, що дозволяє створювати чек-листи для точок відвідування, багажу та інших заміток [5]. Сервіс дозволяє створювати замітки під час подорожі. Усю інформацію можна експортувати у PDF-форматі.

3. «Sygic Travel Maps Offline & Trip Planner» — додаток, що містить у собі офлайн карту та дозволяє відмічати місця для відвідування [6]. Сервіс дозволяє встановити приблизну відстань та спрогнозувати тривалість мандрівки.

Результати порівняльного аналізу аналогів зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика аналогів

Назва	Категорії подорожей	Автоматизоване формування списку речей	Збереження даних на сервері	Залежність від погоди
MyLuggage	Ні	Так	Так	Ні
Think Trips	Так	Ні	Ні	Ні
Sygic Travel Maps Offline & Trip Planner	Ні	Ні	Так	Ні
Bundler	Так	Так	Так	Так

Розроблений мобільний додаток для організації подорожей «Bundler» отримує вхідні запити безпосередньо від користувача. Для того, щоб отримати доступ до основного функціоналу додатку, потрібно авторизуватися (1), що дозволяє на сервері зберігати користувацькі дані. Мобільний додаток через спеціально розроблене API з'єднується з сервером для передачі необхідних даних (2). Сервер, у свою чергу, з'єднується з провайдером погодних прогнозів для отримання інформації про очікувану погоду (3), що впливатиме на формування вихідних даних (4). На сервері зберігається інформація для підтвердження користувача, база категорій речей, назв самих речей та даних про поїздки, які вже відбулися і збережені в архіві. Дані з сервера зберігаються у базі даних (5). Здійснюється отримання необхідних даних (6) для обробки й експорту в мобільний додаток (7) та візуалізації користувачу (8).

Узагальнена модель роботи системи наведена на рисунку 1.

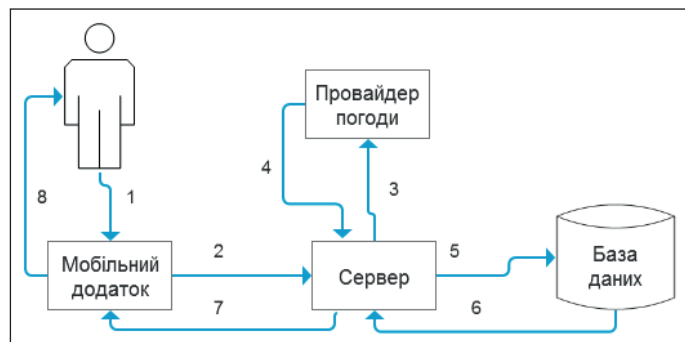


Рис. 1. Узагальнена модель роботи системи

Для того, щоб система була масштабованою, працювала без помилок та ефективно використовувалися технічні ресурси, слід створити адекватну модель її роботи. На рисунку 2 подана деталізована модель роботи автоматизованого органайзера подорожей.

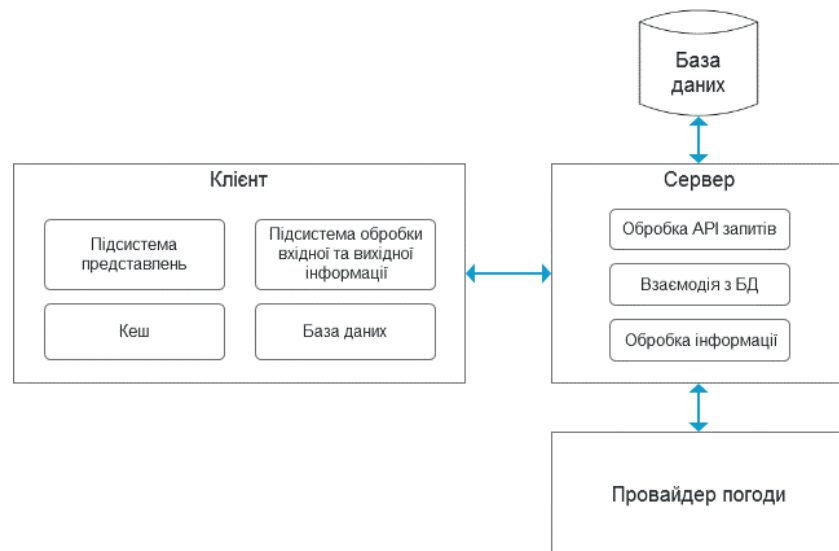


Рис. 2. Деталізована модель роботи автоматизованого органайзера подорожей

Система акумулює базові компоненти:

1. База даних (БД). Тут зберігаються дані про користувача, його поїздки, вибрані ним речі для кожної поїздки.

2. Сервер. Призначений для забезпечення взаємодії між базою даних та мобільним додатком. Містить спеціально розроблене раніше API, що використовує JSON як модель обміну даними, а також взаємодіє з провайдером погоди для уточнення необхідного списку речей з урахуванням прогнозу погоди.

3. Клієнт — мобільний додаток для організації подорожей. Містить підсистему подання даних, підсистему обробки вхідної та вихідної інформації, кеш та базу даних. У БД зберігаються дані про користувача, які отримуються після авторизації. При цьому вони також відправляються на сервер і зберігаються там у БД. Кеш дозволяє зберігати тимчасові дані при роботі з програмою.

4. Провайдер погоди — віддалений ресурс, який надає API для отримання інформації про погоду.

Структура додатку є деревоподібною, що дозволяє легко контролювати процес розробки кожного модуля, додавати нові елементи та змінювати логіку обробки даних без зміни інтерфейсу. Додаток складається з трьох базових частин: роботи з даними, бізнес-логіки та користувацького інтерфейсу. Роботу з даними можна додатково розділити на дві частини: роботу з сервером та локальними даними. Модуль бізнес-логіки є проміжним між інтерфейсом і даними. Він призначений для перетворення даних, які завантажуються з сервера, у дані, що придатні для виведення на екран користувачеві. Модуль користувацького інтерфейсу складається з основного коду, що відповідає за відображення даних на екрані, та розмітки. Модуль утиліт призначений для зберігання допоміжних класів.

Алгоритм створення поїздки в сервісі «Bundler» наведено на рисунку 3.

Після ідентифікації поїздки користувачеві стають доступними списки вибору супутників подорожі — списки користувачів з визначеною їх активністю до комунікації. Після проведеного вибору отримані дані відправляються на сервер. Якщо операція неуспішна, користувачу виводиться сповіщення про помилку. При успішних операціях відбувається збереження даних, і користувач отримує доступ до рекомендованого списку типових речей для своєї поїздки. Обираючи речі за рекомендаціями, користувач доповнює чи скорочує список. Інформація відправляється на сервер. Якщо

операція успішна — користувачу виводиться список з описом його поїздки.

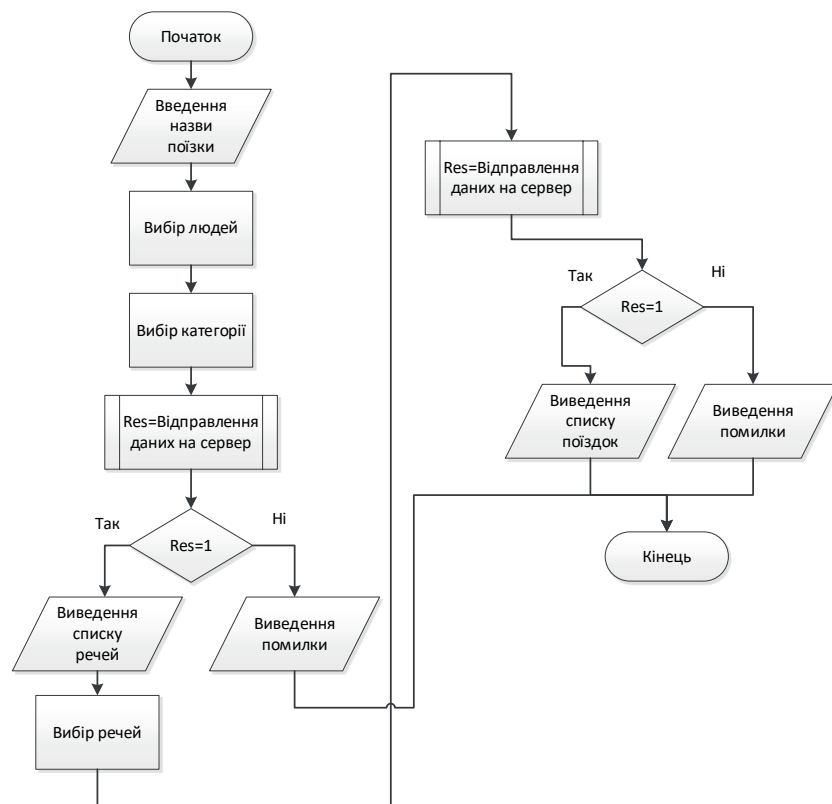


Рис. 3. Алгоритм створення поїздки в сервісі «Bundler»

Метод генерації списку речей ілюструється блок-схемою, що описує послідовність кроків (рис. 4).

1. Спочатку відбувається отримання вхідних даних (кількість, вік та стать людей, тип поїздки, час поїздки, місце призначення тощо).
2. Далі формується загальний перелік речей за запитом користувача.
3. Для кожного користувача зі списку формується свій набір речей.
4. Після отримання відповіді на запит щодо погодних прогнозів список речей уточнюється.

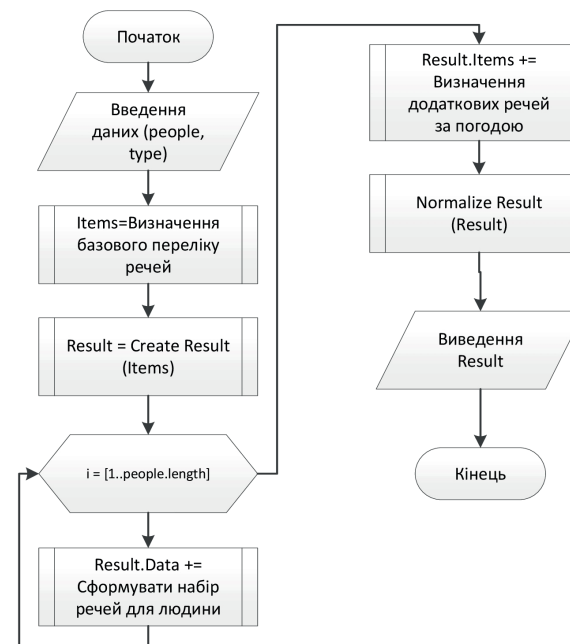


Рис. 4. Блок-схема алгоритму роботи методу генерації списку речей

5. Якщо серед мандрівників є мала дитина, то у перелік речей автоматично включаються необхідні речі (наприклад, проїзний документ, коляска тощо).

6. Далі відбувається нормалізація даних і видалення повторень.

7. Проводиться формування перехресних узагальнених списків для кожного користувача.

8. Здійснюється перевірка правильності процесу та проводиться візуалізація результату.

Висновок. Створено органайзер подорожей як приклад автоматизації процесів планування в інформаційних системах. Запропонований метод автоматизації мобільного органайзера подорожей здійснює параметричний аналіз вхідних даних. Це дозволяє в автоматичному режимі створювати списки речей з урахуванням обраних параметрів поїздки. Розроблені моделі мобільного органайзера враховують параметричний аналіз даних та орієнтуються на використання клієнт-серверної архітектури мобільного додатку. Узагальнена модель

системи акумулює акаунт користувача, клієнтський додаток, серверну частину, провайдер погоди та базу даних.

Модель додатку, у свою чергу, включає дані, бізнес-логіку, інтерфейс користувача та утиліти. Модуль даних забезпечує роботу з кешом та локальною базою даних, а також контролює доступ до сервера.

Запропонований метод формування списку речей здійснює параметричний аналіз вхідних даних, що дозволяє врахувати ідентифіковані параметри вибору у процесі узгодження списку речей. Мобільний додаток розроблено мовою Java з використанням програмних засобів Android Studio.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Туристські потреби. URL: <https://studfile.net/preview/5265660/page:2/>
2. Корисні мобільні додатки для мандрівників. URL: <https://veterdoit.com/korysni-mobil-ni-dodatky-dlia-mandrivnykiv/>
3. Скирський І. В., Войтко В. В. Розробка мобільного додатку органайзера для подорожей «Bundler». *Збірник тез XLVIII науково-технічної конференції факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії / ВНТУ*, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/7893/6564>.
4. Приложения в Google Play — My Luggage. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=io.myluggage.app>
5. Приложения в Google Play — Think Trips. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=company.cats.angry.digitaltravelcompanionv02>
6. Приложения в Google Play — Sygic Travel Maps Offline & Trip Planner. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tripomatic>

THE USE OF CLOUD TECHNOLOGIES AT THE OPEN INFORMATION SYSTEMS

Boyko N.

Розглядаються хмарні технології передавання інформаційних потоків. Аналізуються можливості відомих інтернет-сервісів. Розглядаються перспективи впровадження хмарних технологій у навчальний простір. Наводяться приклади застосування інформаційних технологій. Аналізуються потенціал та ефективність використання хмарних технологій у галузі вищої освіти. Наводяться основні переваги, ризики та обмеження від використан-

ня інформаційних технологій у хмарних сховищах. Розглядається архітектурний шаблон використання хмарних технологій в університетах. У роботі характеризуються моделі обслуговування хмарних обчислень. Наводиться концепція хмарних обчислень, яка передбачає надання певних типів послуг користувачам. Аналізується стратегія ухвалення хмарних технологій в вищих навчальних закладах.

Examining Cloud technologies of transferring information flows. Analyzing possibilities of known Internet-services. Surviving prospects of implementing cloud technologies at educational space. Illustrating examples of using cloud technologies. Analyzing potential and efficiency using cloud technologies at higher education area. Exemplifying main advantages, risks and limitations of using cloud technologies at cloud storages. Surviving architectural templates of using cloud technologies at universities. Characterizing model services of using cloud computing. Showing concepts of cloud computing, which predict giving certain types of services to users. Analyzing strategy of approval cloud technologies at universities.

Cloud technologies are becoming routine things for many organizations, due to their dynamic scalability and possibility of using virtualized resources as a service of Internet. It will probably have significant impact on educational area in future.

Cloud technologies are great alternative for educational Institutions, which in case of budget deficit endeavoring to manage their information systems effectively, not wasting own fund on computers, services and network devices.

Universities have already tried using a lot of cloud services, which are offered by providers of Internet-services and consequently allow students to carry out different business and academic tasks.

In this article we are going to consider what's new cloud technologies can implement in educational area, especially at universities, where using of information technologies are more intense, and what can be done to increase <<benefit>> for both students and teachers by these technologies.

Higher education is recognized as a base of society's development. Due to partnership between universities, government and industry, researches and students have made a contribution to the development of society and global economy. A tendency of transition universities to research areas and updated IT-infrastructure (information technologies), as a base for educational activity and scientific researchers have being seen for the last few years.

With a development of technologies, a number of traditional services, which have transformed into Internet-services highly increased. These ser-

vices can be found online, they use modern technologies, which guarantee access for a great deal of users, also fast and safe payment services.

Currently universities faced with a problem of dramatic increasing costs at educational area. Because of budget reduction caused by inflation, universities have to search alternative ways to reach their goal — granting educational services and development of scientific researches.

In response to the challenges, universities have to change their educational process to be service-oriented, in order to optimize not only self-efficiency, but also efficiency of cooperation of stakeholders. Service-orientation can be applied both for individuals, universities (in terms of strategies, structures, culture and processes), the same for technologies.

At the organizational level, cloud technologies can be considered a continuation of SOA (service-oriented architecture), and an alternative way of using IT at educational area, especially in case of current financial situation.

Therefore, It's necessary to identify data, services and process, which you can apply cloud technologies for. However, without SOA, their transition to cloud models financially have no sense. Given this, a purpose of article is demonstration of approaches <<cloud computing>>, which make possible to effectively and with minimum costs build service-oriented system of education, based on Moodle platform and to recognize features of using cloud technologies within higher education.

A potential and efficiency of using cloud technologies are recognized by many universities worldwide. Cloud technologies give a possibility to concentrate more attention on education and research activity, rather than on studying complicated configuration of IT systems, because of their fast implementation. Beside this, cloud decisions can be used for organization cooperative learning and a development of social-oriented education theories, using computer technologies for common educational methods.

Cloud technologies offer plenty preferences for online learning by providing infrastructure, platforms and educational services directly through the cloud and with the help of virtualization, centralized data storage and a possibility of monitoring data access.

In order to ensure success in the sphere of e-learning, universities started using metric system, adapted to measure effectiveness of e-learning decisions, which is based on cloud.

Using of cloud technologies in the educational sphere must be analyzed in terms of benefits, considering risks and limitations (table 1). After their analysis, one or few cloud services can be elected. The decision should consider real needs and to be agreed with the strategy of certain university.

Table 1

Main advantage of using Cloud Technologies at Universities

Benefit	Limitation
Access to applications everywhere	Not all applications work in the cloud
Support for teaching and learning	Risks connected with a data protection and anonymity of personal data
Around-the-clock access to infrastructure and content	Organization support
Opportunities to work in a business and to use leading technologies	Policy concerning intellectual property
Environmental protection by using eco-friendly technologies	Protection of sensitive data
Students access to new technologies	Some outdated solutions
Increasing functionality	Lack of privacy
Offline use with the possibility of further synchronization	The quality of Internet connections affects the effectiveness of the cloud

Planning and work in the cloud obliges universities to handle certain problems in cloud environment, such as controversial definitions, privacy, contractual and jurisdictional issues, risks and unproductivity, network bandwidth. In addition, acceptance of cloud architecture includes overcoming obstacles such as policy and management issues. Fig. 1. Cloud architecture for universities.

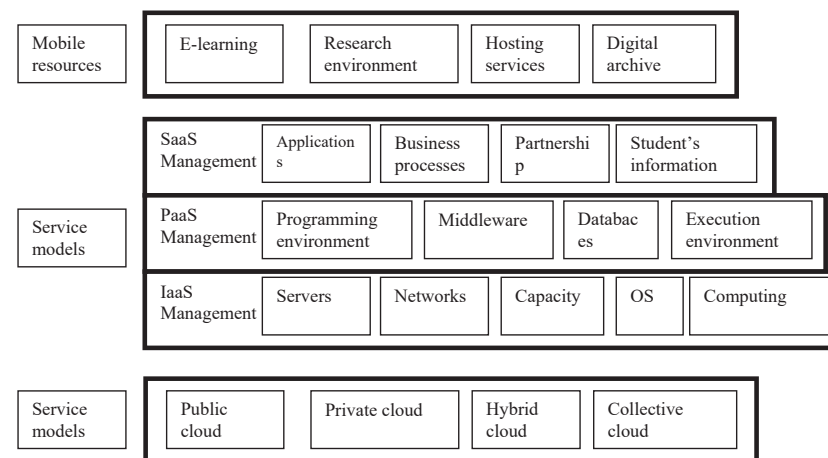


Fig. 1. Cloud architecture for University

Architectural pattern of using cloud technologies at universities can be described, starting from development and supply of cloud computing services and resources, suggested by university (Fig. 1).

Concerning cloud models, basic information between private and public clouds is given in table 2. Hybrid models are widely used (for instance, Panasas-private cloud, combined with Amazon-public cloud data storage), also collective models.

Table 2

The main differences between public and private cloud

Model	Public	Private
Owens and controls	Service provider	University
Access	Subscription	Given to students, teachers and staff
Setup and management	No	Adjusted

Collective clouds have appeared in connection with an increasing the pressure in the educational area (necessity of reporting, monitoring of educational, demographic, financial information, starting from the moment of registration and to the end of educational stage. In some regions or countries, Information aggregates, basing on records of student skills, employment rate in different areas of activity, results, obtained by researches. Reporting and tendency analysis should lead to informed solutions, concerning the including of certain subjects to curriculum, establishing or cancellation some of master programs, considering identified needs.

A following picture represents the way that service consumer (student) can access and change information in collective cloud. (Fig. 2).

Successful using of Cloud Technologies in educational sphere provides for three key elements: virtualization, intelligent networks and reliable storage. Beside this, using of centralized cloud in organizations on the high educational level can stabilize academic sphere and lead to development in research and innovation areas.

Cloud technologies allow using programs without installation and without access to private files from any computer, which has internet access. Using current technology for production management has several advantages:

1. Centralization of management and accounting information in cloud service, access to the service provides common using of resources, based on the algorithm of parallel computing.

2. The increase in efficiency of data processing, based on high-speed machine work and capacity of cloud technologies.

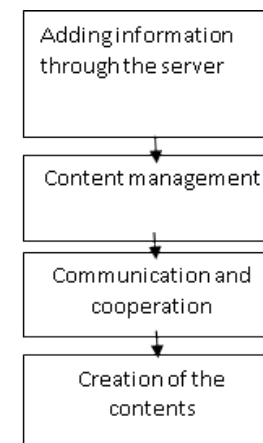


Fig. 2. Adding information to students about their education in collective cloud

3. Reliability of data storage, which doesn't depend on power workstation or software. As noted by a number of specialists, "cloud computing is a technology of distributed computing, in which computer resources and power are given to user as an Internet- service, that is working platform on a remote server.»

For instance, if the user works with e-mail on site-service (eg, gmail), which allows to use this mail or image processing through browser using Picasa service, this is the use of cloud services. The difference is only in the method of data storage and processing. If all happening occurs on your computer (using its capacity), it is — not «cloud», and if the process occurs on a server using the network, «cloud» — a variety of hardware, software, methodology and tools provided to the user as Internet services, to realize their goals, objectives and projects.

“Infrastructure” is a base of the pyramid; it's a set of physical devices (servers, hard drives, etc.). “Platform” is a set of services and on the top is “Software”, which is available for users.

Cloud computing is a basis vector, derived from the synthesis of a variety of technologies and approaches. It consists of three service models (table 3).

Currently, the concept of cloud computing provides 11 types of services to their users (Fig. 4).

The simplest of cloud services is the Storage-as-a-Service, which provides the ability to store data in an external storage, in the “cloud.” Service is a basic to others, because it is a part of almost every one of them. An

additional logical drive or folder is given to user, it located on the hosting service. An example is Google Drive and other similar services. Unlike the previous service, Database-as-a-Service gives the opportunity to work with databases like if the DBMS was installed on a local resource. Administrators mainly use DBMS, because it is easier to divide projects between different performers and to save money on hardware and licenses, which required for the proper use of databases in large or medium organizations.

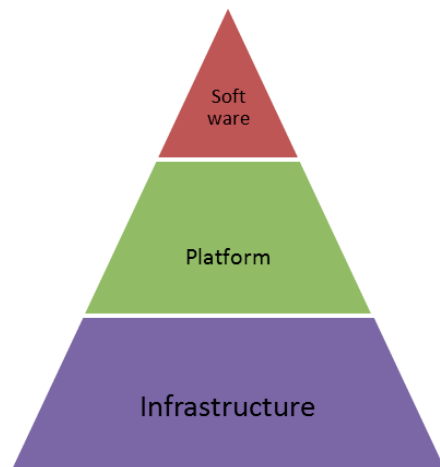


Fig. 3. The concept of cloud computing

Information-as-a-service provides the ability to use any kind of information distantly. This information may change every minute or even every second.

Process-as-a-Service and Platform-as-a-Service relate to services that have space to create a single business process. In particular, the first one is a remote resource that can link together multiple resources (such as services or data that contained in one “cloud” or other available “clouds”). Platform-as-a-Service gives to user a platform with installed operating system and some software.

Application-as-a-Service provides the user with software that is deployed on a remote server, which each user can access via the Internet. The service supplier governs issue licensees and all updates for this software. In this case, payment is for the actual use. As an example, Google Docs, Google Calendar, etc. online applications.

Table 3

Cloud computing service models

Service model	Model characteristics	Services	Advantages
Software as a service (SaaS)	Hardware and software are supplied, developer also provides interaction with the user through a web interface	A variety of services, from web mail to inventory management, DB processing are provided.	The end user can easily use the service from anywhere in the world
Platform as a service (PaaS)	A set of software and development tools, which are placed on the provider's infrastructure	Developers can create applications on the provider's platform via the Internet.	PaaS providers can use the API, website portals, gateways or software, which are installed on the client's computer
Infrastructure as a service (IaaS)	Virtual server instance API	Provision of start, stop, access, configure of own virtual servers and storage systems	IaaS allows companies to pay for exactly so much power as it needs

Integration-as-a-Service gives the ability to get from the cloud a complete integration package, including software interfaces between applications and their management algorithms. It includes well-known services and functions of centralization packages, optimization and enterprise applications integration (EAI), but they are provided as a “cloud” service.

Security-as-a-Service allows users to deploy products quickly, that require the safe use of web technology, e-mail, and local network. Users of the service have the opportunity to save on deployment and support of their own security. Management / Governance-as-a-Service provides the ability to manage and set the parameters of one or many “cloud” services. Mainly these parameters are such as topology, resource utilization, and virtualization.

Infrastructure-as-a-Service provides user with a computer infrastructure. The concept of current service is to provide user with virtual platforms (PCs) connected to the network, which user can self-adjust to own purposes.

Testing-as-a-Service is used to test local or “cloud” systems using testing software from the cloud.

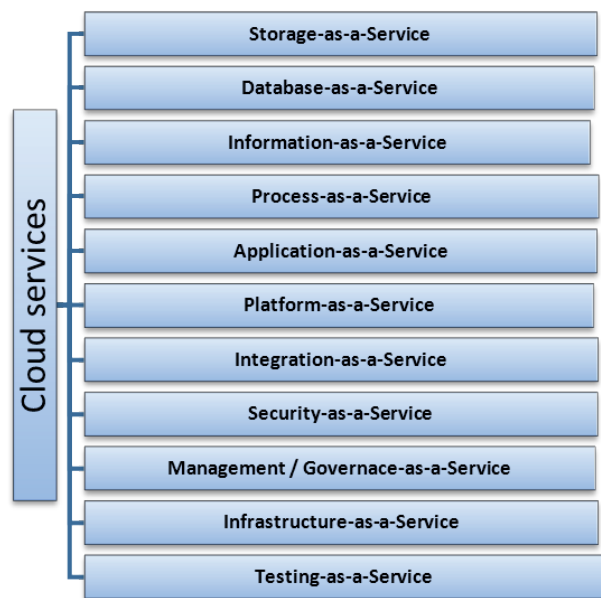


Fig. 4. Types of cloud services

The transition to a new model requires a well-defined strategy that would support all the features and functionality of the cloud technologies. In addition, It should represent an essential IT-strategy for organization. A success of realization this strategy depends on availability serves-oriented architecture in the organization, that provides needed infrastructure for cloud implementation. A transition to cloud methods financially has no sense without SOA and MBP (management of business-processes), because it leads to high costs combined with reengineering existing systems. And, of course, the strategy of implementing cloud architecture should be aligned with strategy of tested university.

After analyzing the results of latest researches, concerning transition to a new model, and universities' experience of using it, we suggest dividing current strategy on few stages:

- A development of the knowledge base of Cloud technologies;
- Evaluation of current university level, means IT needs, structures and use;
- Carry out researches of implementing cloud methods at different fields of university;

- The choice of optimal cloud methods;
 - Implementation and management of cloud technologies at university;
- Now more info:

- Developing the knowledge base of Cloud technologies;

The first step is to develop the knowledge base by participating in seminars, conferences, discussions and consultation with the supplier for leading research in this area.

- Assessment of the current level of the university in terms of IT needs and use patterns;

This step is to understand the IT infrastructure of the university. Students have been using a large amount of cloud services in personal life. While using this model and cloud services, they get the advantage of the ability to work and communicate in an educational environment without grate time expanses. Researchers received benefits due to use of new technologies by carrying out experiments on results and on connections between them. Developers can design, build and test applications in the cloud and supply their customers directly from server. Currently the cloud market is growing. With existing solutions in this area, we will list those that are most commonly used in universities, grouped under three main types (Table. 4)

Table 4

Types of cloud services

Service platforms	Program services
Google App Engine	Google App
Microsoft Azure Services	Microsoft Dynamics CRM Online
Amazon SimpleDB	MicrosoftLive@edu
Microsoft SDS	Business Productivity Online Suite
Oracle Higher Education Constituent Hub	Exchange Hosted Services
Amazon SQS	Microsoft Office Web Apps
Dynamsoft	CampusEAI
Force.com	Jaspersoft
Microsoft Dynamics CRM online	EducationERP. net
	Campus Management
	Coupa's e-Procurement
Infrastructure services	
EducationERP. net	Rackspace
Amazon S3, EBS, EC2	RightScale
Microsoft	EnStratus
Flexiscale,GoGrid	CloudStatus
	Oracle Coherence
	3 Tera App Logic
	Eucalyptus
	CampusEAI

3. Experimenting with the implementation of cloud methods in different structures of the university;

The transition to cloud architecture can be done gradually. Since testing of pilot projects in the cloud to their externalization.

The first step is to regulate certain purposes such as technology development, testing environments or storage of some data in the cloud. The next step is the daily processing of internal operations, connected with simultaneous reference to the components of collective and private clouds to fit the security policy for data protection. Also consider the low cost of using these solutions.

4. Selection the best cloud methods

The first step is to define the data and applications, functions and basic processes of the University.

They can be grouped according to three large categories of the university: teaching, research and administration.

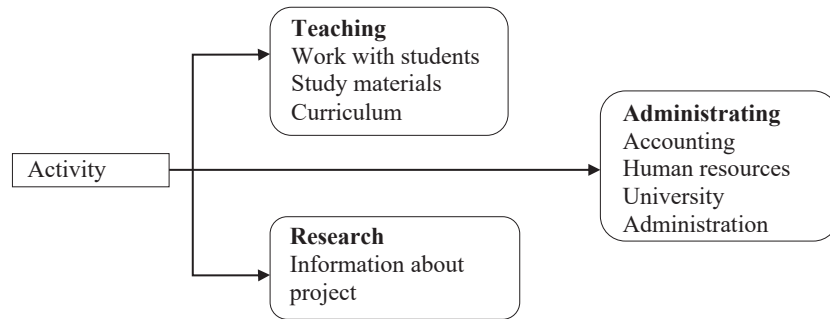


Fig. 5. Activity of University

The next step is to represent estimates of elements that defined at the first stage, in accordance with several criteria, such as tasks, importance to the University, confidentiality, availability and integrity. The last step is to choose the cloud model that suits the best for a particular function or process of a certain university.

Results of testing cloud services are represented on the table. 5.

Characteristics some of cloud services:

Microsoft named as Windows Live may include:

✓ Data network

• Hotmail;

• chat without installing client software on any page services Windows Live, using only a browser — Windows Live Web Messenger;

Table 5

Cloud services for universities

Cloud services	Cloud models	Activity	Business analysis	Student Lifecycle	E-learning	Free access	Settlement and Financial	Participate human resources	Management	Administering of development	Digital library
SaaS	Public	Microsoft-Live@edu			+						
SaaS	Public	Microsoft Office Live Workspace			+				+		
SaaS PaaS	Private Hybrid	Microsoft Dynamics CRM Online		+		+		+	+		
SaaS IaaS	Private	CampusEAI Private Cloud		+	+	+					
SaaS IaaS	Private Hybrid	JasperSoft and RightScale	+								
SaaS	Public	Google Docs			+				+		
SaaS IaaS	Private community	educationERP.net		+		+		+			+
SaaS	Private community	Campus management	+	+	+	+	+	+	+	+	
SaaS	Private	Coupa e-Procurement									

✓ Tools for creating, editing, adding and sharing data network — an on-line application Office Web Apps,

- Excel editor;
- Word editor;
- PowerPoint;
- OneNote;

✓ Tools for storing data — Windows Live OneDrive. OneDrive — is a free cloud storage almost unlimited for storing documents, photos and so on. (Fig. 6).

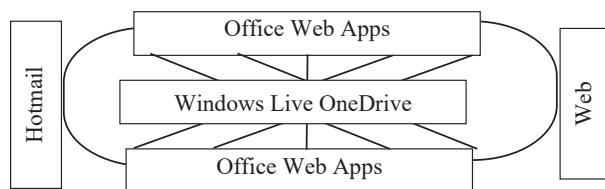


Fig. 6. Multilayer neural network based on Windows Live

One Note is an electronic version of notebook, where you can store your notes, thoughts, ideas, make reminders and any other information. Unlike traditional page size used in applications such as Word or Excel, OneNote offers free-form canvas where you can write or record notes as text, add graphics and images. OneNote offers the opportunity to connect with Outlook and Internet Explorer. With these applications in notebooks, you can add data as hyperlinks and videos. OneNote makes possible an exchange of data between users, including providing support for the joint use of electronic notebooks, organizing collaboration and cooperation. Joint electronic notebooks automatically provide data synchronization and changes. Synchronization mechanism will provide automatic renewal and Data Update even if the network connection breaks. The user of this service does not have to worry and check whether the update performed. The program also has the ability to provide not all electronic notepad data, but only some of its parts. This possibility is realized with the OneNote Classroom. OneDrive service avails to store up to 25 GB of various documents submitted using the standard Office (Word, Excel, PowerPoint, Excel-forms, OneNote and simple document folders). For a variety of images provides viewing as thumbnails, and the ability to view as a slideshow. For all folders and files user can exclusively personal determine the level of access to the public.

The main work types of OneDrive service:

- Access to file storage OneDrive, — uploading documents to the repository from a PC or flesh drive.
- The online creation of files and folders in the storage OneDrive.
- Provide or restrict access to One Drive files and folders.
- Access file for a specific user and notification about the receipt of such access.

The main types of files in OneDrive:

- Change the name.
- Edit online.
- Take for editing (with limited access to the document, other users will not be able to work with It).
- Access previous versions of files.
- Download a copy.

The principles used in the construction of OneDrive and OneNote services simulate a single-layer neural network.

Google Inc. develops and provides a range of applications and services, which can be, accessed from the any browser (Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, Internet Explorer, etc.).

The network, built by means of Google services often use:

- Google Drive is a data storage for posting personal content in the cloud, which synchronizes with all personal device.
- Means of maintaining security and compliance enterprise class, including SSAE 16 / ISAE +3402 Type II, SOC 2 audit, ISO 27001 certification, adherence to safe storage on the principles of confidentiality and can support industry requirements like HIPAA.
- Google Calendar is an online calendar for planning joint work.
- Google Docs is online office to create, comment, and document co-editing, • Gmail is a free e-mail for receiving and sending e-mails and files.
- Google Maps is a set of maps for posting geo-referenced data.
- Google Sites is a free hosting to create and publish Web pages.
- YouTube is a video hosting for posting, editing and viewing video.

Google Apps is a special service provided by Google to use your domain name with the ability to work with web services from Google. Domain name registration is possible through a registrar authorized by Google. Google Apps provides free basic and professional package. Google Apps Education Edition is designed for educational purposes; It's a free package for schools, which includes all the features of a professional package.

According to developers, the Google Educational Edition «has free (and ad-free) set of tools that allows participants of the educational process to communicate, teach and learn more effectively and efficiently.

With the development of information and communication technologies (ICT), conferencing systems are also developing, they become more popular and accessible services such as Office 365 is a Skype service (Lync 2013). Skype (Lync) is an innovative service designed to facilitate communication for users regardless their location. Skype Service (Lync) implements the following features:

1. Connected anytime, anywhere. Skype (Lync) enables users to communicate securely from anywhere you have an Internet connection, and automatically adapts to network conditions;

2. No binding to the gadget. Skype (Lync) facilitates communication due to agreed and familiar interface available on computers running Windows, smartphones, Windows Phone, iOS and Android, Skype (Lync) provides an interface adapted for touch control but only for users of Windows 8;

3. Versatility. Skype (Lync) combines voice and video calls, meetings Lync, presence information and exchange of instant messages (IM) in a client program that facilitates the choice of different forms of communication and switching between them;

4. The status of «online». Skype (Lync) securely extends Unified Communications over the Internet and allows you to communicate with customers, suppliers and partners; HD Videos. Skype (Lync) uses open standards such as H. 264 SVC to provide high-quality video on various devices;

5. Virtual conference. The new support for multi-video in HD you can see up to five participants simultaneously. You can select the participant that is displayed on the screen, or let the program Skype (Lync) for you to choose; Meeting Skype (Lync) with access from the browser. Web application Skype (Lync) enables computer users with Windows and Mac OS to join meetings Skype (Lync) using the browser. It contains all the functions of network meetings, including instant messaging, voice and video multilateral, collaboration and data sharing.

The main advantages of Google Apps Education Edition from the user perspective:

- minimum hardware requirements (needed access to the Internet as an exception);
- no additional costs for the purchase and maintenance of special software;

- Google Apps support all operating systems and client applications that are used in the educational process;

- work with documents available through any mobile device that supports the Internet;

- all tools of Google Apps Education Edition are free.

- d) Implementation and management of cloud technologies at the university.

Moving data, services and processes to the cloud platform should perform clearly to a specific model or strategy. Each model supports certain goals, so it is selected to analyze the policy of the organization, means of control and the level of information security. It is necessary to maintain an optimal balance between maintaining compliance with data, transition speed to the new model and costs for its implementation. The organization must have a management model that includes security policy management of applications and infrastructure, risk management and monitoring the performance of cloud solutions.

Conclusions: Despite the criticism and many deficiencies, cloud technologies have the right to existence and development. The current economic situation is forcing many organizations, for example, consider using cloud services. Universities have adopted this initiative and there are evidences of pointing to a significant reduction of costs associated with the use of cloud solutions. In general, the research discusses the risks and benefits of this architecture and the possibility of using cloud strategies at universities. Data analysis and the main activities of the universities have become the starting point for choosing the right model that needs to conform to the safety of higher education and affordable cloud solutions.

REFERENCES

1. Raman T. V. Cloud computing and equal access for all. *Proceedings of the 2008 international cross disciplinary conference on Web accessibility (W4A)*. Apr. 2008, 1–4. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1368044.1368046>.
2. Hayes B. Cloud computing. *Communications of the ACM*. July 2008. Vol. 51, no. 7. P. 9–11.
3. Vouk M. A. Cloud computing — Issues, research and implementations. *Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces (ITI'08)*. June 2008. P. 31–40.
4. McKinley P. K., Samimi F. A., Shapiro J. K., Tang C. Service Clouds: A Distributed Infrastructure for Constructing Autonomic Communication Services.

*Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC'06)*ю Sept. 2006. P. 341–348.

5. Grossman R. L., Gu Y., Sabala M., Zhang W. Compute and storage clouds using wide area high performance networks. *Future Generation Computer Systems*. Vol. 25, no. 2. P. 179–183.
6. Milojicic D. Cloud computing: Interview with Russ Daniels and Franco Travostino. *IEEE Internet Computing*. Vol. 12, no. 5. P. 7–9.1048.
7. Stepanenko S. V. Formation of professional competencies in students educational qualification of «Master». *Theoretical and practical approaches to the introduction of a new generation of educational and vocational programs and curricula of training: development paths: Proc. Math. scientific-method. conf.* (6–8 February, 2007). — Ch. 1. — K., 2007. — P. 10–18.
8. Amant K. St. Online education in an age of globalization: Foundational perspectives and practices for technical communications instructors and trainers / K. St. Amant. *Technical Communications Quarterly*. — 2007. — Vol. 16(1). — P. 13–30.
9. Kravtsov H., Kravtsov D. Knowledge Control Model of Distance Learning System on IMS Standard. *Innovative Techniques in Instruction Technology, E-learning, E-assessment, and Education*. — Springer, 2008. — P. 195–198.
10. Juszczak S. Edukacja na odległość. Kodyfikacja pojęć, reguł i procesów. Toruń: Adam Marszałek, 2002. — 241 p.
11. Leżański J. Platforma e-learningowa jako narzędzie wspomagające proces uczenia się — nauczania matematyki (część I, II). *Matematyka i Komputery*. Czasopismo Grupy Roboczej SNM 2005. Wilkowice: Dla szkoły, 2005. Nr 22. S. 9–12; Nr 23. S. 4–7
12. Shakhovska N., Boyko N., Zasoba Y., Benova E. Big data processing technologies in distributed information systems. *Procedia Computer Science*. — 2019. — Vol. 160 : 10th International conference on emerging ubiquitous systems and pervasive networks (EUSPN-2019), 9th International conference on current and future trends of information and communication technologies in healthcare (ICTH-2019). — P. 561–566.
13. Shakhovska N., Boyko N., Pukach P. The information model of cloud data warehouses. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*. — 2019. — Vol. 871: Advances in intelligent systems and computing III. Selected papers from the International conference on computer science and information technologies, CSIT 2018, September 11–14, Lviv, Ukraine. — P. 182–191

ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ПРИ СТВОРЕННІ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ

Іванова Л. О., Котлик С. В., Соколова О. П.

Показано переваги застосування 3D-принтерів в ювелірній промисловості, показані схеми їх використання для проектування ювелірних виробів з новою формою, поєднаннями матеріалів для лиття та виготовлення вставок (каменів), а також виготовлення виплавлюваних моделей або майстер-моделей. Наведено характеристику сучасних технологій друку та характеристики 3D-принтерів, які застосовуються для виготовлення в ювелірній індустрії виплавлюваних моделей з воску і майстер-моделей з пластика. Показана розроблена схема отримання ювелірних виробів за допомогою FDM 3D-принтера «Malyan desktop 3d printer» в ОНАХТ. Наведено авторський дизайн ювелірних виробів, виконаний технологією лиття в гіпсові форми по виплавлюваних моделях з використанням нових сплавів і формувальної суміші для гіпсових форм на основі мікротальку з використанням 3D-принтера.

The advantages of using 3D printers in the jewelry industry are shown, schemes of their use for designing jewelry with a new shape, combinations of materials for casting and making inserts (stones), as well as making lost-wax models or master models are shown. The characteristics of modern printing technologies and the characteristics of 3D printers used in the jewelry industry for the manufacture of lost wax models and master models from plastic are given. Shown is the developed scheme for obtaining jewelry using the FDM 3D printer «Malyan desktop 3d printer» in ONAFT. The author's design of jewelry made by the technology of casting in plaster molds using investment models using new alloys and molding mixture for gypsum molds based on microtalc using a 3D printer is presented.

3D-друк — це технологія майбутнього. З кожним днем ця технологія задіюється у все в нових сферах: в архітектурі, будівництві, дрібносерійному виробництві, медицині, освіті, ювелірній справі, поліграфії, виготовленні рекламної та сувенірної продукції [1]. Причому в більшості випадків вона дозволяє не тільки спростити виробничі процеси і зробити їх більш швидкими, але і здешевити.

Що стосується виробництва ювелірних виробів, то, без сумніву, 3D-друк зробив революцію в цій галузі. Унікальність, точність і увага до деталей — ключові аспекти якісних ювелірних виробів, і саме в цьому перевага сучасного 3D-друку. Однак термін «3D-друк ювелірних виробів» не обов'язково означає безпосереднє виробництво ювелірних виробів для кінцевого використання. Хоча просторовий друк металом має місце, однак це дорога технологія, яка багато в чому не виправдує

себе фінансово. Найчастіше ювеліри друкують на 3D-принтері деталізовані моделі потрібних розмірів (найчастіше воскові), які пізніше використовуються для виготовлення форм [6; 8; 12; 16].

Виробництво ювелірних виробів за допомогою 3D-принтерів поєднує принципи лиття по виплавлюваних моделях з перевагами цифрового дизайну. За допомогою традиційного лиття дизайнери ювелірних виробів вручну вирізають оригінальний візерунок з воску, поміщають восковий візерунок у форму для випалювання, а потім заливають дорогоцінні метали, такі як золото або срібло, в порожнину форми, щоб створити виливок. Щоб домогтися остаточного зовнішнього вигляду, дизайнери полірують і доводять литий елемент до блиску.

Завдяки цифровому робочому процесу ювеліри спочатку використовують програмні інструменти САПР для створення дизайну виробу в віртуальному вигляді на екрані комп'ютера, потім застосовують 3D-принтер з високою роздільною здатністю для створення шаблонів, які потім можна використовувати в якості форми. Після вигорання створеного шаблону процес йде тим самим шляхом, що й традиційне лиття по виплавлюваних моделях. Завдяки цифровим технологіям зменшується потреба в трудомісткій ручній праці, а сам дизайн легко зберігати, змінювати і відтворювати за необхідності.

Досі складність виробничого процесу робила створення нового ювелірного виробу досить трудомісткою операцією, підвладною тільки професіоналам. Однак застосування 3D-принтерів дозволило розробляти тривимірні віртуальні об'ємні моделі об'єктів різної форми і складності з високою точністю. Побудова віртуальних моделей з використанням певних програм і спеціальних пристроїв дозволяє дизайнеру створювати в заданому масштабі, формі і кольорі кілька варіантів виробів і опрацьовувати їх з використанням нових художніх ідей або технічних рішень (винаходів, корисних моделей, промислових зразків). З декількох варіантів моделей дизайнер спільно з конструктором і технологом вибирають той, який має найбільш високий рівень художньої виразності і пристосований до тих технологій, які є на підприємстві [2].

Історично склалося так, що створення ювелірних виробів було пов'язано з двома технологіями: ручна робота і лиття по виплавлюваних моделях. Обидва методи вимагають значних технічних знань, дуже затратні за часом, а помилки в процесі можуть виявитися дорогими. Але сьогодні цифровий дизайн і 3D-друк покликані серйозно зруйнувати ці вікові практики. Доповнення традиційних процесів

цифровими технологіями відкриває перед ювелірами нові можливості в області дизайну і виробництва, а також відкриває нові можливості індивідуальної настройки для клієнтів.

Формоутворення методом лиття в країнах СНД переважно використовується в дрібносерійному виробництві з метою створення високохудожніх, оригінальних або авангардних виробів з різних сплавів [2]. В технології ювелірного лиття по виплавлюваних моделях в гіпсові форми можливості зміни або підвищення рівня дизайну досягаються за допомогою застосування:

- виплавлюваних моделей, які надають найскладніші форми, поверхневу геометрію і високий рівень чистоти поверхні виробу;
- матеріалу форми, що забезпечує високий рівень відтворюваності поверхні моделі, якість поверхні виливки, а також технологічність її виготовлення;
- матеріалу сплаву, що володіє високим рівнем рідкотекучості, кольорним дизайном дорогоцінного металу, досить високим рівнем технологічних і експлуатаційних характеристик;
- реалізації художніх образів складної геометричної форми в процесі дизайн-проекткування в вигляді малюнків, ескізів або віртуальних 3D-моделей, а також в литих виробах, наприклад, за допомогою друку на 3D-принтерах воскових моделей або майстер-моделей з пластика.

Створення віртуального об'єкта, литої форми і отримання готового виробу ілюструє рис. 1. На ньому представлена модель з воскоподібного матеріалу, роз'ємна гіпсова ливарна форма і готовий ювелірний виріб у вигляді кільця з ювелірним каменем, виконані компанією Invent Promomypinc [11].

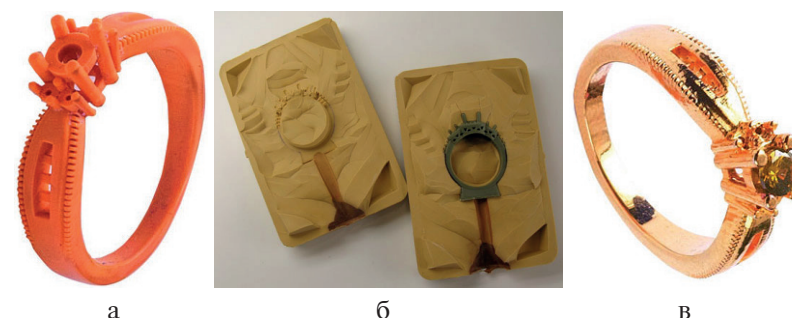


Рис. 1. Воскова модель (а), роз'ємна гіпсова форма (б) і ювелірна лита прикраса з каменем (в)

Досі складність дизайну і виробничого процесу робила прикраси за індивідуальним замовленням дорогим привілеєм. Однак за допомогою цифрових інструментів ювеліри вже почали пропонувати персоналізовані творіння як частину своєї основної послуги або в якості додаткової цінності. Примірки прикрас, надрукованих на 3D-принтері, значно скорочують цикл зворотного зв'язку між дизайнером і покупцем. Ювелір і покупець можуть обговорити дизайн разом, а через годину покупець може потримати і приміряти справжню фізичну модель кільця. У роздрібній торгівлі ювелірними виробами цифровий дизайн на місці в поєднанні зі швидкістю 3D-друку різко скоротив цикл зворотного зв'язку між дизайнером і покупцем. Перехід від дизайну до виробництва стає простіше і швидше, оскільки ручна різьба дорогоцінного предмета більше не є обов'язковою. Зразки для примірки можуть бути адаптовані за запитом клієнта, знову надруковані на 3D-принтері, а потім виготовлятися за допомогою лиття по виплавлюваних моделях, що призводить до значного зниження витрат на виготовлення ювелірних виробів з 3D-друком [5] на замовлення (рис. 2).

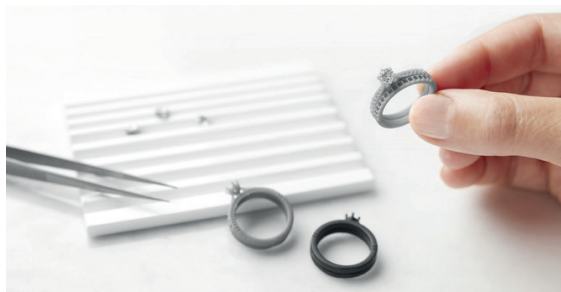


Рис. 2. Зразки прикрас з 3D-друком значно скорочують цикл зворотного зв'язку між дизайнером і покупцем [5]

Прорив в області ливарних смол встановлює нові стандарти якості, доступні для настільного 3D-принтера [3]. 3D-друк ювелірних виробів з Castable Wax Resin від Formlabs поєднує в собі гладку поверхню, характерну для стереолітографічної технології 3D-друку (SLA), з точними налаштуваннями друку. Завдяки точно керованому лазеру незвичайні деталі дизайну — витончена філігрань, рельєфний текст і деталізована оправа з каменю — можна відобразити з дивовижною чіткістю.

Цифрові інструменти спрощують не тільки настройку ювелірних виробів, але і їх масове виробництво. Форми з вулканізованої гуми використовуються для виробництва воскових моделей у великій кількості для лиття по виплавлюваних моделях, але «основний» візерунок традиційно виготовляється з воскового лиття по виплавлюваних моделях, вирізаного вручну. 3D-принтери можуть створювати майстер-моделі, які використовуються для формування форм для вулканізації при кімнатній температурі (RTV), і навіть міцних форм для вулканізації при високій температурі. Прямо надруковані на 3D-принтері зразки ювелірних виробів можна використовувати для вулканізації при кімнатній температурі (RTV) і вулканізації високотемпературного натурального каучуку.

З початку 1980-х в ювелірному виробництві почали інтенсивно розвиватися технології формування тривимірних об'єктів не шляхом видалення матеріалу (точіння, фрезерування, електроерозійна обробка) або зміни форми заготовки (кування, штампування, пресування), а шляхом поступового нарощування (додавання) матеріалу або зміни фазового стану речовини в заданій області простору. На даний момент значного прогресу досягли технології пошарового формування тривимірних об'єктів за їх комп'ютерним образом [2].

Подібні технології інакше називаються адитивними (Additive Fabrication, AF-технології), від англійського слова additive — «додавання». За традицією їх ще часто називають «технологіями швидкого прототипування» або RP-технологіями (від Rapid Prototyping), але ця первинна назва досить швидко застаріла, оскільки на сучасному етапі розвитку ці технології використовуються не стільки для виготовлення моделей і макетів, скільки для створення кінцевих продуктів, зокрема серійних, до яких термін «прототип» застосовувати некоректно. За кордоном в ювелірній промисловості використовується кілька типів адитивних технологій, які відрізняються один від одного методом побудови моделі, матеріалами, з яких ці моделі формуються, тривалістю періоду побудови і чистотою поверхні готового виробу [7].

Стереолітографія (SLA — Stereo Lithography Apparatus). У цій технології в якості модельного матеріалу використовуються фотополімери — спеціальні світлочутливі смоли. Ультрафіолетовий лазер пошарово переводить поперечним перерізом моделі на поверхню ємності з фотополімером, який під дією світлового пучка лазера твердне. Якість поверхні моделі залежить від кроку побудови. SLA-технологія дає найкращий результат при виготовленні ювелірних майстер-моделей.

Одну з найбільш просунутих SLA-установок нову концепт-систему DigitalWax 030 на виставці в Базелі представила італійська фірма DWS.

Лазерне спікання (SLS — Selective Laser Sintering). У цьому випадку також використовується лазер, але лазерний промінь є не джерелом світла, а джерелом тепла. Лазер пошарово спікає частки порошку, перетворюючи його в тверду масу згідно з вибудованою моделлю. У якості порошкових матеріалів використовується поліамід, полістирол і порошки деяких металів. Недоліком технології, з точки зору використання в ювелірній галузі, можна вважати високу вартість і великі габарити SLS-машин.

Технологія багатосопельного моделювання (MJM Multi Jet Modelling). У цій технології побудова моделі ведеться шляхом нанесення розплавленого модельного воску за допомогою багатоструменевих головок, як в струменевому принтері. Застосовується для безпосереднього вирощування воскової моделі і подальшого отримання металевої виливки методом лиття в керамічні оболонкові або гіпсові форми. Технологія забезпечує можливість швидкого отримання литого виробу без виготовлення ливарного оснащення для отримання виплавленої моделі.

Моделювання за допомогою склеювання (LOM — Laminated Object Modeling). В технології використовується пошарове склеювання плівкових матеріалів, наприклад, полімерної плівки або ламінованого паперу, з подальшим формуванням («вирізанням») моделі за допомогою лазерного променя. Матеріал з подаючого рулону надходить в робочу зону і приклеюється до деталі, потім лазерний промінь вирізає контур чергового шару. Для того, щоб забезпечити згодом легкість видалення невикористаної частини матеріалу, вона розрізається лазером на дрібні прямокутні шматки.

LOM — найбільш дешева технологія за витратними матеріалами і ресурсом лазера, вона дуже ефективна для великогабаритних виробів, оскільки на відміну від інших технологій виробляє обробки не площі, а контуру шару. Моделі з ПВХ-плівки можуть використовуватися в якості майстер-моделей при литті в силіконові форми поліуретанових смол, а також воскових моделей для подальшого лиття по виплавлюваних моделях. Основний недолік — невисока якість поверхні, складність її обробки, низька міцність одержаних моделей.

Для виготовлення виплавлюваних (видалених) моделей для ювелірного лиття необхідні технології та пристрої (3D-принтери), які забезпечують високий рівень відтворюваності і чистоти поверхні моделей. Наприклад, це можуть бути технології багатосопельного мо-

делювання або стереолітографії. Для виготовлення реальної моделі з воскоподібних матеріалів за віртуальною моделлю можна, наприклад, використовувати машини фірми DWS (Італія). Переваги зазначених машин перед аналогами — компактність, екологічність і невелика вага [4].

3D-принтери для ювелірних виробів повинні бути точними і надійними. З цієї причини принтери, які використовуються для цього завдання, включають всі технології на основі смол (такі, наприклад, як моделювання наплавленням (FDM) або селективне лазерне спікання (SLS). Використовуючи відповідний матеріал, можна дуже легко вивільнити форму від пластикової моделі. Клейкий віск, наприклад, призначений для «чистого вигоряння», що означає, що він переходить безпосередньо в газ при досить високій температурі.

На ринку є багато 3D-принтерів, і у всіх є плюси і мінуси в залежності від того, як їх планується використовувати. При виборі 3D-принтерів для виробництва ювелірних виробів необхідно враховувати такі характеристики:

- висока роздільна здатність: хоча можна отримати пристойну роздільну здатність навіть з FDM-принтерами високого рівня, більшість цікавить більш висока роздільна здатність, яка можлива з бюджетними полімерними машинами;
- плавна експозиція: вибираються в першу чергу SLA, DLP, або вони можуть виконувати 3D-друк металами;
- широка сумісність. Важливо мати 3D-принтер, який може друкувати з використанням різних матеріалів, в тому числі матеріалів сторонніх виробників;
- краще співвідношення ціни і якості.

В даний час в ювелірній промисловості поширені такі типи 3D-принтерів від різних виробників [4; 18]:

Formlabs Form 3. Фірма Formlabs розробила спеціальну ливарну смолу SLA, яка дозволяє користувачам виготовляти литі ювелірні вироби. Для обробки виробу Formlabs пропонує два окремих модуля: Form Wash для лиття моделей і Form Cure для їх затвердіння.

DigitalWax 029. Досить доступна установка в області швидкого прототипування, розроблена спеціально для ювелірного виробництва, використовує новітній принцип фокусування лазерного променя.

Photocentric IC Precision 1.5. Це настільний 3D-принтер, який виробляє вироби зі смоли, дає професійні результати і простий у використанні.

Peopoly Moai 130. Peopoly була заснована в 2015 році підприємцями, які створювали 3D-принтери FDM на основі таких проєктів, як RepRap. Незабаром після цього, коли вони виявили, що роздільна здатність FDM-відбитків була занадто низькою для їх смаків, вони переключилися на створення доступного, але якісного SLA 3D-принтера. Так народився Peopoly і почався проєкт Moai. Примітною особливістю Moai 130 є його нагрівальний елемент камери, який повинен допомогти запобігти збою друку, коли смола занадто холодна. Також є зручна УФ-лампа для постобробки.

Zortrax Inkspire. Незважаючи на те, що принтер заснований на ЖК-технології з ультрафіолетовим випромінюванням, він забезпечує ідеально гладкі і точні відбитки.

SolidScape S300 Series. Це машина початкового рівня, і поряд зі своїм попереднім принтером S360 вони є двома найбільш продаваними ювелірними 3D-принтерами SolidScape. Особливість цих принтерів полягає в тому, що вони створюють деталізовані воскові моделі, які не потребують обробки.

Perfactory Xeed. Відносно недорогий принтер, уміє друкувати моделі і готові вироби з високою швидкістю. Головна особливість принтера полягає в тому, що він використовує світлодіодне джерело для створення моделі, а це дозволяє зробити її максимально точною.

DWS 029JL2. Це машина SLA підходить для малих і середніх виробників ювелірних виробів.

EnvisionTEC Vida cDLM. cDLM — це технологія, заснована на цифровій обробці світла (DLP). Відмінність полягає в безперервному русі робочої пластини при друку моделі. Це значно скорочує час друку, а оскільки модель друкується дуже швидко, ювеліри можуть буквально за кілька годин підготувати прототипи.

EOS M100. Це металевий 3D-принтер початкового рівня. В основі його лежить технологія прямого лазерного спікання металу (DMLS), це означає, що він може безпосередньо друкувати ювелірні вироби з використанням металевих порошків.

ProJet CP 3510. Принтер друкує деталі з воску і застосовується в основному для лиття по виплавлюваних моделях.

Принтери лінійки ProJet є найбільш поширеними в Україні завдяки своїй універсальності, високій точності, співвідношенню ціна / якість, і використанню доступних матеріалів. Ця категорія 3D-принтерів представлена моделями ProJet CP 3510, ProJet CPX 3510, ProJet

CPX 3510 Plus, що відрізняються між собою точністю, роздільною здатністю і швидкістю роботи [10].

ProJet CP 3510 здатний виробляти великі партії шаблонів будь-якої форми, що складаються на 100 % з воску RealWax, з гладкою поверхнею і високою точністю виконання, що представляє широкі можливості його застосування.

ProJet CPX 3510 — більш вдосконала модель 3D-принтера, що володіє підвищеною точністю і високою роздільною здатністю. В основному ProJet CPX 3510 призначений для отримання мініатюрних ливарних моделей з воску з високою якістю поверхні, і тому використовується в ювелірній промисловості. ProJet CPX 3510 має можливість працювати в двох режимах: High Definition (HD Mode) і Xtrem High Definition (XHD) Mode. Висока роздільна здатність, мінімальна товщина стінки дозволяють створювати прототипи ювелірних виробів з високою точністю, використовуючи їх для лиття по виплавлюваних моделях.

ProJet CPX 3510 Plus на відміну від ProJet CPX 3510 здатний вирощувати деталі в режимі UHD — Ultra High Definition (надвисока чіткість), з товщиною шару всього 16 мікрон, для отримання дуже високої деталізації та ідеальної якості поверхні моделей.

ProJet CPX 3510 призначений для виробництва шаблонів що складаються на 100 % з воску, з високою якістю поверхні, максимальним ступенем деталізації і винятковою точністю. Сприяє скороченню часу друку, дає можливість великосерійного виготовлення продукції за індивідуальним замовленням і покращує ефективність і продуктивність процесу лиття. Вихід придатного продукту при литті аналогічний стандартним відливальним воском, і ефективність шаблонів не поступається восковим шаблонами, що застосовуються у традиційних процесах і обладнанні, заснованих на литті по виплавлюваних моделях.

Переваги ProJet CPX 3510:

- програмне забезпечення ProJet TM Accelerator;
- засоби оптимізації автоматичного розміщення деталей і друку;
- можливість друку в кілька рівнів і в кілька осередків;
- широкий набір інструментальних засобів редагування файлу деталі;
- автоматичне створення підтримки.

Застосування 3D-принтера дозволяє здійснювати розробку дизайну прикрас в програмному забезпеченні, а процес друку моделі по-

вністю автоматизувати. На рис. 3 представлені види виробів з воску, отриманих на принтері ProJet CP 3510 для лиття виробів різного призначення в умовах великосерійного виробництва [11].



Рис. 3. Приклади воскових моделей, одержаних з використанням 3D-принтера ProJet CP 3510 [10]

У принтері ProJet CP 3510 використовується технологія MJM — Multi Jet Modeling. Її особливість полягає в тому, що вона універсальна, оскільки дозволяє друкувати моделі з різних матеріалів у вигляді пластику або воску [9]. Саме тому технологія MJM — Multi Jet Modeling застосована в більшості принтерів ProJet.

На рис. 4 наведена принципова схема створення моделей за технологією MJM.

Створення моделі з використанням 3D-принтера за схемою, представленою на рис. 4, здійснюється таким чином.

1. Програмним забезпеченням підготовлений CAD-файл майбутньої 3D-моделі розбивається на шари перетину, які послідовно відправляються на 3D-принтер для друку.

2. Система подачі матеріалу 3D-принтера нагріває використовуваний матеріал до температури плавлення (близько 80 °C). Розплавлений матеріал (в залежності від моделі 3D-принтера це або фотополімер, або віск) подається в голівки.

3. Друкуюча голівка через групи сопел випускає на горизонтальну рухоми платформу розплавлений матеріал, формує черговий шар майбутньої моделі.

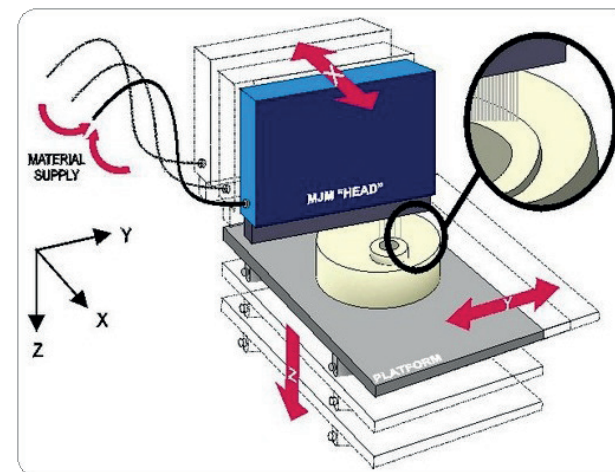


Рис. 4. Принципова схема створення воскових моделей за технологією MJM

4. Якщо 3D-друк виконується з воску, то після нанесення шару на будівельну платформу відбувається його природне затвердіння під дією температури (оскільки температура в робочій камері нижче, ніж в системі подачі матеріалу). Після цього друкуючою голівкою наноситься наступний шар і процес повторюється.

Після закінчення друку останнього шару за допомогою спеціального розчину видаляється матеріал підтримки і модель готова до використання.

Переваги технології MJM:

- Можливість створення одночасно декількох деталей, розташованих на будівельній платформі. Моделі, розміри яких перевищують габарити робочої зони, можна будувати по частинах, а потім збирати в єдине ціле (наприклад, склеюючи окремі частини).

- Простота технології дозволяє створювати прототипи всього за кілька годин (в залежності від розміру).

- Після закінчення побудови виріб можна відразу використовувати без подальшого доопрацювання.

- Завдяки безпечній технології й екологічно чистим моделюючим матеріалам для експлуатації обладнання не потрібні спеціальні умови. 3D-принтери ProJet можна розміщувати безпосередньо в приміщеннях конструкторських відділів поруч з робочими місцями розробників.

Можна об'єднати принтери RealWax, ProJet, CPX в одну лінійку, тому що вони всі використовують технологію багатоструменевого моделювання MJM (Multi_Jet_Modeling). Ці моделі підходять для лиття ювелірних виробів, одягу, дрібних медичних приладів, медичних імплантатів, електричних компонентів, статуеток, предметів для колекціонування і багато іншого.

Ця лінійка 3D-принтерів при виготовленні моделей використовує матеріали на основі натурального воску з серії RealWax VisiJet. Як матеріал підтримки використовується восковий матеріал VisiJet S400.

Шаблони RealWax, ProJet, CPX ідеально підходять для лиття ювелірних виробів, а також предметів екіпіровки, виробів медичного призначення з високим ступенем деталізації, електричних компонентів, статуеток, копій, предметів колекціонування.

На 3D-принтерах, що використовують пластик, також потенційно можливе виготовлення роз'ємного оснащення для подальшого виготовлення у ньому виплавлюваних моделей методом пресування. При цьому для дрібносерійного виробництва потенційно може бути використаний недорогий 3D-принтер [17]. Наприклад, в Одеській академії харчових технологій для навчання студентів технології 3D-друку і розробки технології і виготовлення роз'ємного оснащення для воскових моделей в ювелірному литті використовується 3D-принтер «Malyan desktop 3d printer» [2]. Цей принтер (рис. 5) є аналогом поширеного принтера «MakerBot Replicator 2 Desktop 3d printer» (технологія FDM).

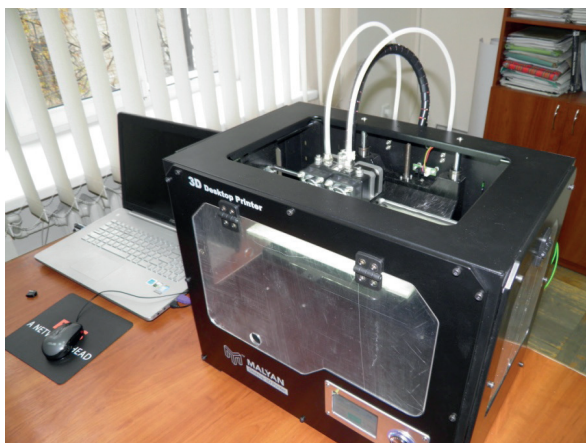


Рис. 5. Принтер «Malyan desktop 3d printer»

Виготовлення зазначених принтерів в Китаї та інших країнах стало можливим внаслідок закінчення в 2009 році терміну дії патенту на технологію FDM компанії Stratasys. Особливість цієї технології — низька вартість, тому ціна принтера на порядок нижче його промислових аналогів.

Принтери є модифікованими копіями відомого принтера MakerBot Replicator DUAL з деякими конструктивними змінами, які, об'єктивно, вигідно відрізняють його від прототипу і ряду інших копій. З прототипом принтер (рис. 5) має такі загальні конструктивні і технологічні можливості:

1. практично ідентична геометрія і розміри;
2. ідентична схема приводів столу і голівки;
3. два екструдера;
4. можливості друку з карти пам'яті з ПО ПК Replicator G або Maker Ware;
5. для управління функціями без підключення до ПК на передній панелі є LCD-дисплей і 5 кнопок управління;
6. термостол з підігрівом для зниження ефекту викривлення остиглого пластика і більш щільного прилипання формованого 3D-друком виробу до столика;
7. світлодіодне підсвічування на камери друку.

Однак є і відмінності в китайській моделі від прототипу:

- виготовлення дешевого корпусу з дерева лазерною різкою, що знизило вартість принтера без погіршення якості його роботи і дизайну;
- зміни в компонованні двигуна осі Y, що дозволило більш точно розподілити зусилля двигуна і знизити вимоги до точності його установки;
- напрямні головки закріплені за допомогою спеціальних прокладок, жорстко фіксують їх у дерев'яному корпусі;
- все напрямні і механізми прямі, жорсткі, виконані зі сталі;
- термостол поставляється зі склом і жорстко зафіксованими напрямними куточками, що дозволяє легко встановлювати і фіксувати скло на нагрівач з високою точністю;
- модернізований механізм заправки нитки і притискний механізм двигуна екструдера і фіксатор кабель-каналів у нитки.

Тому в своєму класі цей принтер (рис. 5) за якістю друку не поступається кращим аналогам. Однак Sd-карти, що входять в комплект MakerBot Replicator, призначені тільки для виготовлення п'яти відносно простих об'єктів із пластику. Тому співробітники кафедр електромеханіки, мехатроніки та інженерної графіки і інформаційних технологій та кібербезпеки ОНАХТ проводять спільні дослідження

з розробки додаткових прийомів з метою можливості друку на вказаному принтері майстер-моделей з пластмаси для подальшого виготовлення з них силіконових розрізних або роз'ємних (складових) форм з метою пресування воскових моделей за відомою технологією [13–15]. Після затвердіння воску модель витягується, її припаюють до літнкової системи і формують в опоках з гіпсу.

Для застосування 3D-принтера «Malyan desktop 3d printer» у виготовленні майстер-моделей з пластика і реалізації процесу ювелірного лиття застосовується така схема [2]: створення віртуальної комп'ютерної моделі → друк майстер-моделі з пластику → виготовлення силіконової роз'ємної форми → виготовлення виплавленої моделі з матеріалу, що містить віск в роз'ємні форми → складання моделі з ливниковою системою → виготовлення по моделі роз'ємної гіпсової форми → заливка і затвердіння ювелірного сплаву → вилучення та доопрацювання ювелірної виливки. Розробка віртуальної комп'ютерної моделі проводиться за допомогою відомого програмного забезпечення: AutoCAD, Компас 3D, Maker Bot Maker Ware (слайсер).

На рис. 6 представлений дизайн ювелірних виробів, виконаних за участю співробітників ОНАХТ на підприємстві в м. Одесі з різних сплавів технологією лиття в гіпсові форми на основі мікротальку з використанням 3D-принтера [2]. Склади формувальних сумішей, сплавів і способи лиття проходять стадію патентування в Україні.



Рис. 6. Авторський дизайн литих ювелірних виробів, виконаних технологією лиття в гіпсові форми по виплавлених моделях на підприємстві «Одеський торговий дім Фаберже»

Висновки

- Застосування 3D-моделювання розширює можливості і скорочує час проектування ювелірних виробів з новою формою, поєднаннями матеріалів для лиття та виготовлення вставок (каменів), а також виготовлення виплавлених моделей або майстер-моделей з використанням технологій друку на 3D-принтерах.
- Наведено характеристики сучасних технологій друку та характеристики 3D-принтерів, застосовуваних для виготовлення виплавлених моделей з воску і майстер-моделей з пластику.
- Розроблено схему отримання ювелірних виробів за допомогою FDM 3D-принтера «Malyan desktop 3d printer» в ОНАХТ.
- Наведено авторський дизайн ювелірних виробів, виконане технологією лиття в гіпсові форми по виплавлених моделях з використанням нових сплавів і формувальних сумішей для гіпсових форм на основі мікротальку з використанням 3D-принтера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Канеса И., Фонда С., Зенаро М. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития. *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics*. — 2013. — 265 с.
2. Применение инновационных технологий и 3D-печати в дизайне ювелирных изделий: монография / Л. А. Иванова, С. В. Котлик, М. А. Помазенок, О. П. Соколова. — Одесса: Астропринт, 2018. — 260 с.
3. Evans B. *Practical 2D Printers*. Apress, 2012. — 235 p.
4. 2020 Best 3D Printers for Jewelry [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://all3dp.com/2/3d-printer-for-jewelry-how-they-work-which-to-choose/>
5. How 3D Printing is Disrupting the Jewelry Industry [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://formlabs.com/blog/3d-printed-jewelry/>
6. Решение по 3D моделированию ювелирных изделий [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.sapphire.ru.
7. Аддитивные технологии в ювелирной промышленности. — М.: Ювелирное обозрение, 2011. — № 8. — С. 21.
8. 3D-принтер в сфере изготовления ювелирных украшений [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://3dprinter.ua/3d-printer-v-sfere-izgotovleniya-juvelirnyh-ukrashenij/>
9. 3D-технологии в ювелирном производстве [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://blog.iqb.ru/3d-printing-jewelry/>
10. Литье по мастер-моделям: успех в ювелирном деле сегодня во многом обеспечивается технологиями 3D-печати [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.invent3d.ru/master-model-for-goldsmith>

11. Андронов А. В. Изготовление литых деталей с привлечением метода 3D-печати. *САД/САМ/CAE Observer*. — М., 2014. — № 7 (91).
12. Революция в производстве ювелирных изделий или ещё одна грань 3D-печати [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.invent3d.ru/3d-print-for-jewelers>
13. Новиков В. П. Ручное изготовление ювелирных украшений / В. П. Новиков, Павлов В. С. — Санкт-Петербург: Политехника, 1991. — 204 с.
14. Лифшиц В. Б. Ювелирное изделие своими руками: справочник / В. Б. Лифшиц. — М.: ОНИКС, 2008. — 224 с.
15. Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов. — Саратов: Машгиз, 2001. — 130 с.
16. Когда 3D — не кино, а ювелирный дизайн [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://sokolov.ru/blog/about-jewelry/jewelry-factory/kogda-3d-juvelirnyj-dizajn/>
17. Бизнес-идея применениз 3D-принтера для ювелирных изделий [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://gorizontgel.ru/biznes-ideya-primenenie-3d-printera-dlya-yuvelirnyh-izdelij/>
18. 3D-принтеры для ювелиров — лучшие в 2020 г. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ad-ma.ru/3d-printer-dlja-juvelirov/>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ 3D-ТУРУ ОНАХТ

Корнієнко Ю. К., Костюк М. Т.

Розглядається створення віртуального 3D-туру одного з корпусів ОНАХТ — Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського. Тур буде завантажений на сайті академії для подальшого використання у профорієнтаційній роботі. Це дасть змогу студентам, викладачам та абітурієнтам ознайомитися з навчальним закладом у віртуальному вигляді, за допомогою переходів до основних об'єктів чи місць.

This paper considers the creation of a virtual 3D-tour of one of the buildings of ONAFT — V. S. Martynovsky Institute of Refrigeration, Cryotechnologies and Ecoenergetics. The tour will be uploaded to the academy website for further use in career guidance work. This will allow students, teachers and applicants to get acquainted with the institution in a virtual form, through transitions to major facilities or places.

У нашому прогресуючому світі 3D-моделювання дає можливість полегшення роботи в різних галузях. Глобалізація, інтеграція науки і нові технології диктують свої правила. Багато методів досягли зрілості та переносяться на обладнання. 3D-реалістичне подання набуває значення в різноманітних додатках, таких як віртуальні класи, віртуальні конференції, медицина або там, де необхідна віддалена допомога візуального введення.

Віртуальні екскурсії — це віртуальні тури, які дозволяють глядачам оглянути основні об'єкти, що їх цікавлять, ще до реального їх відвідування. Є можливість озвучування презентації, вбудовування в неї пояснювальних написів, інтеграції у віртуальну подорож географічних карт і планів приміщень з можливістю орієнтації по сторонах світу.

Тема є актуальною тому, що має позитивні особливості:

- 1) легка демонстрація (віртуальна екскурсія) території та обладнання об'єктів глядачам;
- 2) можливість застосування турів у різних сферах діяльності людини;
- 3) можливість перегляду для людей з вадами зору і слуху;
- 4) відвідування значних місць, подорож за кордон у вашому смартфоні чи комп'ютері.

Основними проблемами тематики дослідження є:

- 1) великі об'єми пам'яті турів через кількість фотографій, з яких вони складаються;
- 2) програми для розробки 3D-турів, які не є безкоштовними та містять більш розширений спектр функцій, що заважає комфортно створенню задач;
- 3) наявність дорогого фотообладнання, а саме: фотоапарат, штатив, автоматизована система панорамної зйомки і т. ін.

Віртуальні тури з кожним роком стають все популярнішими, тому на ринку постійно з'являються компанії, готові запропонувати свої послуги і занурити клієнта в абсолютно новий світ — світ віртуальної реальності. Сьогодні це актуальний рекламний продукт, що дає змогу повномасштабно показати клієнту товар чи послугу, набагато більш реалістично, ніж при перегляді фотографій і відеороликів, читанні описів.

Багато компаній вже оцінили переваги використання віртуального туру в якості рекламного інструменту й активно його використовують. Наявність власного віртуального туру це не тільки важлива

складова іміджу, яка дозволяє позиціонувати себе як сучасну компанію, яка використовує високі технології, а й вигідна інвестиція з безстроковим періодом дії.

Основною метою дослідження є підвищення зацікавленості одним з підрозділів Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ) — Інститутом холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського та заклик до його відвідування за допомогою створення 3D-туру. Таким чином, веб-сайт інституту з можливістю перегляду тривимірної візуалізації прогулянки інститутом та його території значно підвищить рейтинг ОНАХТ та приверне увагу абітурієнтів до академії. Студенти та абітурієнти можуть використовувати тур для орієнтування в академії, знати, де знаходяться деканати, бібліотеки, конференц-зали тощо (рис. 1). Крім того, такий 3D-тур може зацікавити студентів і викладачів не тільки цього, а й інших закладів освіти, оскільки він буде розміщений у відкритому доступі. В подальшому тур можна використовувати на Днях відкритих дверей, ярмарках вакансій, це буде зручно для швидкого ознайомлення з академією. Головною перевагою 3D-туру для користувача, замість звичайних фото, є створення «ефекту присутності» в точці зйомки.



Рис. 1. 3D-панорама конференц-зала

У свою чергу, віртуальний 3D-тур — це набір таких панорам, переміщення між якими відбувається за допомогою спеціальних ділянок на панорамах. Досить тільки клацнути мишею по такій точці або області, і виникне ефект переміщення на іншу панораму. Все це створює унікальні можливості для створення віртуальних турів відомими місцями, музеями і галереями з повним зануренням у віртуальну реальність.

Для того, щоб створити правильний 3D-тур приміщення, обов'язково треба мати план. Слідуючи цьому плану, можна з легкістю розібратися, де саме знаходиться той чи інший кабінет. В цьому турі використовувався план корпусу Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського, який є в схематичному вигляді на сайті ОНАХТ. Починається тур з точки входу у корпус Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського. На плані можна побачити повну назву інституту українською та англійською мовами, правіше розміщена меморіальна дошка пам'яті видатного радянського вченого, ректора інституту, професора Володимира Сергійовича Мартиновського.

Перший поверх складається з панорам головного холу, сходів, обчислювального центру (ОЦ) № 1 та коридорів, які ведуть до кабінетів:

Кабінет № 103 — Навчально-наукова лабораторія «Музей обчислювальної техніки та інформатики» — в музеї представлені більше ста різноманітних експонатів, які стосуються різних періодів розвитку обчислювальної техніки. В музеї проводяться лабораторні заняття з дисциплін «Архітектура комп'ютера», «Комп'ютерні системи», «Периферійні пристрої» (рис. 2).



Рис. 2. Кінцевий вигляд панорами «Навчально-наукова лабораторія «Музей обчислювальної техніки та інформатики»

Кабінет № 108 — Зала засідань — проводяться засідання вчених рад, спеціалізованих рад, конференції, семінари тощо.

Кабінет № 109 — Лабораторія-музей кріогенної техніки — в музеї проводяться досліди і тестування кріогенної техніки. Можна ознайомитися з вихровими трубами (безмашинне джерело тепла і холоду), двигунами зовнішнього згорання (високо-, низькотемпературні двигуни Стерлінга), властивостями й особливостями вакууму (кипіння рідин, звукові хвилі, гравітація, горіння) та ламповою технікою (світіння інертних газів (гелій, неон, аргон, криптон), радіометр Крукса).

Обчислювальний центр, який налічує 5 комп'ютерних класів.

З першого поверху можна здійснити перехід на другий поверх за допомогою хотспотів біля бібліотеки та головних сходів або вийти на вулицю.

Другий поверх складається з панорам головних сходів, ОЦ № 2 (рис. 3) та коридорів, які ведуть до читальної зали. З другого поверху можна здійснити перехід на третій і перший поверхи за допомогою хотспотів біля головних сходів і бібліотеки.



Рис. 3. Кінцевий вигляд панорами «ОЦ № 23»

Третій поверх складається з панорам головних сходів та коридорів, які ведуть до актовій зали, деканата факультету комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту, лекційної мультимедійної аудиторії № 314 (рис. 4).

Фотопанорами створюються з декількох спеціально підготовлених фотографій, що перекривають одна одну, які потім «зшиваються» за допомогою різних програм в єдину панораму. У фотоапараті

повинна бути передбачена функція фіксації експозиції — ручний режим установки витримки і діафрагми, а також ручний режим установки балансу білого, завдяки чому фотографії не будуть відрізнятися одна від іншої яскравістю і контрастністю.



Рис. 4. Кінцевий вигляд панорами «Кабінет № 314»

Одним з важливих моментів створення панорами є необхідність обертання камери навколо нодальної точки об'єктива. Нодальна точка — це точка в об'єктиві камери, де перетинаються промені світла, що йдуть до матриці. При обертанні камери навколо цієї точки відсутній ефект паралаксу об'єктів.

При здійсненні зйомки фотоапарат був переведений в повністю ручний режим, який позначається символом «М». Виходячи з освітлення, були відрегульовані значення ISO, діафрагми, витримки, зафіксовано баланс білого. Фотографії зберігалися в форматі RAW, що надає більшу можливість маніпулювати отриманими зображеннями. Для кольорової корекції використовувався редактор Adobe Lightroom. Для регулювання тону найчастіше буває задіяна експозиція, контраст, тіні тощо.

Після того, як були отримані зображення, можна переходити до склеювання їх в панораму. Роботу починали з завантаження фотографій, призначених для склеювання, в програмі PTGui (рис. 5). Далі програма запускає свій алгоритм аналізу знімків, аналізує всі вихідні кадри, перекриття області сусідніх кадрів та генерує контрольні точки. Після цього PTGui поєднує фотографії та проводить їх оптимізацію.

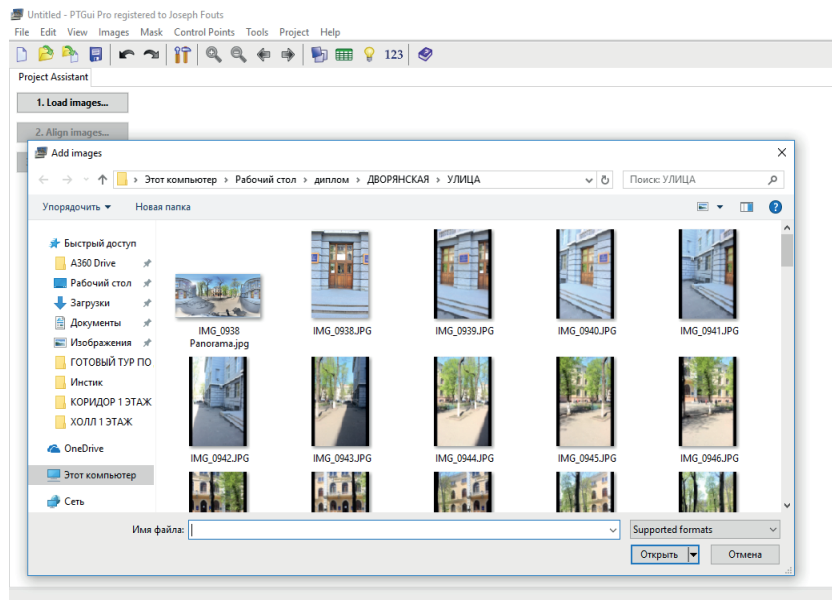


Рис. 5. Завантаження фотографій в програму PTGui

Для досконалого склеювання панорами, тобто склеювання без видимих «швів», дистанція між парами контрольних точок повинна бути мінімальною. В процесі оптимізації розраховується, яким чином повинні трансформуватися і вирівнюватися окремі кадри панорами, щоб мінімізувати дистанцію між контрольними точками.

Після того, як зображення було збережено, його необхідно обробити, для цього використовувалась програма Adobe Photoshop. Для того, щоб замалювати неточності, можна використовувати різні варіанти, оскільки Adobe Photoshop дуже розвинута програма з величезним інструментарієм (рис. 6). В даному випадку використовувався інструмент «заливка з урахуванням вмісту».

Після того, як були створені і відредаговані всі проекції, їх потрібно об'єднати в віртуальний тур, для цього використовувалась програма Panov2VRpro.

Після завантаження зображень в програму необхідно в першу чергу виправити zenit (там може бути чорна пляма) та надир, на якому у будь-якому разі буде видно штатив. В даному випадку zenit зшився нормально, тому немає необхідності його редагувати. Для редагуван-

ня надиру потрібно обрати інструмент «заплатки», позначений пластирем. Після обрання інструмента необхідно виділити ту область, яку потрібно виправити. Після цього область необхідно редагувати, зробити експорт цієї області як звичайної картинки чи іншого формату, в даному разі це формат «psd». В даному випадку ми обрали округлу фотографію з зображенням повного герба ОНАХТ.

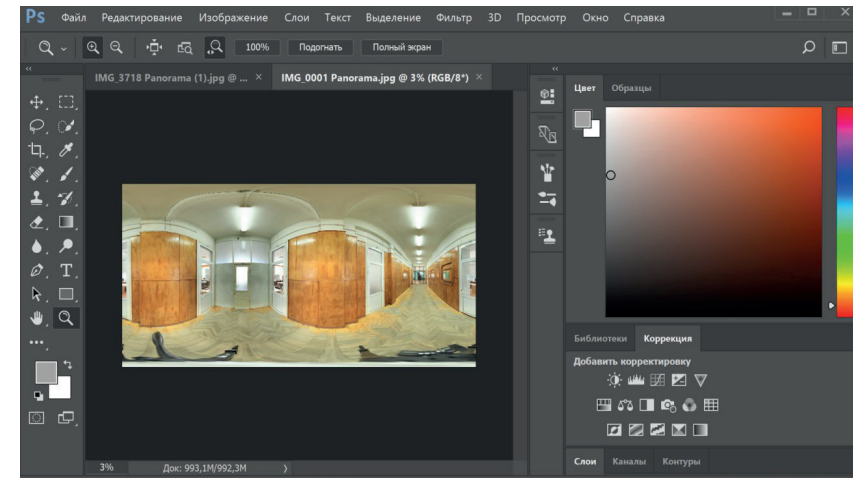


Рис. 6. Редагування в Adobe Photoshop

Після того, як всі зображення були редаговані, можна приступити до створення локацій. Для створення точок переходу використовується вкладка «Точки активних зон». Після вибору цієї функції необхідно двічі клацнути на робочій області, з'явиться «ціль» (мішень), її можна помістити у будь-яку частину панорами. В параметрах активної зони необхідно обрати панораму, куди буде переміщено користувача.

Таким чином, весь процес створення віртуального туру зводиться до таких дій:

- 1) Здійснення фотозйомки об'єктів, які увійдуть у віртуальний тур;
- 2) Обробка отриманих результатів, створення з ряду окремих фотознімків набору 3D-панорам;
- 3) Програмування ефектів інтерактивності і виготовлення віртуального туру (програмування переходів). Відображення створеного туру в браузері показано на рис. 7.

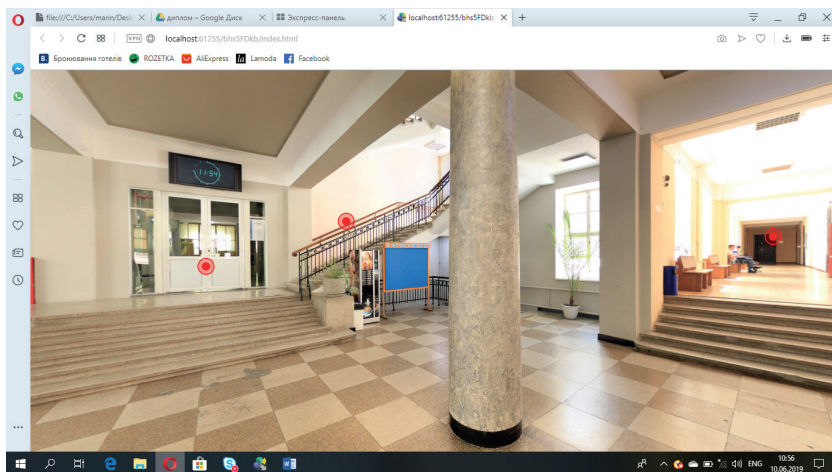


Рис. 7. Відображення туру в браузері

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Віртуальний тур і сферичні панорами: [Веб-сайт]. Одеса, 2019. URL: <https://3dsfera.com.ua/>
2. Программы для создания виртуальных туров: [Веб-сайт]. Одеса, 2019. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=15669>
3. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3d, SolidWorks, Inventor: учебное пособие. СПб.: Питер-Пресс, 2013. 304 с.

МОДЕЛІ ФАКТОРІВ ПРОТОТИПУВАННЯ ВЕБ-РЕСУРСУ

Сеньківський В. М., Піх І. В., Кудряшова А. В.

Розглянуто процес прототипування ВЕБ-ресурсів. Виокремлено множини факторів впливу на якість досліджуваного технологічного процесу, а саме: тип сайту, технічне завдання, контент, пошукові та користувацькі дослідження, персонажі, карта історій, інформаційна архітектура.

Побудовано семантичну мережу зв'язків між факторами. Синтезовано підпорядовані ієрархічні дерева у вигляді орієнтованих графів, що відтворюють прямі та опосередковані впливи і залежності між факторами.

Встановлено за методом ранжування умовні вагові значення пріоритетного впливу факторів на формування якості процесу прототипування ВЕБ-ресурсу.

Описано та застосовано методи багатокритеріальної оптимізації та аналізу ієрархій, у результаті чого запроєктовано матрицю попарних порівнянь — формалізований аналог числового вираження результатів взаємного попарного порівняння факторів. Здійснено опрацювання матриці за спеціальним алгоритмом, інтерфейс імітаційної моделі якого відображено у тексті публікації. Отримано оптимізовані вагові значення факторів, відображені розрахованими нормалізованими компонентами головного власного вектора матриці попарних порівнянь. Виконано аналіз критеріїв достовірності реалізованих обчислювальних процедур за відомою методикою. У підсумку запроєктовано оптимізовану багаторівневу структурну модель пріоритетного впливу факторів на процес прототипування ВЕБ-ресурсу.

The process of web resources prototyping has been considered in the paper. A set of factors influencing the quality of the studied technological process has been identified, namely: website type, technical task, content, search and user research, characters, history map, information architecture.

A semantic network of connections between factors has been constructed. Subordinate hierarchical trees have been synthesized in the form of oriented graphs that reproduce direct and indirect influences and dependencies between factors. The conditional weight values of the factors priority influences on the formation of the quality of the web resource prototyping process have been established by the ranking method.

Methods of multicriteria optimization and analysis of hierarchies have been described and applied, and as a result, a matrix of pairwise comparisons has been designed — a formalized analogue of numerical expression of the results of the factors mutual pairwise comparison. The matrix has been processed according to a special algorithm, the simulation model interface of which is presented in the paper. The optimized weight values of the factors reflected by the calculated normalized components of the main eigenvector of the pairwise comparisons matrix have been obtained. The analysis of reliability criteria of the implemented calculated procedures has been done with the help of a known technique. As a result, the optimized multilevel structural model of the factors priority influence on the web resource prototyping process has been designed.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку суспільства та інформатизація усіх сфер життя людини диктують зміни, що безпосередньо стосуються видавничої діяльності, зокрема продукції, яка належить до електронних видань, серед яких вирізняють: мультимедіа (презентації, енциклопедії, навчальні програми, ігри); PDF-видання (книги, газети, журнали, брошури); ВЕБ-сайти (корпора-

тивний, портал, контент-сайт, некомерційний ресурс). У свою чергу це породжує нові проблеми, що потребують розгляду та науково обґрунтованого вирішення. Зокрема нами описується один із можливих підходів до проблематики процесу прототипування ВЕБ-ресурсів. Варіативність та наявність творчої складової у процесі прототипування ВЕБ-ресурсів обумовлюють необхідність систематизації шляхом встановлення взаємозв'язків ключових чинників та подальшого моделювання. Інструментарієм для її вирішення послужили методи системного аналізу, теорії моделювання, дискретної математики, у тому числі теорії графів, що забезпечило формування та оптимізацію багаторівневої моделі пріоритетного впливу факторів на якість процесу прототипування ВЕБ-ресурсів.

Перелік вирішуваних завдань. Аналіз досліджень даної тематики свідчить про інтенсивний наступ цифрового видавництва та появу у зв'язку з цим завдань, пов'язаних з проектуванням електронних засобів інформації. Зокрема значна увага приділяється важливості розроблення та підтримання цифрової форми веб-ресурсів. З огляду на сказане вважаємо за доцільне сформувати множину факторів впливу на якість прототипування ВЕБ-ресурсу. Побудувати семантичну мережу та графи зв'язків між факторами. Здійснити вагове ранжування факторів, що забезпечить пріоритетність їх впливу та ієрархію важливості у процесі прототипування ВЕБ-ресурсу. Запроектувати матрицю попарних порівнянь факторів, на підставі якої отримати оптимізовані вагові значення факторів. Синтезувати оптимізовану модель пріоритетного впливу факторів на процес прототипування ВЕБ-ресурсу.

Особливу увагу при розв'язанні окреслених завдань необхідно приділити суб'єктивній складовій виокремлення факторів досліджуваного процесу та зв'язків між ними, оскільки подальші кроки реалізуються з використанням теоретично обґрунтованих засобів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прототипування інформаційних ресурсів передбачає аналіз та виконання ряду завдань. Перш ніж переходити до реалізації проекту, доцільно дослідити основні фактори, які здійснюють вплив на якість готового продукту. Сформуємо множину факторів впливу на якість створення прототипу ВЕБ-ресурсу та скористаємось теорією семантичних мереж. Вважатимемо, що $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7\}$ — загальна множина факторів, де:

- T_1 — тип сайту;
- T_2 — технічне завдання;
- T_3 — контент;

- T_4 — пошукові та користувацькі дослідження;
- T_5 — персонажі;
- T_6 — карта історій;
- T_7 — інформаційна архітектура [1–4].

Для зручності опрацювання даних введемо такі умовні позначення: ТС — тип сайту; ТЗ — технічне завдання; К — контент; ПКД — пошукові та користувацькі дослідження; П — персонажі; КІ — карта історій; ІА — інформаційна архітектура.

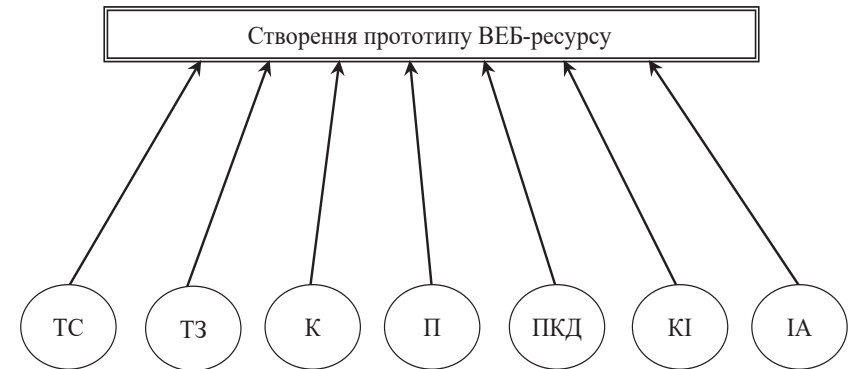


Рис. 1. Фактори впливу на якість прототипування ВЕБ-ресурсу

Візуалізуємо зв'язки між виокремленими факторами за допомогою семантичної мережі (рис. 2) [4].

Для встановлення рангів виокремлених факторів скористаємось методом ранжування [4–6]. При довільній множині технологічних процесів $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ та встановленій множині факторів вважатимемо, що:

$$A(T_k) = \bigcup_{j=1}^n \omega(T_{jk}), \quad (k=1, 2, \dots, m), \quad (1)$$

де: $A(T_k)$ — кількісне значення функції якості процесу; $\omega(T_{jk})$ — кількісне вагове значення додаткової якості, обумовленої j -м фактором у k -й технологічний процес.

$$(\exists r)(\forall t) A(t_k); \quad r \in R; \quad t \in T. \quad (2)$$

Логічно припустити, що у будь-якій множині чинників процесу знайдеться хоча б один фактор з найвищою домінантністю,

якому належить найбільший ваговий коефіцієнт. Відповідно, для множини $W = \{w_{1_m}, w_{2_m}, \dots, w_{n_m}\}$ вагових значень факторів за умови $B(w) = \max\{w_{1_m}, w_{2_m}, \dots, w_{n_m}\}$ матимемо:

$$(\exists p)(\forall w)B(w); r \in R; w \in W. \quad (3)$$

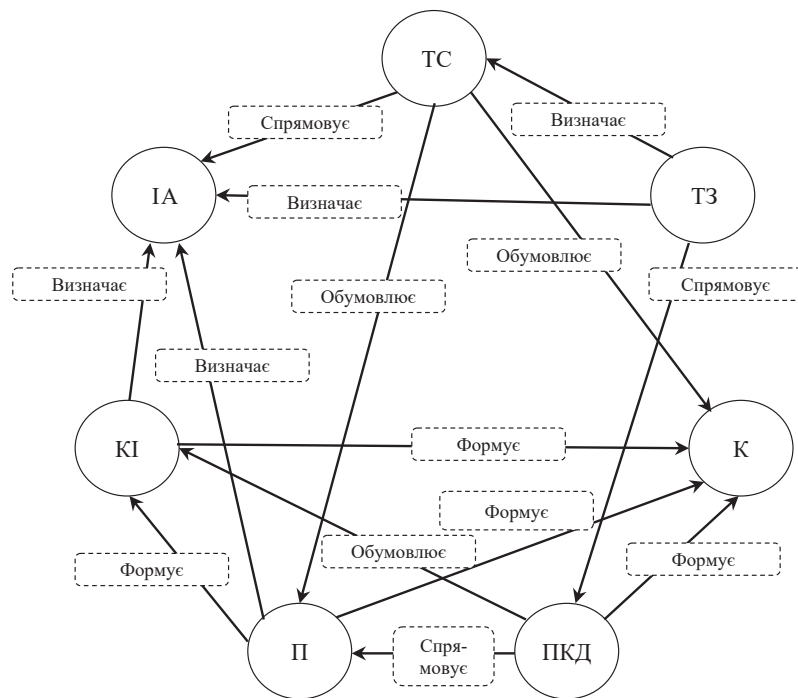


Рис. 2. Семантична мережа факторів прототипування WEB-ресурсу

Згідно з умовами $C(w) = w_j > w_{j+1}$ для $(j = 1, 2, \dots, n-1)$ можна стверджувати, що:

$$(\forall w)C(w); w \in W. \quad (4)$$

Згідно з обраною методикою розрізнятимемо прямі та опосередковані впливи і залежності, надавши їм відповідні порядки — 1-й та 2-й. Для встановлення сумарних вагових значень факторів введемо такі позначення та індекси із відповідними числовими показниками:

— b_{ij} — кількість впливів чи залежностей для j -го фактора $(j = 1, \dots, n)$;

- w_i — вага i -го типу;
- $i = 1$ — впливи 1-го порядку;
- $i = 2$ — впливи 2-го порядку;
- $i = 3$ — залежності 1-го порядку;
- $i = 4$ — залежності 2-го порядку.

Нехай усі зв'язки типу «вплив» матимуть додатні ваги, тобто $w_1 > 0$, $w_2 = w_1/2$, а зв'язки типу «залежності» — від'ємні: $w_3 < 0$, $w_4 = w_3/2$. Отримаємо таку формулу:

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n q_{ij} w_i, \quad (5)$$

де T_{ij} — інтегральні умовні вагові значення факторів за сумами ваг усіх типів зв'язків, n — умовний номер фактора.

Для одержання додатних вагових значень факторів потрібно перемістити вгору гістограму інтегрального графічного відображення на величину, рівну

$$\Delta_j = \max|T_{3j}| + \max|T_{4j}|, (j = 1, 2, \dots, n). \quad (6)$$

Остаточна кінцева формула отримання підсумкових вагових значень факторів матиме вигляд:

$$T_{Fj} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 (b_{ij} w_i + \Delta_j). \quad (7)$$

Для зручності встановлення вагових значень побудуємо ієрархічні дерева зв'язків факторів, враховуючи прямі та непрямі впливи (рис. 3) і прямі та опосередковані залежності (рис. 4) [4; 5; 7].

Приймемо, що: $w_1 = 10$ у. о., $w_2 = 5$ у. о., $w_3 = -10$ у. о., $w_4 = -5$ у. о. Тоді вираз для розрахунку проміжних сумарних значень ваг факторів матиме такий вигляд:

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^7 b_{ij} w_i, \quad (8)$$

Визначивши рівні переваг факторів, синтезуємо модель пріоритетного впливу факторів на якість прототипування WEB-ресурсу (рис. 5).

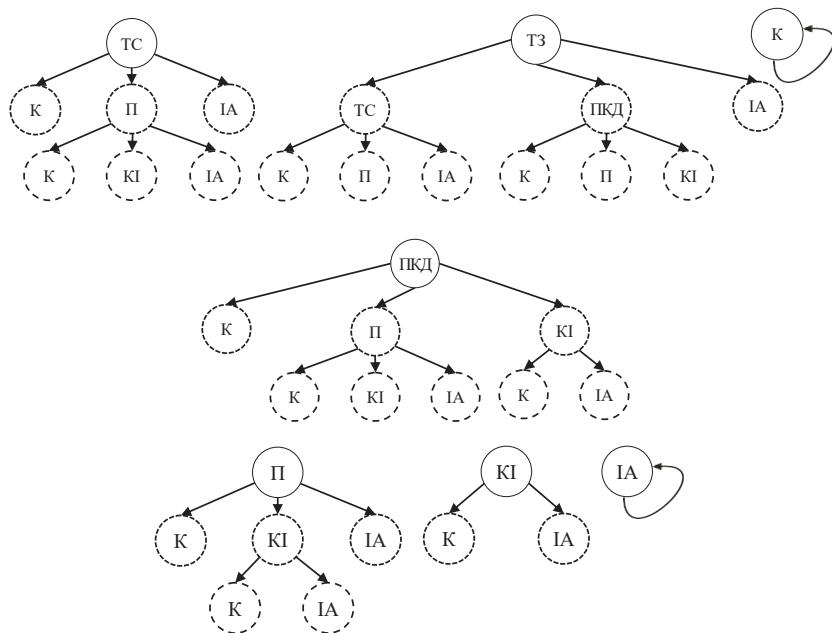


Рис. 3. Ієрархічні граfi прямих та опосередкованих впливів між факторами прототипування ВЕБ-ресурсу

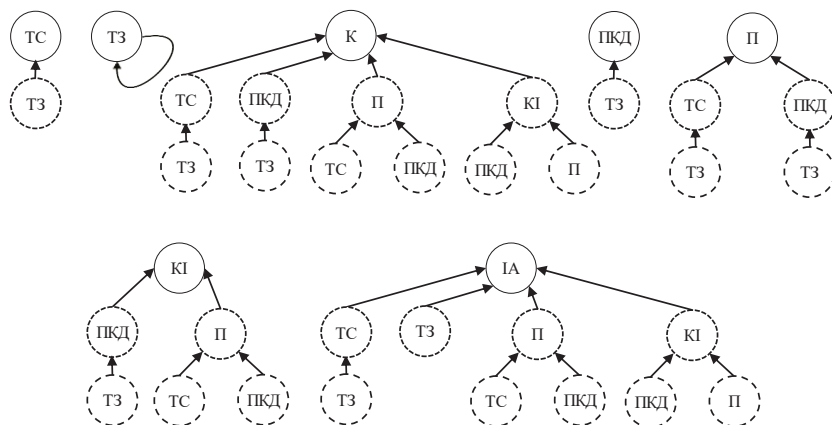


Рис. 4. Ієрархічні граfi прямих та опосередкованих залежностей між факторами прототипування ВЕБ-ресурсу

Таблиця 1

Розрахункові дані та ранжування факторів створення прототипу сайту закладу вищої освіти

Номер фактора j	b_{1j}	b_{2j}	b_{3j}	b_{4j}	T_{1j}	T_{2j}	T_{3j}	T_{4j}	T_{Fj}	Ранг фактора r_i	Рівень пріоритетності
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	3	1	0	30	15	-10	0	105	5	3
2	3	6	0	0	30	30	0	0	130	7	1
3	0	0	4	6	0	0	-40	-30	0	1	7
4	3	5	1	0	30	25	-10	0	115	6	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	3	2	2	2	30	10	-20	-10	80	4	4
6	2	0	2	3	20	0	-20	-15	55	3	5
7	0	0	4	5	0	0	-40	-25	5	2	6

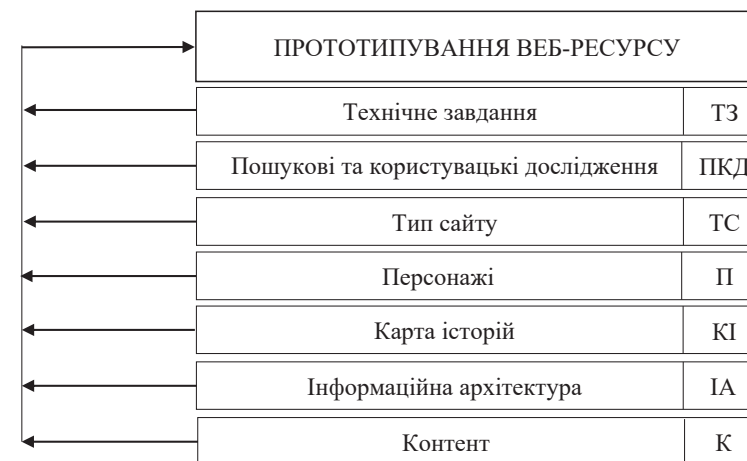


Рис. 5. Модель пріоритетного впливу факторів на якість прототипування ВЕБ-ресурсу

Оптимізуємо вагові значення факторів і синтезовану модель за методами багатокритеріальної оптимізації та попарних порівнянь. З цією метою будемо квадратну обернено-симетричну матрицю попарних порівнянь (МПП), порядок якої визначається числом аналізованих факторів. Алгоритм її організації такий. Порівнюються

умовні міри впливу кожного із факторів першого стовпця матриці досяжності [5] на кожний із факторів верхнього рядка матриці. Додатковими умовами при порівнянні служать отримані при ранжуванні вагові значення факторів з табл. 1. На перетині рядка і кожного зі стовпців МПП заносимо числове значення переваги фактора, використовуючи шкалу відносної важливості об'єктів (табл. 2). Так, для двох факторів (напр. k_1 і k_2), які порівнюються між собою, в залежності від їх важливості та міри впливу на процес прототипування ВЕБ-ресурсу матимемо пропонувані у таблиці значення відповідного елемента матриці попарних порівнянь (табл. 3) у позиції (k_1, k_2) . Зрозуміло, що при такому алгоритмі діагональні елементи МПП рівні одиниці.

Таблиця 2

Шкала відносної важливості об'єктів

Оцінка важливості	Критерії порівняння	Пояснення до вибору критерію
1	Об'єкти рівноцінні	Відсутність переваги k_1 над k_2
3	Один об'єкт дещо переважає інший	Існує підстава наявності слабкої переваги k_1 над k_2
5	Один об'єкт переважає інший	Існує підстава наявності суттєвої переваги k_1 над k_2
7	Один об'єкт значно переважає інший	Існує підстава присутності явної переваги k_1 над k_2
9	Один об'єкт абсолютно переважає інший	Абсолютна перевага k_1 над k_2 не викликає сумніву
2, 4, 6, 8	Компромісні проміжні значення	Допоміжні порівняльні оцінки

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь факторів прототипування ВЕБ-ресурсу

	ТС	ТЗ	К	ПКД	П	КІ	ІА
ТС	1	1/4	6	1/3	3	4	5
ТЗ	4	1	8	3	5	6	7
К	1/6	1/8	1	1/7	1/5	1/4	1/3
ПКД	3	1/3	7	1	4	5	6
П	1/3	1/5	5	1/4	1	3	4
КІ	1/4	1/6	4	1/5	1/3	1	3
ІА	1/5	1/7	3	1/6	1/4	1/3	1

Нижня частина матриці попарних порівнянь заповнюється оберненими значеннями. Так, у позицію (k_2, k_1) заносимо відповідно 1, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9. При незначних відмінностях між вагами критеріїв використовують парні числа 2, 4, 6, 8 та їх обернені значення.

Обчислимо компоненти головного власного вектора $T(t_1, t_2, \dots, t_n)$ МПП, який визначається як середній геометричний компонент кожного рядка матриці:

$$T_i = \sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot a_{in}} \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

де n — кількість використаних факторів.

Для одержання головного власного вектора (тобто вектора пріоритетів) матриці попарних порівнянь використаємо метод, запропонований Сааті [10]. Розрахунки за вказаним методом з використанням ідей теорії імітаційного моделювання здійснюємо з використанням програми «Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь» (рис. 6) [11], розробленої на кафедрі комп'ютерних наук та інформаційних технологій. Після завантаження програми отримуємо інтерфейс у вигляді діалогового вікна. Опція «Введіть число критеріїв» обумовлює кількість факторів, далі — кнопка «задати». «Введіть назви критеріїв» — вводим цифрові номери факторів, кнопка «застосувати». Заповнюємо таблицю вікна «Задання експертних оцінок переваг критеріїв» елементами матриці попарних порівнянь, після кнопка «застосувати». Результати опрацювання — у вікні «Вивід проміжних результатів», стовпець якого Еп відтворює компоненти нормалізованого вектора T , що ідентифікують розраховані вагові значення факторів досліджуваного процесу.

Головний власний вектор матриці попарних порівнянь матиме вид:

$$T = (1,625; 4,120; 0,242; 2,616; 1; 0,615; 0,382) .$$

Нормалізуємо значення компонент головного власного вектора T_n МПП, встановивши попередній результат розв'язання задачі:

$$T_{in} = \frac{\sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot a_{in}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot a_{in}}} \quad i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Нормалізований вектор матриці попарних порівнянь матиме вид:

$$T_n = (0,153; 0,388; 0,022; 0,246; 0,094; 0,058; 0,036) .$$

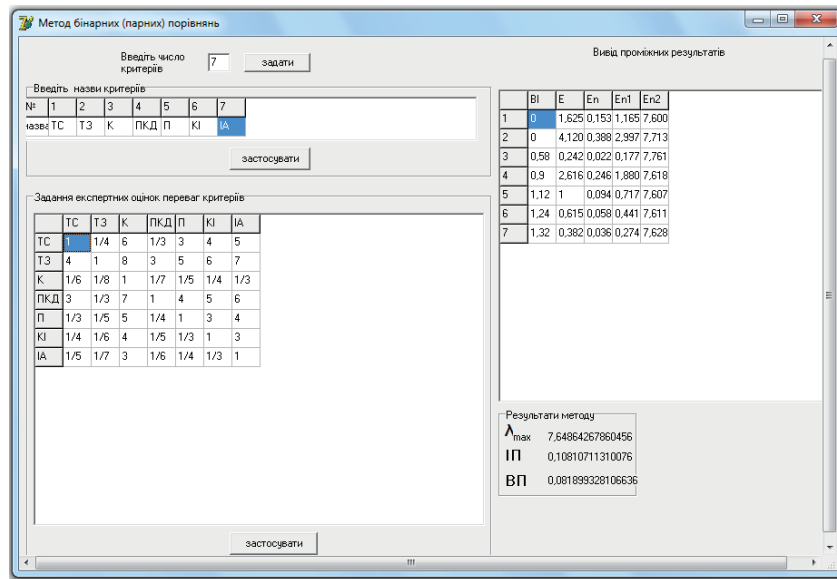


Рис. 6. Обчислення, реалізовані у програмі «Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь»

Для зручності подальшої візуалізації вагових значень факторів помножимо оптимізовані компоненти вектора на довільний коефіцієнт k . Нехай $k = 500$.

$$T_{n \times k} = (76,5; 194; 11; 123; 47; 29; 18).$$

Для встановлення оцінки узгодженості вагових значень факторів множимо матрицю попарних порівнянь на вектор T_n . Одержимо нормалізований вектор T_{n1} :

$$T_{n1} = (1,165; 2,997; 0,177; 1,880; 0,717; 0,441; 0,274).$$

Поділивши компоненти вектора T_{n1} на відповідні компоненти вектора T_n , отримаємо компоненти власного вектора T_{n2}

$$T_{n2} = (7,600; 7,713; 7,761; 7,618; 7,607; 7,611; 7,628).$$

Проведемо перевірку результатів оптимізації за максимальним значенням головного власного вектора МПП, а саме λ_{\max} , індексом узгодженості IU та відношенням узгодженості TU .

Максимальне значення головного власного вектора обернено-симетричної матриці A визначається як середнє арифметичне компонент вектора T_{n2} . Відповідно, $\lambda_{\max} = 7,649$.

Індекс узгодженості IU вираховується за формулою: $IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$. Отже, $IU = 0,108$.

Еталонне значення індексу TI для матриці 7-го порядку становить 1,32, що не перевищує 10 % індексу узгодженості IU . Отже нерівність $IU < 0,1 \times TI$ є вірною і підтверджує адекватність розв'язку задачі [11]. Відношення узгодженості обчислюється за таким виразом: $TU = IU/TI$. $TU = 0,082$, тож результати попарних порівнянь можна вважати коректними.

Присвоїмо факторам умовні числові вагові значення відповідно до їх позиціонування за отриманими рівнями у моделі рис. 5, починаючи з найнижчого рівня:

$$K = 20, IA = 40, KI = 60, P = 80, TC = 100, PKD = 120, T3 = 140.$$

Упорядкуємо дані за порядком відображення у моделі попарних порівнянь:

$$TC = 100, T3 = 140, K = 20, PKD = 120, P = 80, KI = 60, IA = 40.$$

Отримаємо компоненти вихідного вектора T_0 :

$$T_0 = (100; 140; 20; 120; 80; 60; 40).$$

Таблиця 4

Варіанти вагових значень факторів прототипування ВЕБ-ресурсу

i	1	2	3	4	5	6	7
T_0	100	140	20	120	80	60	40
T_n	0,153	0,388	0,022	0,246	0,094	0,058	0,036
$T_n \times k$	76,5	194	11	123	47	29	18

Побудуємо порівняльний графік вагових значень компонент вихідного вектора та нормалізованого, отриманого у результаті опрацювання матриці попарних порівнянь (рис. 7).

Порівняльне графічне відображення дає підставу стверджувати, що компоненти векторів, розрахованих за методом ранжування факторів та отриманих у результаті застосування методу попарних порівнянь, незважаючи на деяку різницю у вагових значеннях, по суті відтворюють

останній порядок і суть слідування факторів. Вказане уможливує використання вагових компонент нормалізованого вектора як основи для синтезування оптимізованої моделі пріоритетного впливу виокремлених факторів на якість процесу прототипування ВЕБ-ресурсу (рис. 8).

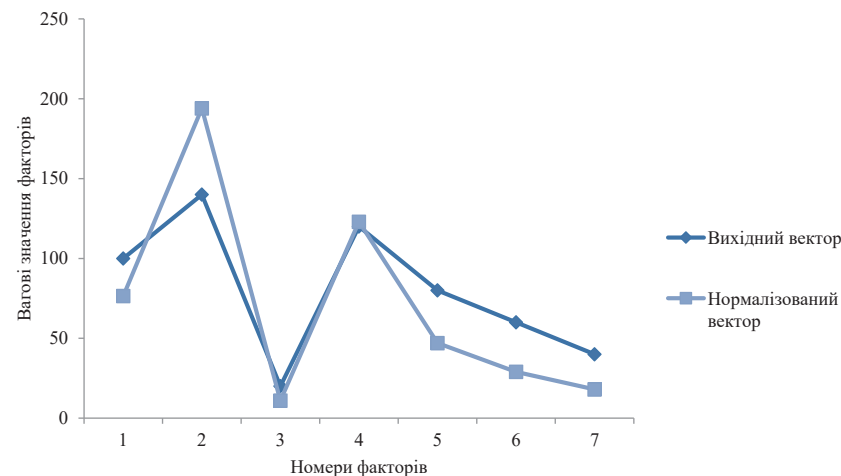


Рис. 7. Порівняльний графік вагових значень компонент вихідного (T_0) та нормалізованого (T_n) векторів

Оптимізація дозволила уточнити значення ваг факторів прототипування ВЕБ-ресурсу та деталізувати міру впливу кожного з них. Оптимізаційні результати підтвердили достовірність проведених досліджень, не змінивши порядок пріоритетів факторів.

Як видно з рисунка, визначальними у процесі прототипування ВЕБ-ресурсу є технічне завдання на виконання проекту, що враховує тематичне планування і тип сайту (вид оригіналу), традиційно звичні для діяльності традиційних та електронних видавництв. Поряд з цим важливим елементом слід вважати наявність попиту замовників та користувацьких інтересів більш широкого загалу. Фактори нижніх рівнів є похідними і залежними від попередніх факторів, що також не заперечує усталених взаємовідносин між інформаційною архітектурою, контентом й рештою менш суттєвих чинників процесу прототипування ВЕБ-ресурсу. Таким чином, достовірність теоретично одержаної моделі підтверджується практикою роботи електронних редакційно-видавничих структур.

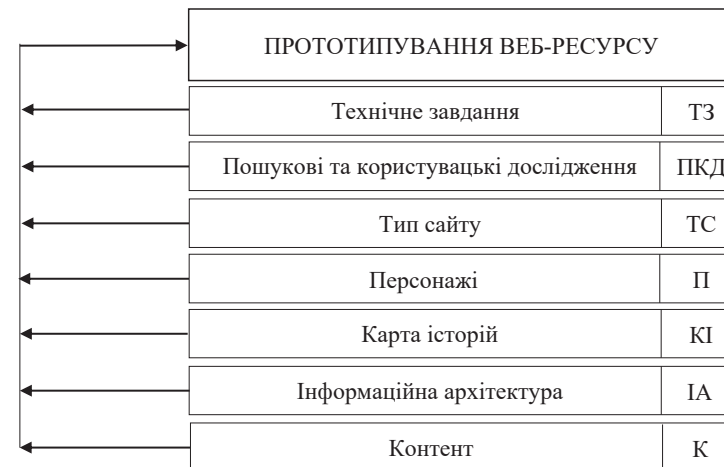


Рис. 8. Оптимізована модель пріоритетного впливу факторів на якість прототипування ВЕБ-ресурсу

Висновки. У результаті дослідження здійснено виокремлення факторів впливу на процес прототипування ВЕБ-ресурсу. На підставі опитування користувачів ВЕБ-сайтів подано зв'язки між факторами у вигляді семантичної мережі, яка, окрім використання її у варіанті даної публікації, уможливить продовження дослідження із застосуванням методу визначення вагомості атомарних предикатів семантичних мереж, таких, наприклад, як «обумовлює», «спрямовує», «формує» і т. д. Здійснено ранжування факторів на основі додатково сформованих ієрархічних графічних моделей для відображених у мережі прямих та опосередкованих впливів і залежностей між факторами та визначено попередні вагові значення факторів. Результатом виконаних процедур став первинний варіант багаторівневої моделі пріоритетного впливу факторів на прототипування ВЕБ-ресурсу.

Отримані на першому етапі дані уможливили побудову на підставі методу моделювання ієрархій та шкали відносної важливості об'єктів матриці попарних порівнянь, опрацювання якої обумовило отримання оптимізованих вагових значень факторів. Порівняльність вагових значень факторів базової моделі та оптимізованого варіанту свідчить про достовірність отриманих результатів. Підсумком дослідження стала оптимізована модель пріоритетного впливу факторів на якість прототипування ВЕБ-ресурсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Garrett J. J. The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond. New Riders, 2010.
2. Kochan M. User Stories Applied: For Agile Software Development. Addison-Wesley; Pearson Education, 2004.
3. Cooper A., Reiman R., Cronin D. About Face 3: The Essentials of Interaction Design. Wiley Publishing, 2007.
4. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В., Козак Р. О. Інформаційна технологія формування якості редакційно-видавничого процесу: монографія. Львів: Українська академія друкарства, 2019. 272 с.
5. Сеньківський В. М., Піх І. В., Кудряшова А. В. Теоретичні основи забезпечення якості видавничо-поліграфічних процесів. Частина 2: Синтез моделей пріоритетності дії факторів. *Поліграфія і видавнича справа*. Львів: УАД, 2016. № 1 (71). С. 20–29.
6. Сявавко М. С.. Інформаційна система «Нечіткий експерт». Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 320 с.
7. Сеньківський В. М., Піх І. В.. Математичне моделювання процесу ранжування факторів. *Моделювання та інформаційні технології*. Київ: ІПМЕ НА-НУ, 2013. № 69. С. 142–146.
8. Матвеев В. Семантичні мережі. URL: matveev.kiev/exprt/t5.pdf.
9. Сеньківський В. М., Піх І. В., Кудряшова А. В., Литовченко О. В. Удосконалення моделі факторів впливу на композиційне оформлення видання. *Поліграфія і видавнича справа*. Львів: УАД, 2016. № 2 (72). С. 20–27.
10. Саати Т. Принятие решений (метод анализа иерархий). Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
11. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 41832. Україна. Імітаційне моделювання в системному аналізі методом бінарних порівнянь. [Комп'ютерна програма] / Авторські майнові права належать І. В. Гілеті, В. М. Сеньківському, О. В. Мельникову. Зареєстровано 17.01.2012.

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ
ВЗАЄМОДІЙ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
В СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ АРХІТЕКТУРАХ

Хошаба О. М., Гречанинов В. Ф., Лопушанський А. В.

В роботі розглянуті особливості аналізу та проектування взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах. Відносно визначеної структури сервіс-орієнтованої архітектури визначені особливості

роботи кожного з основних компонентів, де надані їх стислі характеристики. Розглянуті особливості проектування взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах, де визначені основні вимоги до організації роботи та безпека виконання демонстраційного прикладу, технології його створення та розробки сценарію. Показана важливість визначення вимог до роботи інтеграційної шини та створення програмного коду.

This paper considers the features of analysis and design of information system interactions in service-oriented architectures. In relation to the defined structure of the service-oriented architecture, the features of each of the main components are determined, where their brief characteristics are given. Features of designing interactions of information systems in service-oriented architectures are considered, where the basic requirements for the organization of work and safety of execution of a demonstration example, technologies of its creation and development of the scenario are defined. The importance of determining the requirements for the operation of the integration bus and the creation of program code is shown.

Постановка задачі. Існує сервіс-орієнтована архітектура, яка має такі основні компоненти: споживач (користувач), провайдер (постачальник) та брокер (каталог сервісів).

Необхідно: виконати аналіз та визначити необхідні умови реалізації конкретного демонстраційного прикладу взаємодії інформаційних систем в сервіс-орієнтованій архітектурі.

1. Особливості аналізу взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах. Метою створення демонстраційного прикладу є визначення аналізу та особливостей реалізації взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованій архітектурі (СОА), яка являє собою модульний підхід до розробки програмного забезпечення. Цей підхід заснований на використанні розподілених і слабо пов'язаних компонентів. Такі компоненти повинні мати стандартизовані інтерфейси для взаємодії між собою відповідно до різних стандартів і протоколів [1–10].

Основою функціонування СОА є робота незалежних сервісів, у яких є чітко визначені інтерфейси. Такі сервіси викликаються стандартним способом для вирішення конкретних завдань з обміну даними. В цьому випадку сервіси можуть не мати інформації щодо додатку, який їх викликає.

СОА заснована на взаємодії між трьома компонентами (або ролями) (рис. 1): провайдером, реєстратором (або брокером) і споживачем. Взаємодія між цими ролями включає в себе публікацію інформації про сервіс, пошук доступних сервісів і взаємодія з цими сервісами.

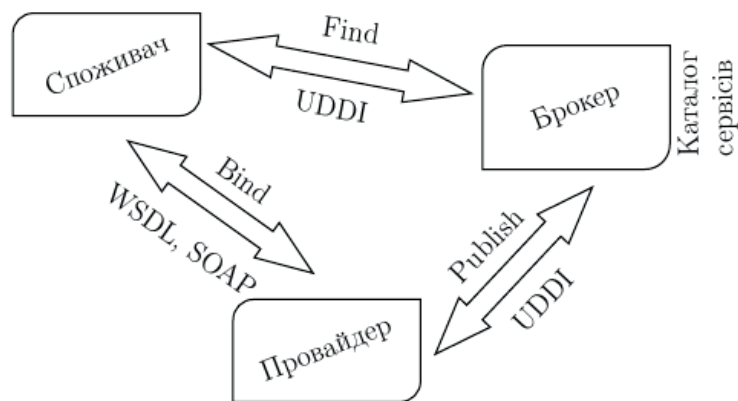


Рис. 1. Схема взаємодії (компонентів) ролей в сервіс-орієнтованій архітектурі

На рис. 1 провайдер розміщує інформацію в каталозі сервісів. Провайдером (постачальником) визначається опис сервісів для різних служб. Інформація про сервіси публікується в реєстрі каталогу сервісів у брокера. Потім споживач використовує реєстр каталогу брокера, щоб знайти опис сервісів, які слід використовувати для реалізації необхідного завдання. Отримавши опис сервісів від брокера, споживач звертається до провайдера з допомогою WSDL, щоб отримати дані про роботу сервісів. Іноді такий результат звернення споживача до провайдера розміщують в каталозі сервісів у брокера. Після цього споживач виконує запити (SOAP) до провайдера для безпосередньої роботи з сервісами. Згідно з технологією COA, провайдер вважається власником сервісів, має XML-опис і конкретну реалізацію.

Також у провайдера існує досить велика кількість можливостей доступу до сервісів: від технології SOAP за допомогою HTTP до SMTP технології.

Програмно-апаратні комплекси, що розроблені на основі COA, реалізуються як набір ВЕБ-служб. Модулі таких комплексів взаємодіють між собою за протоколами SOAP, jini, CORBA, REST й інші.

В якості конкретного демонстраційного прикладу взаємодії інформаційних систем в сервіс-орієнтованій архітектурі наводимо дві системи: C4ISR і DRMIS. Окремі компоненти їх структурної схеми взаємодії на основі інтеграційної шини зображені на рис. 2.

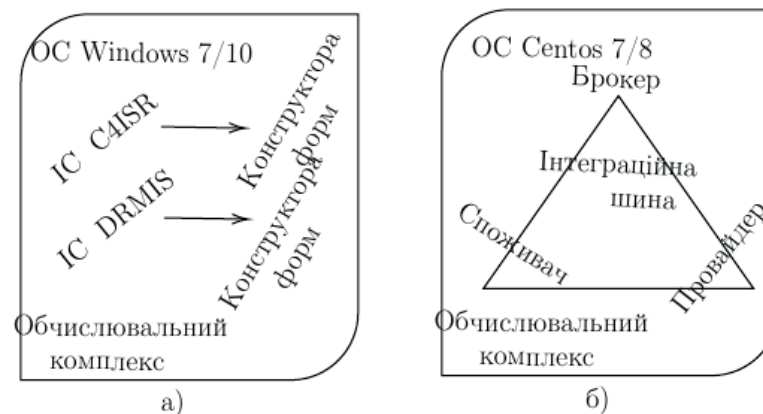


Рис. 2. Один з можливих варіантів структур інтеграційної шини в сервіс-орієнтованій архітектурі

Така схема може являти собою ряд обчислювальних комплексів, які знаходяться на стороні інформаційних систем (рис. 2а) або інтеграційної шини (рис. 2б). Спосіб обміну даними на основі стандартів MIP4 може здійснюватися за допомогою стека протоколів TCP/IP або ґрунтуватися на файловому обміні (XML формат).

Що стосується цих окремих компонентів структурної схеми взаємодії інтеграційної шини та інформаційних систем C4ISR і DRMIS, то для їх впровадження створюються організаційні та технічні вимоги побудови та експлуатації.

1.1. Особливості роботи каталогу сервісів (брокера). Каталог сервісів демонстраційного прикладу являє собою ВЕБ-ресурс, який містить довідкову інформацію про сервіси. Також каталог сервісів в певному сенсі є сервіс, який має певну URI-адресу, порт, директиви управління і обміну даними. Тому довідкова інформація про сервіси знаходиться у брокера в каталозі сервісів. Брокер здійснює управління ресурсами каталогу сервісів (сховищами інформації), а провайдер (постачальник) створює довідкову інформацію і вносить зміни.

Можна також відзначити, що каталог сервісів демонстраційного прикладу представлений реєстратором (або реєстром) брокера, який включає в себе такі дані:

– бізнес-дані, такі як ім'я, опис і контактна інформація (дані так званих 'білих сторінок');

— дані, що описують політики, бізнес-процеси і прив'язки програмного забезпечення до існуючих сервісів (дані так званих 'зелених сторінок').

Брокер зазвичай пропонує розвинені функції пошуку інформації та дані бізнес-класифікації і таксономії (так звані дані 'жовтих сторінок'). Згідно з концепцією COA, брокер надає доступний для пошуку реєстр описів сервісів (послуг), що опубліковані провайдерами.

Під час розробки систем споживачі можуть використовувати інформацію, яка знаходиться в реєстрах, для створення статичних прив'язок до сервісів (служб). Надалі, під час роботи системи, додатки можуть підключитися до реєстру (локального або віддаленого) для отримання опису служб і створення динамічних прив'язок до сервісів. Реєстри каталогу сервісів вирішують конкретні завдання: вони дозволяють знаходити сервіси провайдерів і параметри взаємодії з ними.

Каталог сервісів у своїй роботі використовує стандарти UDDI (Universal Description, Discovery, and Integration). UDDI розшифровується як універсальний опис ВЕБ-сервісів і застосовується для їх виявлення й інтеграції в єдину систему споживачів (рис. 1).

Робота каталогу сервісів також базується на стандартах UDDI Spec Technical Committee [10; 11; 18], які безпосередньо відносяться до роботи веб-сервісів. Також існують стандарти каталогу сервісів, розроблені відомими компаніями Apache [18] та Oracle [15]. Такі стандарти пов'язані з роботою додаткових служб стандарту MIP4-IES, що задіяні в роботі COA [1–4].

Необхідно також відмітити, що проект UDDI є галузевою ініціативою, яка спрямована на те, щоб підрозділи, які представляють споживачів, провайдерів і брокерів, могли швидко, легко, динамічно знаходити і здійснювати взаємодії один з одним, використовуючи ВЕБ-сервіси в своїх корпоративних середовищах. Для цього в окремих корпораціях створюється каталог сервісів.

В цьому випадку каталогом сервісів є заповнений реєстр UDDI, який має каталогізувати інформацію про:

- існуючі підрозділи;
- послуги, які пропонують споживачі;
- стандарти зв'язку й інтерфейси, які використовують сервіси для надання послуг.

Створений таким чином каталог сервісів на основі стандарту передачі даних SOAP і UDDI працює як глобальний, незалежний від плат-

форми простір відкритої архітектури, що виконує необхідні функції для використання сервісів.

Підтримку реєстра каталогу сервісів на основі UDDI здійснюють за допомогою використання двох способів:

- на основі ВЕБ-сервісів;
- на основі бізнес-реєстрів.

Тому важливою складовою частиною COA є каталог сервісів (реєстр). До основного завдання каталогу сервісів належить ведення реєстра сервісів і їх записів. Важливими в роботі інструментами брокерів є реєстри UDDI і ebXML [14].

Таким чином, до основних складових частини COA належать (рис. 1): споживачі, постачальники (провайдери) і каталог сервісів, що мають різні цілі, ролі (функціональні можливості) і вимоги до системи (платформи). При цьому є досить великий практичний досвід використання таких особливостей роботи COA, при якому в різних бізнес-підрозділах таких компаній, як IBM і Microsoft [14], що використовують деякі ролі одночасно. У цій же роботі [14] відзначено, що в таких ролях представники COA були визначені з урахуванням взаємодії між окремими підприємствами. Тому це не означає, що такий підхід може використовуватися тільки в інформаційних технологіях великого бізнесу. У зв'язку з цим відзначено [14], що в перспективі платформа ВЕБ-сервісів на основі COA буде перетворюватись на повноцінне інтернет-середовище віртуальних розподілених обчислень. При цьому послуги, що надаються постачальником сервісів, повинні переслідувати такі цілі:

- виконувати запити з високою ефективністю;
- мати можливість обробки великої кількості запитів;
- бути високодоступними;
- мати сучасні механізми відмовостійкості та самовідновлення;
- мати якісну підтримку системи (платформи).

1.2. Особливості роботи постачальників сервісів. Організації або підрозділи компаній, які надають послуги в електронному вигляді, ототожнюються з роллю постачальника (провайдера) послуг. Оскільки багато рішень задач технічно можуть бути реалізовані як сервіси, важливо визначити деякі приклади їх використання.

Незалежний постачальник програмного забезпечення. Така організація або підрозділ створює і здійснює підтримку програмного забезпечення, яке виконує одне або кілька завдань. Таке програмне забезпечення може бути реалізовано як сукупність сервісів або додаток,

що розділений на окремі ресурси та призначений для широкого кола кінцевих користувачів (споживачів сервісів).

Корпоративний обчислювальний центр. Корпоративний обчислювальний центр може являти собою підрозділ, який звертається до різноманітних наборів додатків, що забезпечують виконання робочих процесів всередині організації (корпорації). Наприклад, у банку зазвичай є бізнес-процес, що забезпечує підтримку виконання операцій з обробки кредитів. Однак банк може отримати додатковий дохід, пропонуючи такий вид послуги з обробки кредитів зовнішнім організаціям. В цьому випадку банк міг би надавати свій бізнес-процес з обробки операцій кредитування за допомогою корпоративного обчислювального центру як зовнішній ВЕБ-сервіс. Таким чином, він стає постачальником послуг для інших організацій. Тому, розмістивши платформу СОА на базі обчислювального центру, який є провайдером послуг, банк виступає в ролі споживача послуг. Однак стосовно зовнішніх організацій (кредиторів) банк є брокером послуг, оскільки може вказувати на технічні параметри сервісів іншим зацікавленим особам, що необхідні для виконання операцій кредитування корпоративним обчислювальним центром.

Структури, які є агрегаторами ВЕБ-сервісів СОА. Такі структури надають посередникам можливість створювати нові послуги за допомогою агрегування інших сервісів і виконують функції брокерів. Наприклад, якщо існує можливість надати сервіс, який перевіряє ряд банківських організацій, то існує можливість перевірки наявності кредитів з метою знаходження найкращої ставки. Цей приклад показує випадок брокера, який не надає власних послуг.

Щодо розглянутих прикладів можна відзначити таке. Постачальник (провайдер) послуг розглядає архітектуру СОА як основу для надання своїх ВЕБ-сервісів. У загальному випадку ці послуги є прикладними програмами, що призначені для вирішення одного аспекту (завдання) загальної проблеми.

Для ефективного вирішення завдань можуть виконуватися такі вимоги.

Забезпечення доступності сервісу. Сервіс є не досить ефективним, якщо він недоступний протягом деякого часу. Забезпечення того, щоб сервіс гарантовано брав запити на обслуговування від SOAP-маршрутизатора, має велике значення внаслідок ефективного вирішення проблем. Використання балансування навантаження і

масштабованості дозволяють ефективно вирішувати проблеми доступності сервісів.

Забезпечення безпечного середовища транзакцій. В даний час практично всі організації вже мають тією чи іншою мірою різну систему безпеки. Проте архітектура СОА дозволяє здійснювати гнучкі механізми забезпечення безпеки. Завдання реалізації таких механізмів полягає в тому, щоб створити умови, засновані на досконалих стандартах, протоколах передачі даних, засобів аутентифікації й авторизації.

Якість обслуговування. СОА, яка ґрунтується на ВЕБ-сервісах і має ефективні механізми, може бути реалізована для гетерогенних розподілених обчислень. В цьому випадку до одного з найважливіших критеріїв якості обслуговування на основі ВЕБ-сервісів належить слідування специфікаціям обміну повідомлень на основі технологій UDDI і ebXML (Electronic Business XML, ebXML). Також стандарти СОА припускають застосування XML-схем для перевірки достовірності повідомлень. Тому після отримання документа в СОА ВЕБ-сервіс повинен:

- проаналізувати XML-повідомлення і упевнитися в коректності даних;
- визначити якість виконання послуги (Quality-of-Service);
- виконати перевірку політики безпеки або угод торгових партнерів.

Після цього необхідно виконати ряд робочих операцій, що пов'язані з цим документом [11; 12].

1.3. Взаємодія споживачів і постачальників сервісів. Механізм взаємодії споживача і провайдера (рис. 1) називають зв'язуванням (bind). Цей механізм використовує опис сервісу для створення повідомлення, яке буде відправлено постачальнику служби.

Тому, згідно з концепцією СОА, постачальники надають послуги, що призначені для виконання необхідних та визначених завдань. До постачальників звертаються споживачі сервісів за допомогою спеціальних команд (директив) з метою обміну та управління даними. Більш якісну (або швидку) взаємодію між споживачами і постачальниками сервісів забезпечують брокери, які виконують публікацію або розміщення матеріалу на ВЕБ-ресурсах корпоративної (міжнародної) комп'ютерної мережі.

Публікація або розміщення матеріалу полягає в тому, що постачальник налаштовує інформацію (або метадані) про сервіс (або послугу) в реєстрі каталогу сервісів брокера. Постачальники, які вза-

ємодіють з брокерами, можуть бути окремими організаціями зі стандартизації, провайдерами програмного забезпечення або розробниками систем. Згідно з документом IBM Web Services Conceptual Architecture [17], постачальниками для публікації описів сервісів використовуються декілька різних механізмів:

- пряма (безпосередня) публікація сервісу. У цьому випадку споживач отримує опис сервісу безпосередньо від власника послуг (постачальника), використовуючи електронну пошту, FTP або дистрибутивний компакт-диск. При цьому постачальник сервісу надає загальне поняття і одночасно робить його доступним для запитуючої сторони (споживача);

- публікація сервісу на основі HTTP GET запиту. Цей механізм зазвичай використовується в каталозі сервісів (на публічних сховищах ВЕБ-сервісів). В цьому випадку споживач сервісу отримує опис служби безпосередньо від постачальника послуг за допомогою HTTP-запиту GET на каталозі сервісів;

- динамічне обстеження інформаційного оточення. Цей механізм необхідний як для споживачів, так і для постачальників сервісів, які використовують локальні та загальнодоступні реєстри для зберігання і отримання описів послуг. Найбільш часто використовується технологія UDDI або ebXML. При цьому постачальником послуг може бути додаток, який використовує спеціалізований набір API для публікації опису послуги або отримання інформації про сервіс.

До особливостей використання різних механізмів публікації описів сервісів належать такі.

Метод прямої (безпосередньої) публікації сервісів. Слід зазначити, що метод прямої (безпосередньої) публікації є одним з перших способів публікації на каталозі сервісів. Публікація за запитом HTTP GET є важливою серед різних механізмів опису сервісів у зв'язку з її простотою реалізацією. Однак в деяких роботах [14] розглядається публікація за запитом HTTP GET як тимчасовий або перехідний спосіб, що дозволяє перейти від прямої публікації до динамічного обстеження інформаційного оточення. Тому динамічне обстеження інформаційного оточення може бути ефективною і універсальною моделлю публікації сервісів.

Динамічне обстеження інформаційного оточення сервісів. Висока ефективність і універсальність динамічного обстеження інформаційного оточення полягає в тому, що споживачі сервісів незалежно один від одного і будь-яких сторонніх чинників звертаються до

каталогів сервісів брокерів для пошуку інформації щодо запропонованих послуг. Далі споживач, яким може бути користувач або додаток, використовує спеціалізований набір API функцій до постачальника (провайдера) для реалізації запиту на предмет роботи з сервісами.

Також динамічне обстеження інформаційного оточення сервісів може включати в себе WSDL механізми для отримання інформації про API-інтерфейси (методи і параметри роботи сервісів).

Такі запити формуються на основі стандартного XML формату. Відповіді на запити також передаються з використанням формату обміну повідомленнями XML, такого як SOAP або XML-RPC. Критерії, що використовуються для пошуку сервісу, можуть включати в себе якість послуги (швидкість або адекватність відповіді), підтримку протоколів (можливість взаємодії з сервісом) і таксономію (різновид використання) сервісів.

2. Особливості проектування взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах.

Проектування взаємодії спрямовано на визначення потреб у роботі інтерактивних систем, цифрових і аналогових пристроїв, середовищ, послуг і т. ін. Основна увага в проектуванні взаємодії приділяється задоволенню потреб і побажань користувачів в реалізації систем, пристроїв або середовищ. При цьому важливе місце займають вивчення поведінки існуючих систем, досвід і знання, одержувані в рамках вивчення людино-машинних взаємодій. Загальними вимогами до демонстраційного прикладу належать такі.

Загальні вимоги до демонстраційного прикладу можна розділити на такі категорії:

- організація роботи демонстраційного прикладу;
- безпека виконання демонстраційного прикладу;
- технологія створення демонстраційного прикладу;
- вимоги до розробки сценарію;
- вимоги до роботи інтеграційної шини;
- вимоги до програмного коду.

Демонстраційний приклад повинен охоплювати роботу інтеграційної шини із взаємодії інформаційних систем C4ISR і DRMIS. Однак ці вимоги до створення демонстраційного прикладу не охоплюють окремі інформаційні системи C4ISR і DRMIS.

2.1. Організація роботи демонстраційного прикладу. Сценарій демонстраційного прикладу повинен слідувати міжнародним стандар-

там обміну та управління даними на основі MIP4-IES та COA. У демонстраційному прикладі повинна бути описана структура основних компонент і їх функціональні особливості. Показані приклади використання протоколів обміну SOAP для взаємодії інформаційних систем на основі XML форматів даних, описані сценарії демонстраційних прикладів.

У робочій групі з розробки демонстраційного прикладу повинні бути чітко обумовлені строки проведення окремих етапів робіт і артефакти (вихідні документи, звіти, код, лог-файли і т. д.).

З метою демонстрації роботи прикладу для замовників або зацікавлених ІТ-компаній код разом з покроковою інструкцією використання може бути представлений на інтернет-ресурсах в публічних сховищах. Також необхідно мати можливість розміщення коду на приватних інтернет, сховищах, доступ до яких здійснюється за допомогою пароля.

Тому демонстраційна працездатність самого прикладу може здійснюватися на майданчиках розробника, замовника або зацікавлених ІТ-компаній за допомогою таких складових як публічні (або приватні) сховища даних і покрокові інструкції з їх використання.

2.2. Безпека виконання демонстраційного прикладу. Оскільки в подальшому структури даних будуть містити секретні відомості, то дані повинні бути відокремлені від структур коду. При цьому програмний код повинен знаходитися окремо від даних і не мати особливої цінності (наприклад, секретної). В цьому випадку дані можуть знаходитися на захищених розділах локального диска окремого комп'ютера або на зйомних носіях (жорстких дисках або флешках). В процесі роботи демонстраційного прикладу вони повинні монтуватися до локальної обчислювальної системи.

Безпосередньо під час демонстрації прикладу можуть використовуватися апаратні і програмні фаєрволи, засоби криптографії, що необхідні для файлового обміну.

Під час операції обміну даними між інформаційними системами C4ISR і DRMIS слід дотримуватись таких вимог безпеки:

- монтування та демонтування зовнішніх зйомних носіїв інформації;
- монтування та демонтування мережевих пристроїв передачі даних на час обробки інформації (крім локального інтерфейсу);
- шифрування та дешифрування, стиснення і розпакування даних при використанні файлового обміну.

2.3. Технологія створення демонстраційного прикладу. Технологія створення демонстраційного прикладу повинна ґрунтуватися на сучасних підходах віртуалізації та контейнеризації за такими етапами виконання робіт:

1. Збірка іміджу (файлового образу) демонстраційного прикладу, що необхідний для роботи з інтеграційною шиною (адаптерів, перетворювачів і т. і.).
2. Створення контейнера основних модулів демонстраційного прикладу, що необхідні для роботи з інтеграційною шиною.
3. Завантаження різних основних версій демонстраційного прикладу з можливістю здійснення відкату до попередніх номерів версій.
4. Розробка сервісних (або серверних) модулів демонстраційного прикладу, що необхідні для роботи з інтеграційною шиною з визначенням їх версійності, класів і методів.
5. Розробка клієнтської частини з можливістю автоматичної генерації вихідного програмного коду демонстраційного прикладу.
6. Розробка засобів тестування (тест-кейсів), збірка і виконання основних модулів демонстраційного прикладу, що необхідні для роботи з інтеграційною шиною.
7. Розробка засобів автоматизованого складання програмного коду.

Архітектура і технології, які будуть використовуватися під час розробки демонстраційного прикладу, будуть спрямовані на його можливий та ефективний супровід в майбутньому.

Демонстрація прикладу має передбачати його повну автономну роботу. Така робота включає в себе відсутність інтернету або зв'язку з іншими корпоративними мережами і розгортанням (депльоєм) програмного коду на окремому локальному майданчику з наявністю повноцінних файлових сховищ. Також операції обміну й управління даними між інформаційними системами C4ISR і DRMIS повинні бути максимально автоматизовані і виконуватись за допомогою скриптових мов програмування.

2.4. Вимоги до розробки сценарію. Сценарій демонстраційного прикладу повинен показувати процес обміну й управління даними між системами C4ISR і DRMIS за допомогою інтеграційної шини на основі існуючих стандартів MIP4-IES і COA [1–10].

Сценарій за певною структурою демонстраційного прикладу (що показано на рис. 2) може містити такі вимоги до основних етапів його виконання.

Робота на стороні системи C4ISR. Формування запиту до DRMIS за допомогою конструктора форм. Результат роботи конструктора форм — файл у форматі json. Виконання операцій стиснення і шифрування вихідного файлу (що містить запит до системи DRMIS).

Демонстрація транспортних функцій. Файловий обмін. Передача запиту від системи C4ISR в інтеграційну шину.

Робота й управління даними на стороні каталогів сервісів інтеграційної шини. Створення каталогів сервісів. Публікація сервісів провайдером. Виконання основних операцій у каталозі сервісів: створення, модифікація і видалення каталогів; створення, модифікація і видалення інформації про сервіси. Публікація сервісів провайдером. Демонстрація роботи запитів від провайдерів до каталогу сервісів за стандартом UDDI. Виконання пошуку сервісів споживачем на платформі jUDDI.

Системне адміністрування й управління даними на стороні провайдерів інтеграційної шини. Запуск і зупинка сервісів на контейнерах. Розпакування і розшифровка файлу від системи C4ISR. Синтаксична і логічна перевірка файлу. Перетворення файлу в формат XML і його імпорт в інтеграційну шину. Виконання CRUD-операцій над даними запиту від системи C4ISR. Виконання операцій взаємодій між сервісами систем C4ISR і DRMIS. Демонстрація роботи запитів за стандартами WSDL і SOAP. Ведення журналу виконання операцій перетворення й обміну даними в інтеграційній шині.

Демонстрація транспортних функцій. Файловий обмін. Обмін запитом в інтеграційній шині між сервісами C4ISR і DRMIS.

Робота на стороні системи DRMIS. Читання запиту від системи C4ISR за допомогою конструктора форм. Формування запиту до C4ISR за допомогою іншого конструктора форм. Результат роботи конструктора форм — файл у форматі json. Виконання операцій стиснення і шифрування вихідного файлу (що містить запит до системи C4ISR).

Повторення операції обміну й управління даними від DRMIS до C4ISR з використанням інтеграційної шини. На стороні системи C4ISR — читання відповіді від DRMIS за допомогою редактора форм.

2.5. Вимоги до інтеграційної шини. В процесі роботи демонстраційного прикладу інтеграційна шина повинна мати такі рівні:

- системний;

- прикладний.

Системний рівень інтеграційної шини передбачає основні компоненти:

- операційна система (Linux CentOS);
- система віртуалізації (KVM);
- віртуальні машини (з використанням будь-яких операційних систем);
- системи управління конфігураціями ресурсів (Ansible).

Прикладний рівень інтеграційної шини передбачає основні компоненти:

- віртуальні технології (Docker, Podman);
- кластери (Kubernetes);
- прикладні програми та сервіси (Java);
- інформаційні технології програмування (JAX-WS, JAX-RS, JAXB і інші);
- збірник проектів (Maven);
- систему ведення логів (log4j);
- системи модульного тестування (JUnit5).

2.6. Вимоги до програмного коду. Програмний код повинен бути розроблений відповідно до стандартів НАТО зі взаємодії з інформаційними системами за вказаними:

- протоколам передачі даних;
- запитам до інформаційних систем;
- використанням системних або прикладних бібліотек, мов програмування, технологій і т. ін.

Програмний код може бути розроблений за *стандартною версією*. При необхідності може бути розроблена *розширена версія*.

Стандартна версія включає в себе роботу декількох користувачів на основі консольної версії з розробки та взаємодії основних компонент інтеграційної шини для вирішення завдань демонстраційного прикладу. Також для стандартної версії передбачаються розвинені засоби захисту і використання інформаційних ресурсів.

Розширена версія включає в себе роботу користувачів на основі інформаційної екосистеми з підтримкою сучасних фреймворків з роботи з інтеграційною шиною.

Розширена версія повинна мати підтримку великої кількості користувачів, використання розвинених механізмів управління та захисту інформації, ідентифікації користувачів, призначення ролей, моніторингових функцій всередині інтеграційної шини і т. ін.

Розробка програмного коду має здійснюватися згідно основними принципами побудови систем (життєвого циклу) і включати: аналіз, проектування, розробку, тестування і впровадження макету (системи).

Організаційні вимоги до розробки сервісних адаптерів повинні відповідати трьом складовим:

- вхідної інформації, яка надається від конструктора форм інформаційних систем (адаптерів першого типу);
- вихідної інформації;
- алгоритму обробки (CRUDS операції) і управління даними.

Вхідна і вихідна інформація може бути представлена у вигляді однієї або декількох таблиць, в яких будуть знаходитися службова та операційні частини, обов'язкові ключові поля. Обов'язкові поля таблиць описують їх назви (аббревіатури) англійською мовою і зміст, що повинні відповідати різним типам даних (цілі, речові, довгі цілі і т. ін.).

До типу даних може складатися окрема таблиця. При наявності цих трьох складових буде виконуватися проектування діаграм класів і розробка програмного коду.

2.7. Завдання демонстраційного прикладу. Основними завданнями демонстраційного прикладу є:

- визначення структури та функціональних особливостей роботи інтеграційної шини;
- проектування структури даних і команд взаємодії сервісів інтеграційної шини;
- розробка функціональних обов'язків брокера, постачальника і споживача сервісів.

Висновки. Нами визначено особливості аналізу та проектування взаємодій інформаційних систем в сервіс-орієнтованих архітектурах, зроблено наголос на структурі та функціонуванні основних компонентів, організації роботи розглянутих інформаційних систем, вимог і технології створення демонстраційного прикладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). Overview. P. 13.
2. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). Exchange Mechanism Overview. P. 28.
3. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). Request/Response Exchange Pattern. P. 43.

4. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). Publish/Subscribe Exchange Pattern. P. 49.
5. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). File Exchange Pattern. P. 22.
6. MIP4 Information Exchange Specification (MIP4-IES). Information Definition Overview. P. 89.
7. Reference Architecture for Service Oriented Architecture Version 1.0. P. 104.
8. Web Services (WS-Topics) Topics 1.3 P. 40.
9. Software life cycle processes 12207–2008. ISO/IEC/IEEE International Standard. Systems and software engineering. URL: <https://standards.ieee.org/standard/12207–2008.html> (дата звернення: 14.08.2020)
10. UDDI Spec Technical Committee Draft, UDDI Version 3.0.2. P. 420.
11. Ньюкомер Э. Веб-сервисы для профессионалов XML, WSDL, SOAP and UDDI. СПб.: Питер, 2003. 256 с.
12. Веб-сервисы. XML, WSDL, SOAP и UDDI. Для профессионалов. Отрывок из книги, глава 1. Введение в веб-сервисы. URL: <http://citforum.ru/book/xml-wsdl/otryvok.shtml> (дата звернення: 02.03.2020)
13. Backus J. W., Bauer F. L., Green J. et al. Revised report on the algorithmic language ALGOL60. California, USA. December 1962. Volume 4, Issue 1. P. 420–453.
14. Chappell D., Jewell T. Java Web Services. Publisher: O'Reilly. First Edition. March 2002. P. 276.
15. Clement L. (Systinet), Hatley A. (IBM), Riegen C. von (SAP AG), Rogers T. (Computer Associates). UDDI Spec TC. UDDI Version 3.0.2. UDDI Spec Technical Committee Draft, Dated 20041019. P. 420.
16. Oracle Fusion Middleware. Programming Advanced Features of JAX-WS Web Services for Oracle WebLogic Server. 11g Release 1 (10.3.1). May 2009. P. 88.
17. IBM Web Services Conceptual Architecture : URL: https://www.researchgate.net/publication/235720479_Web_Services_Conceptual_Architecture_WSCA_10 (дата звернення: 25.02.2020)
18. Stam K. T., 'Ree A. O. Apache jUDDI Guide. http://juddi.apache.org/docs/3.3/juddi-guide/html_single/ (дата звернення: 03.08.2020)
19. Wirth syntax notation : URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wirth_syntax_notation (дата звернення: 23.08.2020)

Розділ IV

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

MODELING OF A MASK FOR IMPROVING THICKNESS
UNIFORMITY OF THIN FILMS AND VACUUM COATINGS

S. N. Fedosov, A. E. Sergeeva

Новий підхід був використаний для поліпшення однорідності товщини тонких плівок та покриттів, нанесених на плоску поверхню великої площі, яка рухається, таку як полімерна плівка, паперова або сталева полоса. Він полягає в математичному моделюванні спеціальної маски, призначеної для контрольованого часткового екранування потоку пари. Запропоновано точну процедуру для оптимізації профілю маски, щоб отримати найкращу однорідність товщини тонкої плівки або вакуумного покриття при будь-якій геометрії випарник — підкладка. Експериментальні результати підтверджують високу ефективність запропонованого моделювання, яке може бути використано не лише на нових конструкціях, але і на вже працюючих системах. Метод може бути застосованим не тільки для фізичних процесів осадження пари, але також для нанесення тонких плівок розпиленням та отримання іонного покриття.

A new approach has been used to improve thickness uniformity of thin films and coatings deposited on plane moving substrates of large area such as polymer films, paper or steel strips. It consists of mathematical modeling a special mask designed for controllable partial screening of the vapor stream. A precise procedure is proposed to optimize a profile of the mask so as to obtain the best thickness uniformity of either the thin film or the vacuum coating at any evaporator — substrate geometry. Experimental results confirm the high efficiency of the proposed modeling that can be used not only at newly designed plants, but also at already working systems. The method is applicable not only for physical vapor deposition processes, but also for sputtering and ion plating.

Vapor deposition is a coating process in which coating material is condensed in a vacuum at the substrate from a vapor phase, forming a thin film. Sometimes, the deposited material reacts further with the gaseous substances to form a compound coating. Generally metals and non-metals can be deposited; certain cases depend on the applied method. Different types of deposition techniques are used to meet this criterion. All of these techniques

include a vacuum and are used to minimize unwanted reactions with the free space and to shape the film composition easily.

Physical processes such as evaporation is used in the PVD technique. Some PVD methods are well known, such as thermal evaporation and electron beam evaporation. Besides, many sputtering techniques are used. All PVD methods are useful for coating surfaces faced with deposition flux. Substrate type, thin film material, the necessity of uniformity and thickness control are important parameters that help in the choice of the deposition method.

Physical vapor deposition is an atomistic deposition process that involves the vaporization and subsequent condensation of a coating species onto a surface to be coated. Thus, coating deposition and growth begin with the random (heterogeneous) nucleation of crystallites, each of which then grows in competition. This nucleation and growth process will depend on the substrate surface energy, the availability of nucleation sites, and the mobility of the deposited species and the atomic structure of the coating, as a bulk material.

Physical vapor deposition coating is a product that is currently being used to enhance a number of products, including automotive parts like wheels and pistons, surgical tools, drill bits and guns. Application of PVD in different branches of industry PVD technology is very versatile, enabling one to deposit virtually every type of inorganic material, such as metals, alloys, compounds and mixtures, as well as some organic materials. PVD coatings are generally used to improve hardness, wear resistance and oxidation resistance. So, such coatings are used in a wide range of applications such as: aerospace, automotive, surgical/medical, dyes and molds for all manner of material processing, cutting tools, firearms, optics, watches, thin films (window tints, food packaging, etc.) and in the textile industry.

There are different types of PVD. We are especially interested in the evaporative deposition: in which the material to be deposited is heated to a high vapor pressure by electrically resistive heating in a “low” vacuum, as well as in the electron beam physical vapor deposition: in which the material to be deposited is heated to a high vapor pressure by electron bombardment in a “high” vacuum and is transported by diffusion to be deposited by condensation on the (cooler) work piece.

Vacuum evaporation is a physical vapor deposition (PVD) process and one of the most commonly used methods for deposition of functional films on different substrates. The process allows vapor particles to deposit directly on the substrate where vapor particles condense back to a solid state, form-

ing a functional coating. The vacuum evaporation process involves two basic stages: the evaporation of a functional material and the condensation on the substrate.

A vacuum is used to prevent the collision of the evaporated particles with the background gas or other unwanted particles. Vacuum evaporation offers two significant advantages: (1) high-purity films can be formed/ produced from high-purity source material; (2) it is the least expensive of the PVD processes. In a vacuum evaporation system the material to be evaporated is heated in an evacuated chamber so that it attains a gaseous state. Vapor of this material traverses the space from the source to the substrate. Typical deposition rates in industry are around $0.5 \mu\text{m}/\text{min}$. To approach this rate ($0.5 \mu\text{m}/\text{min}$), a vapor pressure in 10^{-3} mm Hg range is desired. Evaporation from a point source can cause non-uniformity on the substrate.

Typical vacuum system used for evaporation including vacuum chamber, roughing pump, high vacuum pump and various valve gauges. During vacuum evaporation, substrates are essentially unheated, except for radiation from the evaporant source (usually give substrate $50\text{--}100^\circ\text{C}$ depending on temp). To improve the adhesion of the evaporant to the substrate, an elevated temperature is sometimes used with infrared heaters. Thermal evaporation provides energy in the $0.1\text{--}0.15 \text{ eV}$ range, and thus does not damage the substrate surface, which is especially good for gate oxides. However, e-beam evaporation uses high voltage ($>10 \text{ kV}$) and may produce X-rays, which increase fixed oxide charge and the density of interface traps. In-situ cleaning is not practical in an evaporation system, thus sometimes this method poses adhesion problems.

Aluminum film has fine adhesion on oxide substrates, but most of the metals (especially noble metals) have poor adhesion on silicon or silicon oxide surfaces, and as a result, chromium (Cr) and titanium (Ti) are often used for this purpose.

Evaporation system requirements are as below: 1. Vacuum system which needs 10^{-6} mm Hg for medium quality films and can be accomplished in UHV down to 10^{-9} mm Hg . 2. Cooling water which contains hearth, thickness monitor and bell jar. 3. Mechanical shutter which allows evaporant flux to be rapidly modulated. 4. Electrical power with high current or high voltage (typically $1\text{--}10 \text{ kW}$). Also evaporation support materials are: 5. Refractory metals like tungsten (W), tantalum (Ta) and molybdenum (Mo). 6. Refractory ceramics like graphitic carbon (C); alumina (Al_2O_3); boron nitride (BN). 7. Engineering considerations such as thermal conductivity, thermal expansion, electrical conductivity, wettability and reactivity.

Deposition of thin films and protective coatings by the method of evaporation in vacuum is widely used nowadays in microelectronics and in other fields. Especially important are large scale production plants where thin films or coatings are deposited on moving roll substrates, such as polymer films in semi-continuous processes with substrates even of 2 m width often used. Electrical, optical, anti-corrosion and other properties of such thin films and coatings deposited by thermal evaporation in vacuum are sensitive to their thickness. At the same time, the thickness is in principle non-uniform, since the condensate is always thicker in the middle of the substrate than at its edges, as it follows from Knudsen's law of evaporation. Thickness non-uniformity is one of the main drawbacks of the vacuum evaporation and deposition method.

In order to take appropriate measures to solve and eliminate this problem, it is important to know the distribution of condensate in thickness on the surface of the substrate, as well as methods for increasing the uniformity of this distribution. Note that the literature contains relatively little data on these issues.

When the metal evaporates in a vacuum, a vaporization process occurs. The spreading flow of metal vapor is deposited (condensed) in the form of a film (condensate) on a surface located in its path, which is commonly called a substrate.

It is known from the molecular kinetic theory of gases that the mean free path of molecules is determined by the following formula

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n} = \frac{mv^2}{3 \cdot \sqrt{2}\pi\sigma^2 p}, \quad (1)$$

where σ is the effective diameter of the molecule; n is the number of molecules per unit volume at a given pressure and temperature; m is the mass of the molecule; v is the mean square velocity of molecules; p is the pressure.

It follows from formula (1) that at a vacuum of 10^{-4} mm Hg metal atoms are capable of passing distances of tens of centimeters without collisions. Under conditions of a sufficiently high vacuum ($10\text{--}4\text{... } 10\text{--}5 \text{ mm Hg}$), vapor of the evaporating metal propagates in the vacuum chamber without colliding with the residual gas molecules. Then, the evaporation rate is calculated using the Langmuir formula, which is derived from the basic equations of the molecular kinetic theory of gases:

$$v_u = 0,0585 p \sqrt{\frac{M}{T}} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \right], \quad (2)$$

where v_u is the evaporation rate, i.e. the mass of metal (g) evaporating from a unit of the evaporator surface (1 cm^2) per unit of time (1 s); p is the vapor pressure of the metal (mm Hg) at a given absolute temperature $T(K)$; M is the molar mass of the evaporated substance.

Molecules (atoms) of the evaporated substance at a residual gas pressure of the order of 10^{-4} mm Hg and a distance between the evaporator and the substrate up to 50 cm leave the evaporator and move in a straight line until it hits the substrate. The straightness of the path of molecular flows in a high vacuum makes it possible to draw an analogy between the propagation of molecular and light flows. This makes it possible to extend the laws of geometric optics used to calculate the surface illumination to the laws of the propagation of molecular flows in vacuum.

The distribution of molecular fluxes during the evaporation of one-component systems in vacuum can be judged on the basis of the formula, which is commonly called the cosine law:

$$J = J_0 \frac{dS_u}{\pi r^2} \cos \varphi, \quad (3)$$

where J is the flow of evaporating molecules at a distance r from the evaporation source; dS_u is the element of the source surface; φ is the angle between the direction of the molecule movement from the source and the perpendicular to its surface.

If no special measures are taken, then the thickness of the coating in the center of the moving substrate will be much greater than at its edges. Despite the fact that these questions are very important, in the scientific literature there is little data on the distribution of coatings thickness on a moving substrate. The problem of vacuum metallization of the moving strips is most fully covered in the monograph [1].

One of the methods for correcting molecular flows is the use of masks, shutters, screens, diaphragms of the appropriate shape. Their role is to equalize the rate of condensation at all points of the substrate, achieved by correspondingly partial blocking the flow of particles moving towards the substrate.

The use of screens that completely trap all atoms of the flow falling on them (passive screens) is one of the simple and effective ways to improve the uniformity of the coating thickness. The task is to find the optimal screen parameters that ensure the maximum uniformity of the coating thickness with known evaporation geometry.

The location of the screen must be symmetrical about the vertical axis connecting the center of the evaporator to the center line of the strip. In

addition, the screen should not reduce the thickness of the coating at the edge of the strip (i.e., for these points the evaporator should be open), and its purpose is only to absorb part of the vapor flux, which, without the screen, creates a maximum thickness in the center of the strip. The optimal arrangement of the screen is such that the thickness of the coating in the center of the strip and at its edges is the same.

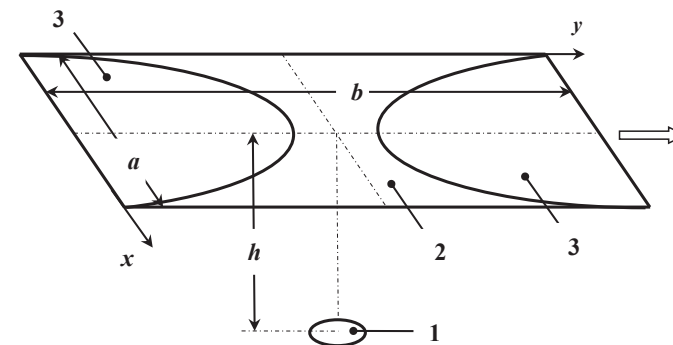


Fig. 1. Schematic diagram showing continuous thin film deposition with a mask:

1 — evaporator, 2 — moving substrate, 3 — mask

Several methods have been suggested and described on how to improve the thickness uniformity on moving substrates [1–11], but the problem still remains of the current interest. In the method presented in this paper, a specially designed mask placed near the substrate is used to modify the original distribution of vapors emitted by the evaporator. High efficiency of the suggested method has been proved experimentally.

Geometrical arrangements are shown in Fig. 1. A horizontal mask consisting of two symmetrical parts is placed very close under the moving substrate so that evaporated atoms arrive at the substrate only in the area not shaded by the mask and called the area or zone of condensation. The zone is narrow in the middle of the substrate, but remains as wide as possible at the edges. Deposition time proportional to the length of the condensation zone decreases gradually in the direction from the edge of the substrate to its central axis. Since the deposition rate increases in the same direction, their product proportional to the thickness of the coating can be made constant throughout the surface of the substrate. Therefore, a properly designed mask should reduce the vapor stream going to the central part of the moving substrate, but does not hinder deposition of the coating at its edges.

Profile of the mask is formed by two curves marked as $y_1(x)$ and $y_2(x)$. It is obvious that the desired profile is a function of the substrate width and emission characteristics of the evaporator. Thickness of the coating at a point with coordinate x after passing this point over the evaporator can be described by the following expression

$$\delta(x) = \frac{t(x)}{y_2(x) - y_1(x)} \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} W(x, y) dy, \quad (4)$$

where $t(x)$ is the deposition time, $W(x, y)$ is the distribution function of the deposition rate. Thickness of the coating at the edges of the substrate ($x = 0$ and $x = a$) is

$$\delta(0) = \delta(a) = \frac{t(0)}{b} \int_0^b W(0, y) dy = \frac{t(a)}{b} \int_0^b W(0, y) dy. \quad (5)$$

The deposition time is a function of the coordinate x and the velocity of the substrate V

$$t(x) = \frac{y_2(x) - y_1(x)}{v}. \quad (6)$$

Constancy of the evaporation rate and the velocity of the substrate are essential. It is convenient to introduce a new function $F(x, y)$ instead of the unknown function $W(x, y)$ in expressions (4) and (5). $F(x, y)$ is actually the thickness distribution of a coating deposited on the fixed plane substrate. Correlation between functions $W(x, y)$ and $F(x, y)$ is as follows

$$W(x, y) = \frac{F(x, y)}{t_0}, \quad (7)$$

where t_0 is time of the coating deposition at the fixed substrate. By combining equations (4)–(7) we obtain the following theoretical condition for the absolute thickness uniformity of the coating deposited at the moving substrate

$$\int_{y_1(x)}^{y_2(x)} F(x, y) dy = \int_0^b F(a, y) dy = \int_0^b F(0, y) dy. \quad (8)$$

If Knudsen's law of evaporation is valid and the area of evaporation is much smaller than that of condensation, the evaporator can be considered as a small-area surface source [3–6]. Then, the function $F(x, y)$ will be as follows

$$F(x, y) = \frac{N \cdot h^2}{\pi \cdot \rho \cdot \left[h^2 + \left(x - \frac{a}{2} \right)^2 + \left(y - \frac{b}{2} \right)^2 \right]^2}, \quad (9)$$

where h is the shortest distance between the evaporator and the substrate, ρ is the density of the coating, N is the rate of evaporation.

The unknown functions $y_1(x)$ and $y_2(x)$ satisfying condition (9) can be easily found mathematically after substitution equation (9) to equation (8). If emission characteristics of the evaporator differ from that of the small-area source, as for instance in the case of rectangular boats or bars, the function $F(x, y)$ must be found experimentally. The simplest way to do this is to deposit the coating at the fixed substrate without a mask using the same evaporator, as in the case of the moving substrate. Then, thickness of the coating must be measured at as many points as possible and thus the function $F(x, y)$ will be reconstructed.

It is clear from equation (8) that the problem of obtaining the functions $y_1(x)$ and $y_2(x)$ has many solutions. Therefore, additional conditions should be fixed to obtain a unique profile of the mask. The most practical is the symmetrical positioning of the mask in relation to the evaporator corresponding to the following condition

$$y_2(x) = b - y_1(x) \text{ and } y_1(x) = y_1(a - x). \quad (10)$$

The method has been tested experimentally. The electrically heated evaporator in the form of the rectangular Ta boat was used to deposit Cu coating at the moving steel strip of 0.14 mm thickness and 180 mm width. The substrate velocity and the evaporator-to-substrate distance were 0.02 m/s and 175 mm accordingly. The function $F(x, y)$ was found experimentally by measuring the thickness distribution of the coating deposited on nine fixed substrates (20x260 mm) simultaneously placed in the condensation zone. Thus, the nine parallel cross-sections of the distribution function $F(x, y)$ were obtained. The profile of the mask satisfying condition (5) was found graphically. The mask was cut from Al sheet and placed under the moving substrate during the next series of experiments. Thickness of the Cu coating was practically identical ($4.5 \pm 0.25 \mu\text{m}$) at any point of the substrate.

In conclusion, a novel technique is suggested and described to improve thickness uniformity of thin films and coatings deposited at wide moving substrates. The principle of the method is in a partial screening of the vapor stream emitted from the evaporator by a specially designed mask. The

method is applicable not only for physical vapor deposition processes, but also for sputtering, ion plating and other processes with a transport of particles from the source to the substrate. The technique can be easily implemented at newly designed equipment, as well as at already working stations.

REFERENCES

1. O. M. Beregovaya, A. I. Kostrzhitskiy, S. N. Fedosov *Physical and chemical foundations of multi-component condensates deposition technology* (in Russian), Odessa: TES, 2009.
2. Ben Wang, Xiuhua Fu, Shigeng Song *et al* "Simulation and Optimization of Film Thickness Uniformity in Physical Vapor Deposition", *Coatings* vol. 8, no. 9, pp. 1–27 Sept. 2018.
3. M. Ohring, D. Gall, S. P. Baker *The materials science of thin films*, 3rd ed.: Deposition and structure, Academic Press, 2013.
4. D. M. Mattox Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, 2nd ed.; William Andrew: Boston, NY, USA, 2010.
5. X. S. Du, Y. D. Jang, J. S. Yu *et al* "Quantitative evaluation of film thickness uniformity" *J. Vac. Sci. Technol. A.*, vol. 25, no. 2, pp. 215–220, Feb. 2007.
6. S. Amorosi, G. Benvenuti, E. Halary-Wagner, P. Hoffmann "Large area deposition in high vacuum with high thickness uniformity" US Patent 20 050 166 846, C30B Jun. 23, 2003.
7. E. N. Kotlikov, V. N. Prokashev, V. A. Ivanov, A. N. Tropin "Thickness uniformity of films deposited on rotating substrates" *J. Opt. Techn. c/c of Opticheskii Zhurnal*, vol. 76, no. 2, pp. 100–103, Feb. 2009.
8. P. A. Savale "Physical vapor deposition (PVD) methods for synthesis of thin films: A comparative study", *Arch. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, pp. 1–8, 2016.
9. J. B. Oliver, D. Talbot "Optimization of deposition uniformity for large-aperture substrates in a planetary rotation system", *Appl. Opt.*, vol. 45, pp. 3097–3105, 2006.
10. C. Li, S. Song, D. Gibson, et al "Modeling and validation of uniform large-area optical coating deposition on a rotating drum", *Appl. Opt.* vol. 56, pp. C65–C70, 2017.
11. S. Shahidi, B. Moazzenchi, M. Ghoranneviss "A review-application of physical vapor deposition (PVD) and related methods in the textile industry" *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* vol. 71, pp. 31302-p1–31302-p13, 2015.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ОТРИМАННІ РИСУНКІВ ЛІХТЕНБЕРГА НА ЇХНІ ФРАКТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ

Журба А. О., Зимогляд А. Ю.

Фігури Ліхтенберга являють собою картини розподілу іскрових каналів, які можуть утворитися на поверхні та всередині ізолюючих матеріалів при ковзному іскровому розряді. Розгалужені, самоподібні візерунки, що спостерігаються у фігурах Ліхтенберга, демонструють властивості фракталів. Тому доцільним є дослідження фрактальних властивостей фігур Ліхтенберга та ідентифікація деревини за ними.

Lichtenberg figures are pictures of the distribution of spark channels, which can be formed on the surface and in the middle of the insulating materials during a sliding spark discharge. The branched, self-similar patterns observed in Lichtenberg's figures demonstrate the properties of fractals. Therefore, it is advisable to study the fractal properties of Lichtenberg figures and identify the wood behind them.

In a series of experiments, it was noticed that Lichtenberg's drawing is to a greater extent influenced by the physical properties of wood, among which moisture, density and electrical conductivity stand out. In second place in importance is the isolation of terminals. And such components as the applied electrolyte, the force of the applied voltage or its shape have almost no effect on the shape of Lichtenberg's drawing. The study revealed the influence of wood species on the formation of the Lichtenberg pattern. As a result of this series of experiments, it was found that the resulting drawings are generally very similar (with slight differences), but we can identify certain features that are specific to this species of wood. These differences were analyzed by fractal methods and a conclusion was made about the relevance of wood identification by fractal properties of Lichtenberg's drawing.

Рисунками, або фігурами Ліхтенберга називають картини розподілу іскрових каналів, які можуть утворитися на поверхні та всередині ізолюючих матеріалів (твердих тіл, рідин або газів) при ковзному іскровому розряді. В іскрових каналах сильного розряду виникають високі показники тиску і температури, які деформують поверхню діелектрика, запам'ятовуючи на ній різноманітні фігури фрактальної природи. Дослідження плоских фігур Ліхтенберга на поверхнях дерев, всередині ізолюючих матеріалів дає інженерам важливі відомості про шляхи збільшення довготермінової надійності високовольтного обладнання. Фігури Ліхтенберга тісно пов'язані з поступовим погіршенням роботи високовольтних радіоелементів та обладнання [1].

У ході дослідження була розглянута можливість ідентифікації породи деревини за рисунках Ліхтенберга. Для цього було необхідно перевірити, які чинники впливають на утворення рисунку. Було проведено серію дослідів із впливу таких чинників як вологість, напруга, ізоляція терміналів, наявність електроліту та породи деревини на рисунок Ліхтенберга.

На рисунку 1 наведено приклад отриманих фігур Ліхтенберга. Як видно з рисунку, фігури мають фрактальну структуру і відповідно мають фрактальні властивості [2]. Розгалужені, самоподібні візерунки, що спостерігаються у фігурах Ліхтенберга, демонструють властивості фракталів. Фігури Ліхтенберга часто формуються при електричному пробі у твердих тілах, рідинах і навіть газах. Їхня поява та ріст виявляються пов'язаними із процесом, що дістав назву дифузно обмежене агрегування. У зв'язку з цим доцільним є дослідження фрактальних властивостей фігур Ліхтенберга та ідентифікація деревини за ними.

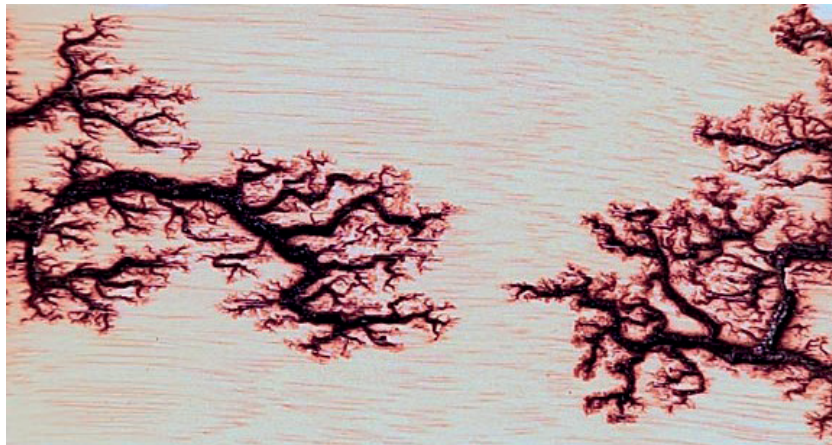


Рис. 1. Приклади фігур Ліхтенберга

Основною характеристикою, що описує фрактальні властивості об'єктів, є фрактальна розмірність. Це кількісна характеристика, що описує фрактал. Фрактальна розмірність являє собою міру розбивки об'єкта на частини розміру g з подальшим підрахунком числа частин, що покривають досліджуваний об'єкт. Для обчислення фрактальної розмірності об'єктів у роботі було реалізовано метод box-counting [3].

Метод застосовується для зображення будь-якої структури на площині. Цей метод дозволяє визначити фрактальну розмірність не строго самоподібних об'єктів.

Величина фрактальної розмірності має сильну залежність від фрагменту зображення. Це перешкоджає об'єктивній оцінці розмірності. Для вирішення цієї проблеми необхідно розділити зображення на малі фрагменти і в цих фрагментах оцінювати локальні фрактальні розмірності. Якщо фрагменти знаходяться на зображенні фрактала, що має однакову розмірність, то і загальна оцінка розмірності за цими фрагментами залишиться незмінною.

Для визначення локальних розмірностей використовується метод ковзаючого вікна, який полягає у визначенні фрактальної розмірності в межах вікна, розмір якого можна задавати довільно. Вікно попіксельно переміщується по зображенню. При цьому на кожному кроці обчислюється фрактальна розмірність зображення, що потрапило у ковзаюче вікно. Після отримання локальних фрактальних розмірностей проводиться побудова їх емпіричного розподілу ймовірностей, $W(D) / W \max(D)$ — фрактальне розподілення, яке дозволяє виділити різні групи фрактальних об'єктів [4].

В першій серії дослідів було підготовлено 5 однакових зразків фанери з ясеня з розмірами 12 см на 15 см, у всіх зразках на відстані 1 см від краю було закріплено 2 термінала, на які було подано високу напругу. Відстань між терміналами складала 10 см. У якості терміналу використовувались цвяхи, вироблені із латуні. На термінали подавався змінний синусоїдальний струм з частотою 70 кГц та амплітудою 50 кВ. Поверхня фанери 4 зразків (рис. 2а — 2г) була одночасно оброблена розчином електроліту на основі харчової соди (50 г соди на 1 л води), окрім одного зразка (рис. 2д). Зразок під номером 5 (рис. 2д) не був оброблений ніяким розчином. Потім всі зразки піддавались електричному пробі з часовим кроком в 10 хв. Через цей часовий крок зразки поступово ставали все сухішими аж до останнього зразка під номером 5 (рис. 2д). В ході дослідів було помічено, що вологість впливає на чіткість рисунку Ліхтенберга, а також виявилось, що при малій вологості деревини електричного пробію немає.

В другій серії дослідів було підготовлено 4 однакові зразки фанери з ясеня розмірами 12 см на 15 см, у всіх зразках на відстані 1 см від краю було закріплено 2 термінала, на які було подано високу напругу. Відстань між терміналами, а також параметри струму були такими самими, як і в першій серії дослідів. На зразках під номерами 1 і 2 тер-

мінали не були за ізолювані (рис. 3б), на 3 і 4 була виконана ізоляція (рис. 3а). В ході дослідів було помічено, що при відсутності ізоляції терміналів отримані фігури поблизу анода і катода різко розрізняються за зовнішнім виглядом, і за ними можна встановити, від якого з електродів розвивалися іскрові канали. А на заізолюваних терміналах фігури поблизу анода і катода майже не відрізнялися.

В третій серії дослідів було підготовлено 4 зразка фанери з ясеня з розмірами 12 см на 15 см, всі параметри закріплення терміналів, а також розчинів електроліту були такими самими, як і в першому досліді. Проте в цій серії дослідів одразу після нанесення електроліту (щоб вологість була примірна однаковою) зразки були підвержені електричному пробою. А саме: 1 зразок — 4 кВ постійної напруги; 2 зразок — 4 кВ змінної напруги 50 Гц; 3 зразок — синусоїдальний струм частотою 70 кГц та амплітудою 50 кВ; 4 зразок — постійній напрузі приблизно 50 кВ. В ході серії дослідів було помічено, що напруга та її форма не має суттєвого впливу. Однак є певні обмеження. Якщо напруга буде занадто високою, а потужність блока живлення достатньою, то деревина просто згорить. Якщо ж напруга буде занадто малою, то пробою навіть з електролітом може і не бути. Однак в діапазоні 4–50 кВ якоїсь значної різниці в рисунку помічено не було.

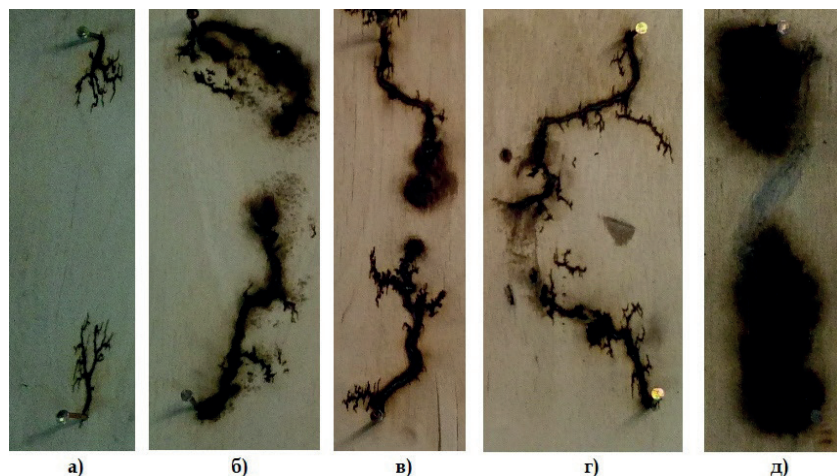


Рис. 2. Фігури Ліхтенберга за зразках фанери з ясеня з використанням електроліту (а–г) та без використання електроліту (д)

В четвертій серії дослідів проводилося дослідження впливу електроліту. Зразки, як і в попередніх дослідах, були таких же розмірів та ідентичного матеріалу, проте, на відміну від двох попередніх, було використано 3 види електроліту, серед яких: розчин харчової соди, розчин кухонної солі, розчин нікелю сірчаноокислого. Кількість речовин, що розчинялись в 1 л воді для кожного електроліту, були обрані таким чином, щоб їх малярна маса була однаковою. Потім на зразок під номером 1 було нанесено розчин харчової соди, на зразок під номером 2 розчин кухонної солі, а на 3-й зразок розчин нікелю сірчаноокислого. В результаті цієї серії дослідів різниці в рисунку не було помічено, однак, як і у випадку з напругою, є певні обмеження. Якщо розчин електроліту зробити занадто концентрованим, то струм піде по цьому розчину, а не по деревині, що призводить до горіння деревини.

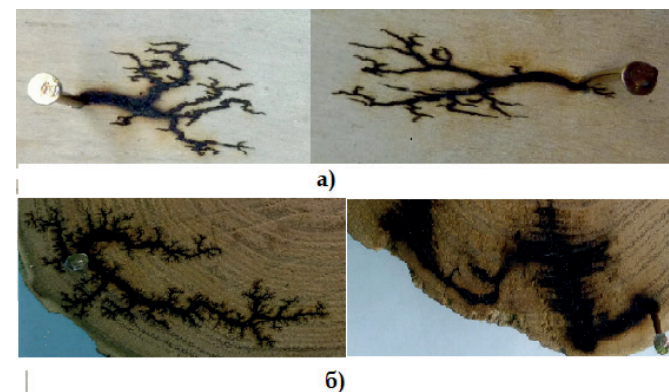


Рис. 3. Приклади фігур Ліхтенберга при ізоляції терміналів (а) та без ізоляції терміналів (б)

В п'ятій серії дослідів проводилося дослідження впливу породи деревини на формування рисунку Ліхтенберга. Для цього було взято по 3 зразки різних порід дерев, серед яких зрізи: ясеня, клена, дуба, горіха та абрикоса. Всі перераховані зразки були піддані впливу електричного пробою. В результаті проведення цієї серії дослідів було виявлено, що отримані рисунки в цілому дуже схожі (з невеликими відмінностями), проте можна виділити певні особливості, які властиві саме цій породі деревини. Саме ці особливості доцільно аналізувати методами фрактального аналізу. Тому для дослідження фрактальних властивос-

тей фігур Ліхтенберга в роботі було проаналізовано фігури, що отримані на деревині чотирьох порід: ясень, акація, клен, сосна (рис. 4).

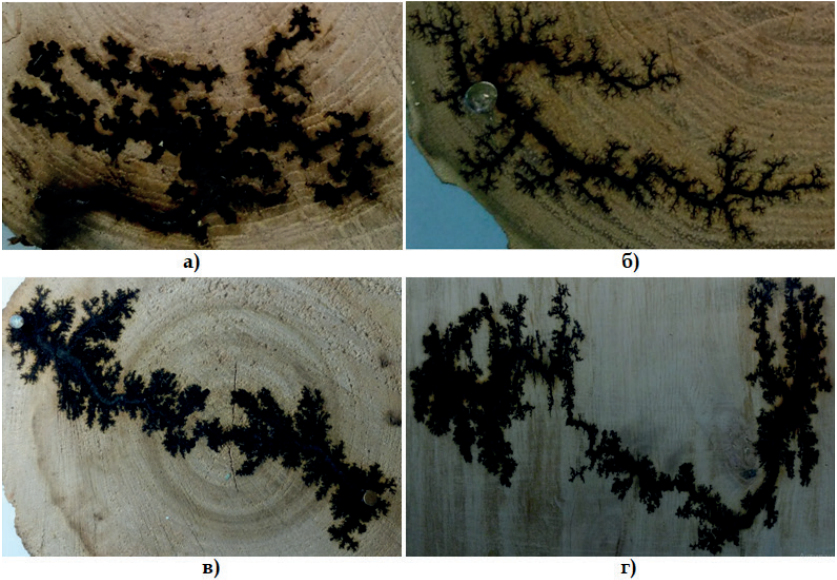


Рис. 4. Фігури Ліхтенберга, отримані на різних породах деревини: ясень (а), акація (б), клен (в), сосна (г)

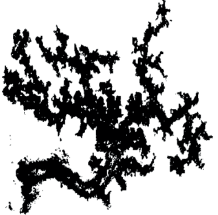



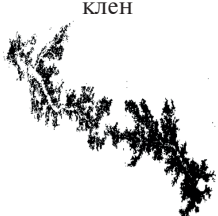

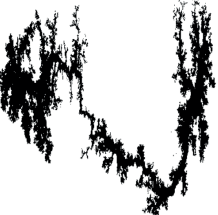

В табл. 1 наведені результати обчислень фрактальних характеристик фігур Ліхтенберга, отриманих для різних порід деревини, зображення яких представлено на рис. 4. Тому важливим етапом при фрактальному аналізі є бінаризація, яка являє собою операцію порогового розділення і результатом якої є бінарне зображення.

Метою операції бінаризації є радикальне зменшення кількості інформації, що міститься у зображенні. У процесі бінаризації початкове півтонове зображення, що має кілька рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле зображення, піксели якого мають лише два значення — «0» і «1».

При бінаризації зображення повинно бути визначено, чи спостерігається в пікселі зображення корисний сигнал або фон за допомогою операції порогового розділення, яка полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення із заданим значенням порогу. Далі пікселю привласнюється значення «0» або «1».

Табл. 1

Фрактальні характеристики фігур Ліхтенберга для різних порід деревини

Зображення фігури Ліхтенберга у бінарному вигляді	Фрактальна розмірність зображення	Фрактальні розподілення
 ясень	1.88	 Фрактальне розподілення без сглаживання розмірностей Значение фрактальных размерностей, D
 акація	1.83	 Фрактальне розподілення без сглаживання розмірностей Значение фрактальных размерностей, D
 клен	1.87	 Фрактальне розподілення без сглаживання розмірностей Значение фрактальных размерностей, D
 сосна	1.89	 Фрактальне розподілення без сглаживання розмірностей Значение фрактальных размерностей, D

У результаті порогової бінарizaції зображення розбивається на дві області, одна з яких містить всі піксели зі значеннями нижче деякого порогу, а інша містить всі піксели зі значеннями вище цього порогу. При цьому велике значення має визначення порогу бінарizaції. При обчисленні фрактальних характеристик порог бінарizaції для даної групи зображень обрано 0,05.

З табл. 1 видно, що кожна порода деревини має фрактальну розмірність, що відрізняється одна від одної. Найбільше значення фрактальної розмірності має сосна — 1.89 (м'яка деревина), а найменше акація — 1.83 (дуже тверда деревина). Кожен вид деревини має кардинально різні фрактальні розподілення. Але кожне розподілення має по чотири моди, що є цікавим для подальших досліджень. Найбільш «щільне» розподілення має сосна, яка також має найбільшу фрактальну розмірність.

В ході серії дослідів було помічено, що на рисунок Ліхтенберга більшою мірою впливають саме фізичні властивості деревини серед яких виділяються вологість, щільність та електропровідність. На другому місці за важливістю є ізоляція терміналів. А такі складові як наносимий електроліт, сила прикладеної напруги або її форма майже не впливають на форму рисунку Ліхтенберга. В ході дослідження виявлено вплив породи деревини на формування рисунку Ліхтенберга. В результаті проведення цієї серії дослідів було виявлено, що отримані рисунки в цілому дуже схожі (з невеликими відмінностями), проте можна виділити певні особливості, які властиві саме цій породі деревини. Ці відмінності було проаналізовано фрактальними методами та зроблено висновок щодо актуальності ідентифікації деревини за фрактальними властивостями рисунку Ліхтенберга.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. М.: Наука, 1992. 537 с.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Ижевск: ИКИ, 2010. 656 с.
3. Журба А. О., Михальов О. І. Фрактальні характеристики зображень металоструктур та особливості їх обчислення // Системные технологии моделирования сложных систем: монография / под общ. ред. проф. А. И. Михальова. Днепр: НМетАУ-ИВК Системные технологии, 2016. С. 299–327. ISBN 978–966–2596–19–9.

4. Журба А. О. Фрактальні методи обробки зображень для дослідження різних типів природних об'єктів / А. О. Журба, А. О. Артемьев // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XI Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро, 13–14 грудня 2017 р. Дніпро, 2017. С. 104.

MATHEMATICAL MODELING OF CHARGE CARRIERS' DISPERSIVE TRANSPORT IN FERROELECTRIC POLYMERS

S. N. Fedosov, A. E. Sergeeva, D. V. Khrumchenkov

Теоретично вивчається перехідний відгук напруги (електретний потенціал) на полівініліденфториді (ПВДФ), типовому сегнетоелектричному полімері, на підключення постійного зарядного струму, припускаючи обґрунтованість моделі багаторазового захоплення інжекттованих носіїв у локалізованих станах та враховуючи нелінійну залежність напруженості поля сегнетоелектричної поляризації від напруги. Отримані наближені аналітичні рішення та перевірена їх надійність за допомогою чисельних обчислень. Значення рухливості вільного носія визначається порівнянням експериментальної кінетики $u(t)$, яка спостерігається з відповідною кривою, реконструйованою за допомогою феноменологічної моделі.

The transient voltage response of poly(vinylidenefluoride) (PVDF), a typical ferroelectric polymer, to the application of a constant charging current is studied theoretically assuming validity of the multiple trapping model of injected carriers at the localized states and considering non-linear field dependence of the irreversible polarization. Approximate analytical solutions are obtained and their reliability is tested by numerical computation. The value of the free-carrier mobility is determined by comparing the experimentally observed $u(t)$ kinetics with the corresponding curve reconstructed from the phenomenological model.

Constant current corona charging is widely used for poling electrets and to study transient processes of carriers transport and space charge accumulation in polymers [1–4]. The regime is obviously very similar to continuous irradiation of dielectrics, which is of great practical importance.

In the present study, the constant-current method is applied to films of poly (vinylidenefluoride) (PVDF), which has attracted great interest because of its considerable piezo- and pyroelectric response. An attempt is made to explain the experimental data in the frame of dispersive transport of injected charge carriers model assuming their multiple trapping at localized

states (traps). We believe that the heterogeneous nature of the polymer is responsible for the broad distribution of the localized states. It has been established that PVDF in a polar form possesses ferroelectric properties [2]–[3]. Therefore, specific non-linear field dependence of the polarization may also affect the space charge and transport of carriers. All those features have not been consistently accounted for in the previous studies on space charge and polarization phenomena in PVDF.

In this paper, we perform both experimental and theoretical analysis of processes acquiring during poling the ferroelectric polymer by constant current method. More than one hundred experiments were performed with 25 μm thick uniaxially stretched PVDF film, which contained nearly equal volume fractions of amorphous and polar Form I (β -phase) crystalline phases. An aluminum electrode of 1000 Å thickness was deposited on one surface of the film vacuum by physical vacuum evaporation.

A specially designed corona triode with a vibrating control grid has been used to bombard the free surface of the film with negatively charged particles at room temperature. The charging current was automatically kept constant in the range of 40–160 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ and the transient voltage across the film (electret potential) has been recorded after being measured by means of the Kelvin probe. Generalized voltage kinetics is shown in Fig. 1 as a range of voltage-time values marked by horizontal lines.

During the theoretical approach, we considered a ferroelectric polymer of thickness L in the plane-parallel geometry equipped with a grounded electrode on one surface ($x' = L$) while the free surface ($x' = 0$) was irradiated by charged particles (for example, by negative ions or electrons) at a constant rate i_0 . The particles are thermalized in a narrow near-surface layer with subsequent injection of electrons in the bulk. Injection of holes from the grounded opposite electrode is neglected.

We assume that the charge carriers are highly localized and charge transport occurs via multiple events of thermal release of carriers, motion and retrapping. Neglecting the diffusion component of the current one can describe this process mathematically by a set of equations, i.e. the continuity equation, Poisson's equation, and the kinetic equations for trapping and release of carriers

$$\frac{\partial n(x', t')}{\partial t'} - \mu_c \frac{\partial [n_c(x', t') E'(x', t')]}{\partial x'} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial D(x', t')}{\partial x'} = -en(x', t'), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho(x', t', Q)}{\partial t'} = \frac{1}{\tau_o} \frac{g(Q) \cdot n_c(x', t')}{N_t} - v_o \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \cdot \rho(x', t', Q), \quad (3)$$

$$n(x', t') = n_c(x', t') + \int_0^\infty \rho(x', t', Q) dQ, \quad (4)$$

where x' is the co-ordinate, t' the time, E' the field, D the displacement, e the electron charge, n the total volume density of the carriers (electrons), n_c the density of delocalized carriers, Q the energy of a localized level, $g(Q)dQ$ the density of the localized states in the energy range from Q to $Q+dQ$, ρdQ the density of carriers trapped at these states, N_t the total density of traps, μ_c the free-carrier mobility, τ_o the lifetime of carriers at the delocalized states, v_o the attempt-to-escape frequency, k Boltzmann's constant and T the absolute temperature.

The initial condition is that the sample contains neither injected charge nor an electric field at the moment of application of the step-wise current:

$$n(x', 0) = 0; \quad E'(x', 0) = 0; \quad \rho(x', 0, Q) = 0. \quad (5)$$

The boundary condition at the surface $x' = 0$ corresponds to injection contact

$$E(0, t') = 0. \quad (6)$$

and at the surface $x' = L$ it considers the loss of charge from the bulk through the surface

$$D(L, t') = -i_0 t' - e \int_0^{t'} E'(L, t'') n_c(L, t'') \mu_c dt''. \quad (7)$$

For materials with a broad energy spectrum of localized states, which we believe our polymer belongs to, thermal equilibrium will not be reached between trapped and delocalized carriers even after a long time from the moment of application of the step-wise current. The situation leads to the following relation between $n(x', t')$ and $n_c(x', t')$:

$$n_c(x', t') = \frac{\partial [\tau'(t') n(x', t')]}{\partial t'}, \quad (8)$$

where

$$\tau'(t') = \tau_o \left\{ \int_{Q^*(t')}^\infty \frac{g(Q)}{N_t} dQ \right\}^{-1}, \quad Q^*(t') = kT \ln(v_o t').$$

From eqns. (1), (2) and (7), the current equation is

$$\frac{\partial D(x', t')}{\partial t'} + e\mu_c E'(x', t') \cdot n_c(x', t') = -i_o. \quad (9)$$

Substituting eqns. (8) and (2) into eqn. (9) one obtains

$$\frac{\partial D(x', t')}{\partial t'} - \mu_c E'(x', t') \frac{\partial}{\partial t'} \left[\tau'(t') \frac{\partial D(x', t')}{\partial x'} \right] = -i_o. \quad (10)$$

Now we express the displacement $D(x', t')$ in the conventional form for ferroelectrics

$$D(x', t') = \varepsilon_o \varepsilon \cdot E'(x', t') + P(E'), \quad (11)$$

where ε_o is the permittivity of free space, ε the dielectric constant comprising all kinds of dielectric and relaxative polarization, and $P(E')$ the quasi-permanent ferroelectric polarization. $P(E')$, which expresses the non-linear field dependence of polarization, is indeed a part of the ferroelectric hysteresis curve and it can be approximated as a sequence of three linear regimes

$$P(E') = \begin{cases} 0, & |E'| < |E'_c| \\ \varepsilon_o \varepsilon (E' - E'_c), & |E'_c| \leq |E'| \leq |E'_s| \\ P_s, & |E'_s| < |E'| \end{cases} \quad (12)$$

where E'_c is the coercive field, P_s the saturated value of polarization, E'_s the field defined by $P(E'_s) = P_s$ and ε' the dynamic dielectric constant ($\varepsilon' = (1/\varepsilon_o) dP/dE'$)

Then eqn. (10) becomes

$$\frac{\partial E'(x', t')}{\partial t'} - \mu_c E'(x', t') \frac{\partial}{\partial t'} \left[\tau'(t') \frac{\partial E'(x', t')}{\partial x'} \right] = \begin{cases} -i_o / \varepsilon_o \varepsilon \\ -i_o / \varepsilon_o (\varepsilon + \varepsilon') \\ -i_o / \varepsilon_o \varepsilon \end{cases} \quad (13)$$

Equation (13) supplemented with the initial (5) and boundary (6) conditions represent a complete mathematical formulation of the problem. In this study we assume an exponential distribution for the localized states since it is typical for polymer dielectrics.

To solve the problem, the following dimensionless variables have been introduced

$$x = \frac{\varepsilon_o \varepsilon v_o^2}{\mu_c i_o} x'; \quad l = \frac{\varepsilon_o \varepsilon v_o^2}{\mu_c i_o} L; \quad \tau = v_o \tau'; \quad \tau_o = v_o \tau_o';$$

$$E = -\frac{\varepsilon_o \varepsilon v_o}{i_o} E'; \quad E_c = -\frac{\varepsilon_o \varepsilon v_o}{i_o} E'_c; \quad E_s = -\frac{\varepsilon_o \varepsilon v_o}{i_o} E'_s.$$

Then eqns. (13), (5) and (6) are reduced to

$$\frac{\partial E(x, t)}{\partial t} + E(x, t) \frac{\partial}{\partial t} \left[\tau(t) \frac{\partial E(x, t)}{\partial x} \right] = \begin{cases} 1, \\ \delta, \\ 1, \end{cases}$$

$$|E'| < |E'_c|, \quad (14a)$$

$$|E'_c| \leq |E'| \leq |E'_s|, \quad (14b)$$

$$|E'_s| < |E'|, \quad (14c)$$

$$E(x, 0) = 0; \quad E(0, t) = 0, \quad (15)$$

where $\delta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + \varepsilon'}$.

In this study we assume an exponential distribution for the localized states since it is typical for polymer dielectrics.

$$g(Q) = \frac{N_t}{Q_o} \exp\left(-\frac{Q}{Q_o}\right).$$

Under this condition, $\tau(t)$ obeys a power law of the form

$$\tau(t) = \tau_o t^\alpha, \quad \alpha = \frac{kT}{Q_o}, \quad (16)$$

where E_o is the specific energy and α is the dispersive parameter.

Now we start solving eqn. (14) by the method of regional approximations. At short time intervals, when the electric field is less than the coercive value, eqn. (14a) is valid. Since the field is equal to zero at the sample surface $x=0$ one can neglect the derivative $\partial E/\partial t$ in this equation for small co-ordinates.

Then the solution of eqn. (14a) has the form

$$E(x, t) = \sqrt{\frac{4x \cdot t^{(1-\alpha)}}{\tau_o (1+\alpha)}}, \quad 0 \leq x \leq x^*(t). \quad (17)$$

For distant co-ordinates, the carriers' front has not reached the region and therefore the field is still uniform there. So the second term in the left-hand side of eqn. (14a) can be neglected, and one obtains

$$E(x,t)=t, \quad x^*(t) < x \leq l. \quad (18)$$

The approximate eqns. (17) and (18) are valid as long as the boundary coordinate $x^*(t)$ is inside the sample and provided the coercive field is not reached anywhere. The time-dependent boundary $x^*(t)$ is easily found from eqns. (17) and (18)

$$x^*(t) = \frac{1}{4} \tau_o (1 + \alpha) t^{(1+\alpha)}. \quad (19)$$

The moment t^* when the boundary x^* arrives at the surface $x=l$ is given by

$$t^* = \left[\frac{4l}{\tau_o (1 + \alpha)} \right]^{\frac{1}{1+\alpha}}. \quad (20)$$

The moment t_c of the appearance of the coercive field can be found by substituting $E=E_c$ in eqn. (18)

$$t_c = E_c. \quad (21)$$

It is quite obvious that any relation between t^* and t_c may exist. Consider first that $t_c < t^*$. Then at $t > t_c$ the second zone is formed, where the field is determined by eqn. (14b). We assume $E(x,t) \sim E_c$ in the second term of its left-hand side. Considering the following asymptotic (uniform) solution for eqn. (14b)

$$E(x,t) = (t - t_c) \delta + E_c, \quad x \gg x^*, \quad (22)$$

we obtain

$$E(x,t) = E_c + (t - t_c) \delta \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(x - x_c(t))}{E_c \tau_o t^\alpha} \right] \right\}, \quad x_c(t) < x \leq l. \quad (23)$$

Substituting $E(x,t) = E_c$ in eqn. (17) one can find the position of the boundary x_c between the first and the second zones

$$x_c(t) = \frac{1}{4} E_c^2 \tau_o (1 + \alpha) t^{-(1-\alpha)}. \quad (24)$$

At a moment t_s the field near the grounded surface becomes equal to E_s and the third zone appears $[x_s(t), l]$ where the field is defined by eqn. (14c). One can obtain t_s and the time-dependent co-ordinate $x_s(t)$ of the boundary between the second and the third zone from eqn. (23)

$$(E_s - E_c) = (t_s - t_c) \delta \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(l - x_c(t_s))}{E_c \tau_o t_s^\alpha} \right] \right\}, \quad (25)$$

$$x_s(t) = x_c(t) - E_c \tau_o t^\alpha \ln \left[1 - \frac{(E_s - E_c)}{(t - t_c) \delta} \right]. \quad (26)$$

To obtain a solution for eqn. (14c) we linearize it assuming $E(x,t) \approx E_s$ in the second term of the left-hand side. Consider an asymptotic solution for this equation at large co-ordinates as follows

$$E(x,t) = E_s + (t - t_{s1}), \quad t_{s1} = t_c + \frac{(E_s - E_c)}{\delta},$$

where t_{s1} is the time when the asymptotic field (22) reaches E_s . We then obtain

$$E(x,t) = E_s + (t - t_{s1}) \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(x - x_s(t))}{E_s \tau_o t^\alpha} \right] \right\}, \quad x_s(t) < x \leq l, \quad t_s < t. \quad (27)$$

The results of calculations are presented in Fig. 1 by solid lines. The values of the parameters are as follows: $\varepsilon=30$, $E'_c = -30$ MV/m, $E'_s = -43$ MV/m, $P'_s = 60$ mC/m², $\varepsilon' = 550$, $v_o = 10^{10}$ s⁻¹, $\tau_o = 10^{-11}$ s, $Q_o = 0.05$ eV, $\alpha = S$. Values of E'_c , E'_s , P'_s and ε' are obtained from the dielectric hysteresis loops and these values are in good agreement with previously reported data. Values of v_o , τ_o , Q_o , α correspond to the class of disordered materials

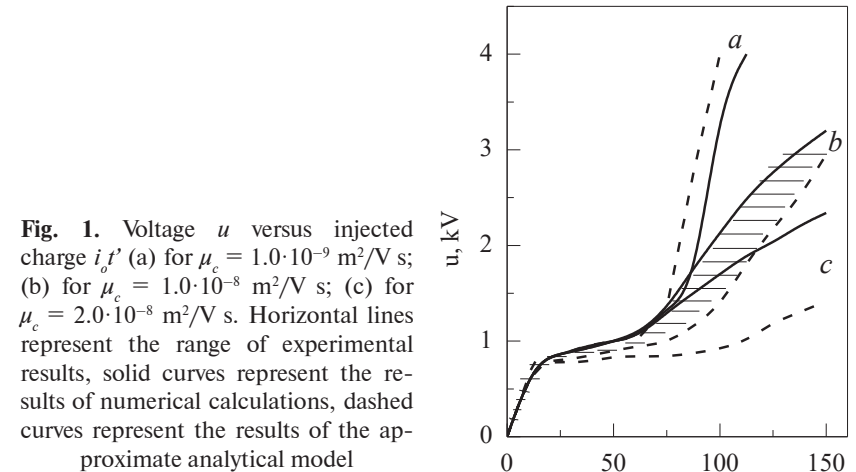


Fig. 1. Voltage u versus injected charge $i_o t'$ (a) for $\mu_c = 1.0 \cdot 10^{-9}$ m²/V s; (b) for $\mu_c = 1.0 \cdot 10^{-8}$ m²/V s; (c) for $\mu_c = 2.0 \cdot 10^{-8}$ m²/V s. Horizontal lines represent the range of experimental results, solid curves represent the results of numerical calculations, dashed curves represent the results of the approximate analytical model

We choose the free-carrier mobility as the parameter to fit the experimental $u(t)$ kinetics to the theoretical model. As can be seen from Fig. 1

the best results are obtained with $\mu_c = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V s}$. This value is likely to correspond to the carrier mobility in the delocalized states since it is 4–6 orders of magnitude higher than the drift and trap modulated mobility in PVDF [4].

Finally, we tried to get an impression of the accuracy of the approximate analytical solution by solving the problem numerically with the help of an absolutely stable differential scheme of the first-order approximation over x and t . The computation results, shown in Fig. 1 by dotted curves, are seen to be in rather good agreement with both the experimental curves and the analytically calculated curves.

In conclusion, considering the more or less universal approach developed in this study we believe that the results obtained here can be extended to examine space charge and polarization phenomena in other materials such as ferroelectric ceramics and probably composites containing ferroelectric inorganic crystals dispersed in a polymer matrix.

REFERENCES

1. Giacometti J. A., Fedosov S., Costa M. M. Corona Charging of Polymers: Recent Advances on Constant Current Charging. *Brazilian Journal of Physics*. Feb. 2009 Vol. 29, no. 2. P. 269–279.
2. Fedosov S., Sergeeva A. Formation and relaxation of polarized state in ferroelectric polymers (Physical properties of polymer dielectrics). Lambert Academic Publishing, Germany, 2020.
3. Fedosov S. N., Sergeeva A. E. Electrophysical properties of ferroelectric polymers. Odessa: TES, 2018. (in Ukrainian)
4. Fedosov S. N., Sergeeva A. E. Model of polarization build-up during corona charging of ferroelectric polymers. *J. Electrostat.* 1993. Vol. 30. P. 39–46.

ЗАСТОСУВАННЯ БУСТИНГУ В АНСАМБЛЯХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ УЗАГАЛЬНЕНОЇ РЕГРЕСІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ АПРОКСИМАЦІЇ

Ізонін І. В., Ткаченко Р. О., Зуб Х. В.

У роботі описано результати експериментальних досліджень з визначення ефективності застосування трьох бустингових ансамблів для підвищення точності розв'язання задач апроксимації. Усі вони базуються на ви-

користанні двох послідовно з'єднаних нейронних мереж узагальненої регресії. Основною різницею між ними є використання різних процедур формування вихідного результату роботи кожного із досліджуваних ансамблів. Подано структурно-функціональні схеми їх роботи, описано основні кроки їх застосування. Апробацію роботи досліджуваних ансамблів проведено із використанням реального набору даних якості повітряного середовища. Описано процедури та результати підбору оптимальних параметрів для ефективного використання усіх досліджуваних ансамблів. Подано ряд числових показників їх роботи щодо точності апроксимації та часових затримок в режимі застосування. Експериментально встановлено найвищу точність роботи ансамблю з двох мереж GRNN, де формування вихідного сигналу відбувається шляхом нелінійного розширення виходів обох мереж ансамблю із використанням полінома Колмогорова-Габора із подальшим застосуванням нейронподібних структур МППП лінійного типу. Зроблено висновки та описано перспективи подальших досліджень, зокрема щодо зменшення часу роботи усіх запропонованих ансамблевих методів.

The paper describes the results of experimental studies to determine the effectiveness of three boosting ensembles to improve the accuracy of solving approximation tasks. All they are based on the use of two, successively connected General Regression Neural Networks. The main difference between it is the use of different procedures for forming the result of each of the studied ensembles. Flowcharts of its work are given, the basic steps of their application are described. The approbation of the work of the studied ensembles was carried out using a real set of air quality data. Procedures and results of the optimal parameters selection for effective use of all studied ensembles are described. A number of numerical indicators of its work in terms of approximation accuracy and time delays in the application mode are given. The highest accuracy of the ensemble with two GRNN's was established experimentally, where the output signal is formed by nonlinear expansion of the outputs of both networks of the ensemble using the Kolmogorov-Gabor polynomial with the subsequent use of SGTM neural-like structures of linear type. Conclusions are made and prospects of further researches are described, in particular concerning reduction of working time of all investigated ensemble methods.

В мовах сучасного постіндустріального суспільства при зборі даних, їх консолідації та передачі не вдається уникати чималих втрат, спотворень в каналах зв'язку та інших неочікуваних ситуацій, через які виникають пропуски у наборах даних, призначених для аналізу. Така форма невизначеності в постановці задач нівелює ефективність подальшого аналізу даних, а проблема їх достовірності, надійності та повноти набуває особливого значення.

Попереднє опрацювання даних вважається одним з найважливіших кроків в їх життєвому циклі. Цей етап відіграє величезну роль для

подальшого інтелектуального аналізу, зокрема із застосуванням алгоритмів машинного навчання з вчителем [1]. Це пояснюється тим, що зашумлені дані з великою кількістю пропусків або просто надмірна кількість даних зменшують ефективність або взагалі унеможлиблює інтелектуальний аналіз на їх основі. Попереднє опрацювання даних включає ряд процедур, які необхідно виконати над даними для подальшого опрацювання. Зазвичай серед них виділяють очищення даних, їх інтеграцію, зменшення розмірності та перетворення.

Це дослідження присвячено проблемі очищення даних, а саме одному із її ключових етапів — усунення пропусків у даних. Проблема не є новою, її розв'язанню приділено чимало наукових праць. Вона виникає у різноманітних галузях, починаючи від психології і завершуючи системами розумного будинку, підприємства чи міста. Серед основних стратегій розв'язання цієї задачі виділяють [2]:

- видалення частини набору, у якій містяться пропущені дані;
- заповнення пропущених даних вибічковими статистиками (середнє значення, медіана тощо);
- заповнення пропущених значень із врахування кореляції між факторними змінними, або на основі міри близькості між спостереженнями.

Загалом кожен із підходів має своє місце застосування. Це залежить від конкретної задачі, структури даних, їх обсягу тощо. Проте, якщо аналізувати ці стратегії загалом, можна сказати наступне. При видаленні частини набору із пропущеними значеннями існує велика ймовірність втрати важливої для подальшого аналізу інформації. Використання середнього значення, медіани тощо для заповнення пропусків у наборах даних базується на припущенні про відсутність залежності між змінними. Проте це не завжди відповідає дійсності [3]. Остання із перерахованих стратегій враховує взаємозв'язки між змінними. Вона дає можливість застосування регресійного підходу, а також методів обчислювального інтелекту для ефективного розв'язання поставленої задачі. В епоху великих даних і даних великих обсягів саме вона виглядає найбільш перспективною серед розглянутих.

Суттєвий ріст обсягів даних, зокрема зібраних пристроями IoT, складні взаємозв'язки всередині набору, а також неефективні існуючі техніки опрацювання таких наборів даних вимагають розроблення нових методів вірогідного заповнення пропущених даних. Це збільшить ефективність аналітики на їх основі і забезпечить можливість

прийняття правильного рішення оператором. Також це може слугувати надійним фундаментом для автоматизації окремих трудо- та часомістких процедур в різних smart системах.

Нейронну мережу узагальненої регресії (GRNN) розробив у 1991 р. Дональд Ф. Сперхт. Топологію та деталі її роботи подано у [4]. До основних її переваг серед нейромереж інших відомих нейропарадигм слід віднести такі:

- фактична відсутність процедури навчання і налагодження, що суттєво зменшує час попередньої підготовки до використання мережі на різнотипних даних;
- необхідність налаштування лише одного параметра роботи нейромережі — коефіцієнту розмаху функції активації σ , можливий діапазон зміни якого для кожної задачі є достатньо широким;
- максимально можливу серед штучних нейронних мереж здатність до генералізації.

Топологію цього інструменту обчислювального інтелекту подано на рис. 1.

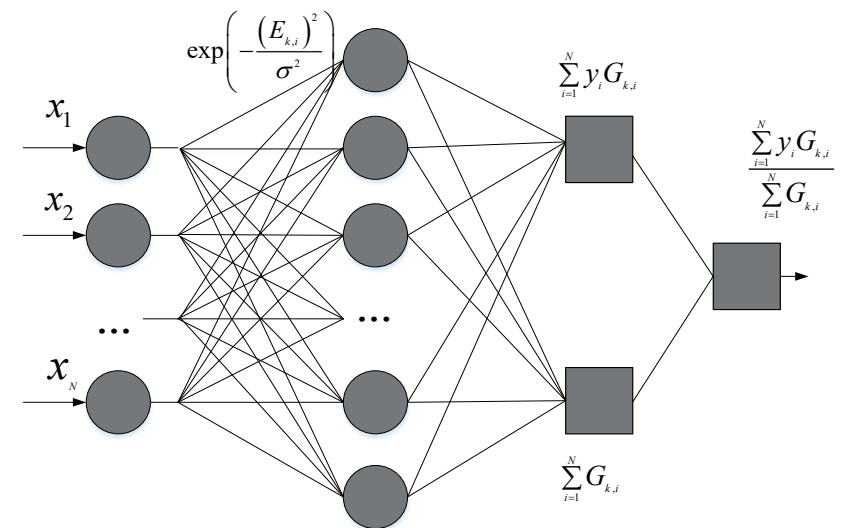


Рис. 1. Топологія нейронної мережі узагальненої регресії (GRNN)

До основних недоліків GRNN відносять значні похибки під час її роботи для розв'язання задач конкретного прикладного застосування.

У [5] авторами використано нейронну мережу узагальненої регресії [4] для розв'язання задачі заповнення пропусків у даних. Метод прогнозування на її основі показує вищу точність роботи в порівнянні з існуючими алгоритмами машинного навчання. Для ефективного опрацювання даних великих обсягів автори з [6] досліджували комбінації різних методів кластеризації та GRNN для розв'язання поставленої задачі. Експериментальним шляхом встановлено найвищу точність роботи саме нейронної мережі цього типу серед усіх розглянутих, за умови правильного підбору алгоритму кластеризації даних.

Дисертаційну роботу [7] присвячено розробці методів машинного навчання для ефективного розв'язання задачі заповнення пропусків у даних. Автором розроблено ряд ансамблів із використанням GRNN. Серед них слід виділити гомогенні та гетерогенні ансамблі мереж GRNN. Ідея першого з них полягає у тому, де кожна GRNN з ансамблю опрацьовує свій набір особливостей, отриманих із набору даних. Членами другого ансамблю є набір нейронних мереж різних типів, в тому числі і GRNN, які опрацьовують заданий набір даних. У [8] розроблено новий непараметричний алгоритм на основі ансамблю мереж GRNN. Ефективність його використання підтверджено шляхом порівняння із 25 існуючими методами на близько 100 різноманітних вибірках даних.

Загалом привабливість застосування нейронних мереж цього типу до розв'язання задачі заповнення пропусків у даних полягає у тому, що вони є універсальним засобом, не вимагають наявності великих навчальних вибірок та адаптації до особливостей даних, а також не передбачають ні налагодження, ні навчання [9; 10]. Проте перспективним виглядає саме ансамблевий підхід до апроксимації даних із використанням мереж GRNN.

Зокрема з метою підвищення точності розв'язання задач апроксимації даних у [11; 12] розроблено ансамбль з двох мереж GRNN, де перша нейронна мережа прогнозує значення y_k^{pred} для k -го вектора, а друга — похибку роботи Δ_k^{pred} першої мережі ансамблю. Слід зазначити, що k вектор — це вектор, для якого відомо лише вхідні атрибути. Остаточний вихід ансамблю формується таким чином:

$$y_k \approx y_k^{pred} + \Delta_k^{pred}. \quad (1)$$

В основу роботи таких бустингових ансамблів покладено існуючу можливість достатньо гладкої апроксимації методичної похибки ро-

боти нейронної мережі узагальненої регресії, що доведено аналітично [11; 12]. Це забезпечує можливість розроблення відповідних засобів для часткового усунення цієї похибки. Зокрема дві послідовно з'єднані нейронні мережі узагальненої регресії, що утворюють ансамбль, забезпечують більш точні результати в порівнянні із роботою однієї нейронної мережі цього типу. Узагальнену структурно-функціональну схему роботи першого бустингового ансамблю наведено на рис. 2.

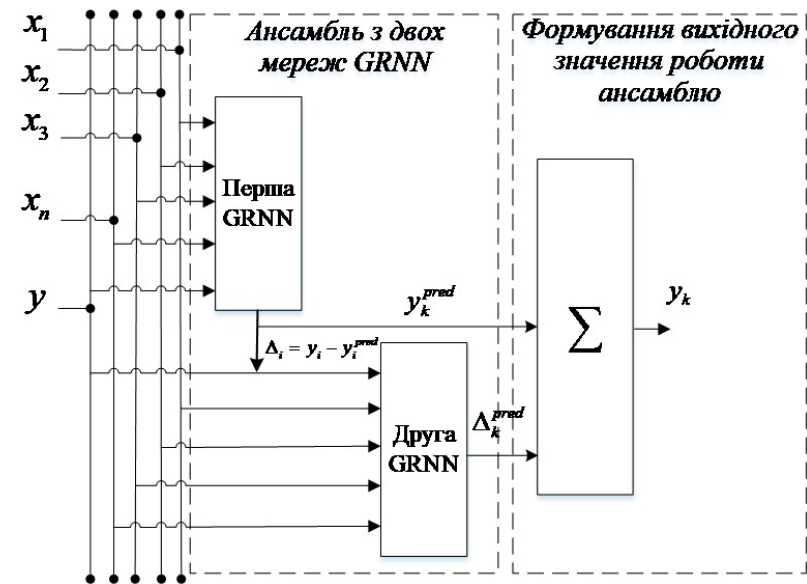


Рис. 2. Структурно-функціональна схема роботи базового бустингового ансамблю, побудованого із використанням двох послідовно з'єднаних мереж GRNN

У дослідженні [11] за рахунок оптимізації роботи цього ансамблю, вдалося отримати параметри обох його компонентів, які забезпечують підвищену точність його роботи.

У [13] удосконалено ансамблевий метод прогнозування на основі топології двох послідовно з'єднаних мереж GRNN за рахунок застосування нейроподібної структури Моделі послідовних геометричних перетворень (МППГ). В цьому випадку фінальний результат роботи ансамблю формується не звичайним сумуванням, а зваженим сумуванням зі зміщенням. Це відбувається шляхом застосування не-

йроподібних структур МПГП з не ітеративним навчанням. Вхідними параметрами роботи останньої в цьому випадку є виходи обох GRNN ансамблю з [11]. Як показали результати експериментальних досліджень, лінійна апроксимація поверхні відгуку шуканого вихідного параметру у відповідних координатах вихідних сигналів мереж GRNN ансамблю забезпечує позитивний ефект у порівнянні з тривіальним сумуванням відповідних сигналів. Процедуру формування результату роботи такого ансамблю можна записати так:

$$y_k = \beta_0 + \beta_1 y_k^{pred} + \beta_2 \Delta_k^{pred}, \quad (2)$$

де пошук коефіцієнтів $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ відбувається із використанням цієї неітеративної нейроподібної структури.

Узагальнену структурно-функціональну схему роботи другого ансамблю наведено на рис. 3.

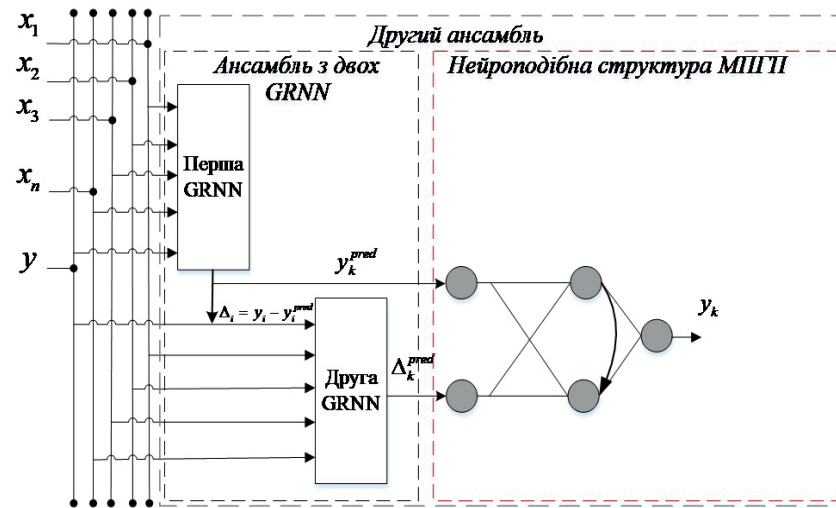


Рис. 3. Структурно-функціональна схема роботи ансамблю з двох послідовно з'єднаних мереж GRNN та нейроподібної структури МПГП

У [14] розроблено ефективнішу гібридну версію нейроподібної структури МПГП. Вона полягає у нелінійному розширенні та заміні початкових входів нейроподібної структури МПГП членами полінома Колмогорова — Габора. Якщо зробити запис полінома Колмогорова — Габора другого степеня для (1) то він виглядатиме так:

$$y_k(y_k^{pred}, \Delta_k^{pred}) = \beta_0 + \beta_1 y_k^{pred} + \beta_2 \Delta_k^{pred} + \beta_3 (y_k^{pred})^2 + \beta_5 (y_k^{pred} * \Delta_k^{pred}) + \beta_5 (\Delta_k^{pred})^2. \quad (3)$$

За рахунок високих апроксимаційних властивостей цього полінома гібридна версія нейроподібної структури МПГП демонструє значно вищі результати в точності роботи в порівнянні з базовим інструментом. Деталі її топології, високошвидкісного алгоритму навчання та ефективності застосування подано у [14].

Саме тому ідея третього бустингового ансамблю базується на її використанні [15]. Зокрема замість виразу (1) у базовому бустинговому ансамблі (рис. 2) та замість виразу (2) удосконаленого ансамблю (рис. 3) використовується вираз (3) для формування вихідного значення роботи ансамблю. Тобто формування остаточного результату роботи ансамблю в цьому випадку відбувалося шляхом побудови нелінійної поверхні відгуку у вигляді ступеневого полінома. Це забезпечує підвищення точності роботи ансамблю загалом при незначному рості часу його роботи (оскільки використовується другий ступінь цього полінома). Загальну структурно-функціональну схему роботи третього ансамблю наведено на рис. 4

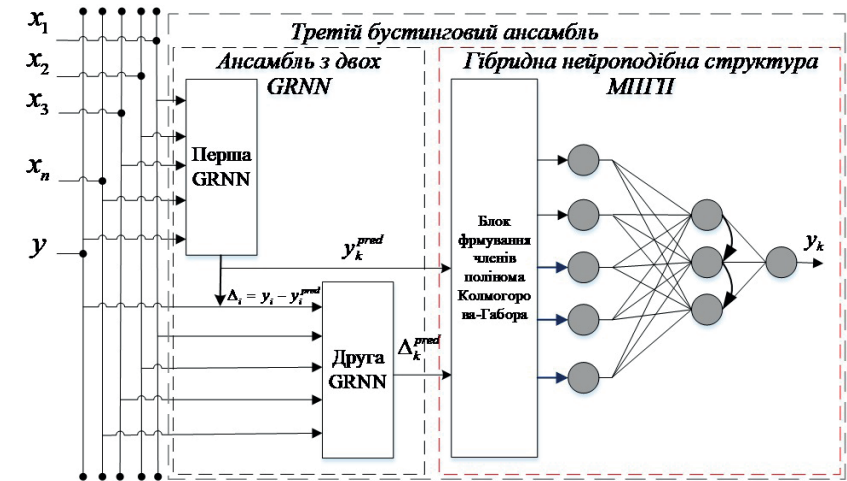


Рис. 4. Структурно-функціональна схема роботи третього ансамблю з двох послідовно з'єднаних мереж GRNN та нейроподібної структури МПГП з нелінійним розширенням входів

Для моделювання роботи усіх трьох ансамблевих методів прогнозування обрано набір даних моніторингу стану повітряного середовища. У цій роботі розв'язувалася задача заповнення пропущених значень у наборі даних моніторингу стану повітряного середовища італійського містечка [16]. Цей набір містить ряд атрибутів (табл. 1), значення яких зібрано сенсорами датчика пристрою інтернету речей [16]. Основні характеристики обраного набору даних подано у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика набору даних

Назва атрибуту	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення
Неметанові вуглеводні (SnO_2)	2040	647	1119,626
Бензол (C_6H_6)	63,7	0,2	10,54635
Титан (Ti)	2214	390	958,2302
Оксид вольфраму (WO)	2683	322	817,0748
Двоокис вольфраму (WO_2)	2775	551	1452,494
Оксид індію (InO)	2523	221	1057,363
Температура (T)	44,6	0,1	17,75942
Відносна вологість (RH)	88,7	9,2	48,90163
Абсолютна вологість (AH)	2,2345	0,1847	0,986315
Окис азоту (NO)	1479	2	250,465
Двоокис азоту (NO_2)	333	2	113,7894
Оксид вуглецю (CO)	11,9	0,1	2,19059

Атрибут *Оксид вуглецю (CO)* обрано як залежну змінну, оскільки саме він містить найбільше пропущених значень. Усі інші атрибути із табл. 1 обрано як факторні (незалежні). Після процедур попереднього опрацювання [5] обраний набір даних було випадковим чином розподілено на дві вибірки — навчальну та тестову. Перша вибірка містила 5560 векторів, друга — 1390.

Моделювання відбувалося на ПК з такими характеристиками: Intel Core i5, 2.40 GHz processor, 8 GB RAMM.

Ефективність роботи досліджуваних методів оцінювалася на основі трьох показників: MAPE, RMSE і часу роботи (застосування). Тривалість процедури навчання до уваги не бралася з огляду на те, що перший ансамблевий метод не вимагає процедури навчання.

Підбір оптимальних параметрів. Топологія обох GRNN ансамблю для розв'язання поставленої задачі передбачає використання 11 нейронів у вхідному шарі та 1 у вихідному. В результаті роботи обох

мереж GRNN отримуємо два значення — спрогнозоване значення та спрогнозовану похибку, які надходять на вхід наступної компоненти ансамблю. Кожен із досліджуваних ансамблів використовує свою процедуру формування вихідного сигналу. У випадку використання першого ансамблю відбувається звичайне сумування. У випадку другого — сумування зі зміщенням за рахунок використання нейроподібної структури МППП.

Її топологія — два нейрони у вхідному та прихованому шарах. Для реалізації процедури зваженого сумування зі зміщенням у випадку використання третього ансамблю відбувається заміна початкових входів задачі на розширені [14]. У випадку нелінійного розширення входів на основі використання полінома Колмогорова — Габора другого степеня кількість нових входів m можна визначити згідно з формулою [17]:

$$m = n + \frac{n(n+1)}{2}, \quad (4)$$

де n описує число початкових входів задачі ($n = 11$).

Таким чином, вихідна компонента третього ансамблю містить 5 нейронів у вхідному шарі, 3 у прихованому (обґрунтовано у [17] та [14]) та 1 у вихідному.

Як відомо, ефективна робота GRNN окрім іншого [5] визначається підбором правильного значення параметру розмаху гаусівської функції σ . Очевидно, що точність роботи ансамблю, в основі якого покладено дві мережі GRNN буде визначатися двома такими параметрами: σ_1 для першої GRNN та σ_2 для другої [13]. Саме тому метою експерименту було визначення оптимальних значень σ_1 та σ_2 , при яких досліджувані ансамблі забезпечуватимуть найвищу точність роботи на основі обох показників (MAPE і RMSE).

Проаналізуємо дані експериментів з підбору оптимальних параметрів роботи досліджуваних ансамблів нейронних мереж із різними підходами до формування остаточного результату їх роботи шляхом порівняння поверхонь їх похибок роботи на основі MAPE (рис. 3).

Слід зазначити, що поверхні отримано шляхом повного перебору параметрів роботи обох GRNN (σ_1 та σ_2) на проміжках [0.01, 1.49] з кроком 0.01 [11; 13] для кожного із ансамблів. У [18] виявлено, що з ростом значення σ похибка роботи GRNN під час розв'язання поставленої задачі монотонно зростала. Саме тому вищі значення $\sigma > 0.5$ не слід брати до уваги.

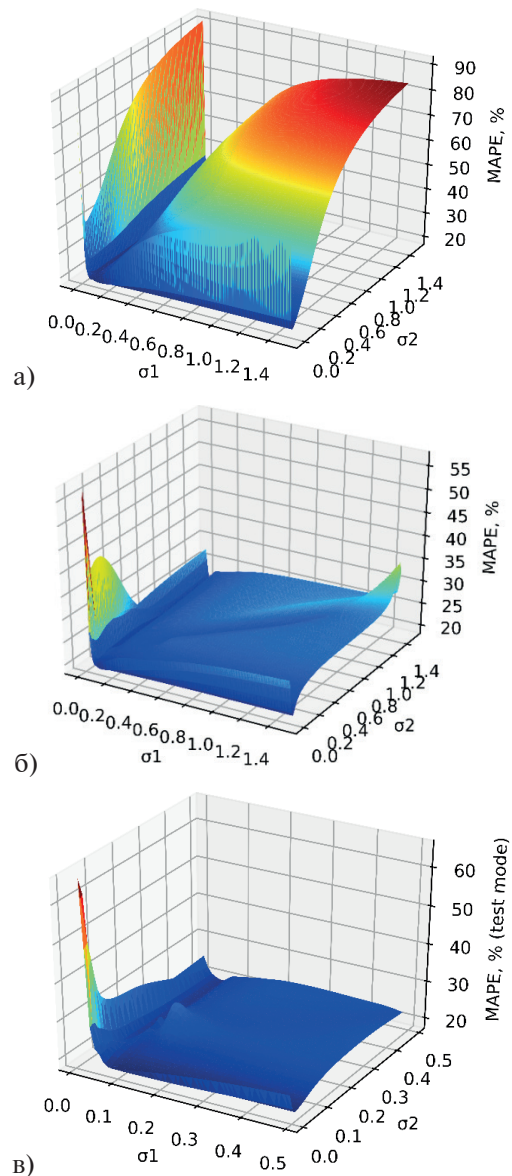


Рис. 4. Поверхні похибок MAPE, % при зміні параметрів σ_1 та σ_2 обох мереж GRNN для: а) першого ансамблю; б) другого ансамблю; в) третього ансамблю

З рисунка 4 а видно, що значення MAPE, % суттєво зростало при рості параметрів σ_1 та σ_2 обох мереж ансамблю з [11]. Під час застосування зваженого сумування зі зміщенням з [13] (рис. 4 б) уся поверхня похибки суттєво згладжувалася. Найкращі результати отримано під час використання третього ансамблю (рис. 4 в). Функціональне розширення входів за допомогою членів полінома Колмогорова — Габора реалізує нелінійну апроксимацію поверхні відгуку вихідного параметра, що підвищило точність апроксимації, а незначне збільшення підсумкової кількості входів (з двох до п'яти) третьої компоненти ансамблю практично не погіршило властивість генералізації.

Загалом коректуюча нейроподібна структура неітеративного типу нівелювала суттєвий ріст похибки при рості σ_1 та σ_2 (рис. 4 б, в). Незважаючи на це, локальні мінімуми залишилися в усіх досліджуваних ансамблів. Шляхом пошуку оптимальних параметрів повним перебором на зазначених проміжках для трьох методів встановлено мінімальні значення похибок MAPE, % та RMSE. Ці результати, а також часові затримки роботи досліджуваних ансамблів зведено у табл. 2.

З табл. 2 видно, що результати точності роботи досліджуваних ансамблевих методів варіюють дуже мало. Зокрема значення MAPE, % між найбільш та найменш точним методами становить близько 0,8 %. Проте найбільш точним виявився метод на основі третього ансамблю.

Оскільки різниця в похибках MAPE результатів роботи досліджуваних ансамблів не є великою, до уваги також бралася похибка RMSE. Перший ансамбль лише з двох мереж GRNN [11] демонструє найменш точні результати серед розглянутих методів на основі обох похибок. Ансамбль із використанням третьої компоненти — лінійної коректуючої нейроподібної структури МПГП [13] показує хороші результати на основі RMSE, проте кардинально інші на основі MAPE. Лише метод прогнозування на основі третього ансамблю забезпечує найменшу похибку на основі обох показників серед усіх розглянутих методів.

Щодо тривалості застосування досліджуваних методів, то, як видно з табл. 2, найменший час роботи демонструє метод на основі першого ансамблю. Метод з [13] показує дещо більші часові затримки в порівнянні із базовим. Зокрема за рахунок заміщення процедури сумування на процедуру зваженого сумування зі зміщенням на основі нейроподібної структури МПГП. Найбільший час застосування демонструє третій ансамблевий метод. Це пояснюється необхідністю нелінійного розширення входів (виходів обох GRNN) поліномом Колмогорова—Габора, яке покладено в основу роботи методу.

Таблиця 2

Експериментальні результати роботи досліджуваних бустингових ансамблів на основі GRNN

№	Назва ансамблевого методу	Оптимальні параметри роботи методу	MAPE (в режимі навчання)	MAPE (в режимі застосування)	RMSE (в режимі навчання)	RMSE (в режимі застосування)	Час роботи, секунд
1	Бустинговий ансамбль на основі двох мереж GRNN (рис. 2)	$\sigma_1 = 0.12, \sigma_2 = 0.02$	–	18,104	–	0,492	23.61
2	Бустинговий ансамбль на основі двох мереж GRNN та нейроподібної структури МППП (рис. 3)	$\sigma_1 = 0.23, \sigma_2 = 0.05$ два нейрони у входному та прихованому шарах нейроподібної структури МППП	20,267	18,828	0,494	0,459	33.29
3	Бустинговий ансамбль на основі двох мереж GRNN та нейроподібної структури МППП з нелінійним розширенням входів (рис. 4)	$\sigma_1 = 0.10, \sigma_2 = 0.02$ другий ступінь полінома Колмогорова — Га-бора; п'ять нейронів у входному та прихованому шарах нейроподібної структури МППП	20,03	18,051	0,502	0,4495	42.15

Символ «-» у таблиці 2 означає відсутність процедури навчання.

Необхідність виконання цієї процедури, а також опрацювання п'яти замість двох входів нейроподібною структурою і робить таку затримку в часі роботи методу. Незважаючи на це, третій ансамблевий метод із удосконаленою процедурою зваженого сумування зі зміщенням забезпечує найменші похибки (на основі як MAPE, так і RMSE) в режимах як навчання, так і застосування.

Висновки. У роботі розглянуто застосування бустингового підходу до підвищення точності розв'язання задач апроксимації на основі мереж GRNN. Проведено ряд експериментальних досліджень та порівняння трьох ансамблів цього типу. В основу їх покладено можливість часткового усунення похибки роботи мережі GRNN. Основною відмінністю трьох ансамблів є процедури формування вихідного результату. Оцінка ефективності роботи трьох ансамблевих методів відбувалася на основі розв'язання задачі заповнення пропусків у реальному наборі даних моніторингу стану повітряного середовища. Цей набір було зібрано пристроєм IoT. Шляхом порівняння встановлено, що найвищі показники точності (на основі MAPE and RMSE) роботи демонструє третій ансамблевий метод. Експериментальним шляхом встановлено часові ресурси, необхідні для реалізації досліджуваних методів. Серед недоліків методів цього класу слід зазначити суттєві часові затримки, необхідні для їх роботи. Для їх усунення необхідно застосування ряд оптимізаційних методів підбору оптимальних параметрів роботи штучних нейронних мереж цього типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kotsiantis S. B., Kanellopoulos D., Pintelas P. E. Data Preprocessing for Supervised Learning. *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*. 2007. Vol. 1, no. 1. P. 111–117.
2. Kang H. The prevention and handling of the missing data. *Korean J Anesthesiol*. 2013. Vol. 64, no. 5. P. 402–406. DOI: 10.4097/kjae.2013.64.5.402.
3. Salgado C. M., Azevedo C., Proenza H., Vieira S. M. Missing Data. *Secondary Analysis of Electronic Health Records / MIT Critical Data*. Ed. Cham: Springer International Publishing, 2016. P. 143–162.
4. Specht D. F. A general regression neural network / IEEE Press, Nov. 01, 1991. Accessed: Apr. 10, 2020. Available: <https://doi.org/10.1109/72.97934>
5. Izonin I., Kryvinska N., Vitynskyi P., Tkachenko R., Zub K. GRNN Approach Towards Missing Data Recovery Between IoT Systems. *Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems*/ Cham, 2020. P. 445–453. DOI: 10.1007/978-3-030-29035-1_43.

6. Nishanth K. J., Ravi V. A Computational Intelligence Based Online Data Imputation Method: An Application For Banking. *Journal of Information Processing Systems*. 2013. Vol. 9, no. 4. P. 633–650.
7. Gheyas I. A. Novel Computationally Intelligent Machine Learning Algorithms for Data Mining and Knowledge Discovery. Nov. 2009, Accessed: Jul. 18, 2020. Available: <http://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/2152>
8. Gheyas I. A., Smith L. S. A neural network-based framework for the reconstruction of incomplete data sets. *Neurocomputing*. 2010. Vol. 73, no. 16–18. P. 3039–3065. DOI: 10.1016/j.neucom.2010.06.021.
9. Qiao L., Liu Y., Zhu J. Application of generalized regression neural network optimized by fruit fly optimization algorithm for fracture toughness in a pearlitic steel. *Engineering Fracture Mechanics*. 2020. Vol. 235. P. 107105. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2020.107105.
10. Varanasi J., Tripathi M. M. A hybrid model of generalized regression neural network and radial basis function neural network for wind power forecasting in Indian wind farms. *Journal of Statistics and Management Systems*. 2020. Vol. 23, no. 1. P. 49–63. DOI: 10.1080/09720510.2020.1721598.
11. Tkachenko R., Izonin I., Dronyuk I., Logoyda M., Tkachenko P. Recover Missing Sensor Data with GRNN-based Cascade Scheme. *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control*. 2020. P. 1–10 (in press).
12. Вітінський П. В., Ткаченко Р. О., Ізонін І. В. Ансамбль мереж GRNN для розв’язання задач регресії з підвищеною точністю. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 8. DOI: 10.36930/40290822.
13. Tkachenko R., Izonin I., Kryvinska N., Dronyuk I., Zub K. An Approach towards Increasing Prediction Accuracy for the Recovery of Missing IoT Data Based on the GRNN-SGTM Ensemble. *Sensors*. 2020. Vol. 20, no. 9. DOI: 10.3390/s20092625.
14. Izonin I., Tkachenko R., Kryvinska N., Zub K., Mishchuk O., Lisovych T. Recovery of Incomplete IoT Sensed Data using High-Performance Extended-Input Neural-Like Structure. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 160. P. 521–526. DOI: 10.1016/j.procs.2019.11.054.
15. Izonin I., Tkachenko R., Verhun V., Zub K. An approach towards missing data management using improved GRNN-SGTM ensemble method. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2020. P. S2215098620342348. DOI: 10.1016/j.jestch.2020.10.005.
16. De Vito S., Massera E., Piga M., Martinotto L., Di Francia G. On field calibration of an electronic nose for benzene estimation in an urban pollution monitoring scenario. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2008. Vol. 129, no. 2. P. 750–757. DOI: 10.1016/j.snb.2007.09.060.
17. Tkachenko R., Izonin I., Vitynskyi P., Lotoshynska N., Pavlyuk O. Development of the Non-Iterative Supervised Learning Predictor Based on the Ito Decomposition and SGTM Neural-Like Structure for Managing Medical Insurance Costs. *Data*. 2018. Vol. 3, no. 4. P. 46. DOI: 10.3390/data3040046.
18. Izonin I., Kryvinska N., Tkachenko R., Zub K., Vitynskyi P. An Extended-Input GRNN and its Application. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 160. P. 578–583. DOI: 10.1016/j.procs.2019.11.044.

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ АНТИАЛІАЙЗИНГУ ВЕКТОРІВ

**Романюк О. Н., Курінний М. С., Романюк С. О.,
Коробейнікова Т. І., Романюк О. В**

Розроблено метод антиаліайзунгу векторних границь багатокутників з використанням модифікованої оцінювальної функції. Суть методу полягає у використанні спеціальної оцінювальної функції, знак якої визначає координати точок траєкторії, а значення — інтенсивність кольору точок. Запропоновано нову оцінювальну функцію, використання якої дозволяє виключити довгі операції з циклу інтерполювання. На основі встановленого взаємозв’язку оцінювальної функції з площею покриття пікселя ребром багатокутника запропоновано новий метод антиаліайзунгу векторів, у якому інтенсивність кольору точок визначається шляхом порівняння поточкових значень оцінювальної функції з різними рівнями її максимального значення.

A method for antialiasing vector boundaries of polygons using a modified estimation function has been developed. The essence of the method is to use a special estimating function, the sign of which determines the coordinates of the points of the trajectory, and the value — the color intensity of the points. A new estimation function is proposed, the use of which allows to exclude long operations from the interpolation cycle. Based on the established relationship of the estimation function with the pixel coverage area of the polygon edge, a new method of vector antialiasing is proposed, in which the color intensity of points is determined by comparing the flow values of the estimation function with different levels of its maximum value.

При формуванні растрових зображень виникають спотворення, які обумовлені недостатньою роздільною здатністю растра. На зображеннях з’являються артефакти, одним із проявів яких є яскраво виражені сходинки або зубці на краях об’єктів. Цей ефект отримав назву ступінчастого ефекту чи ефекту аліайзунгу [1–4]. Сучасний рівень технологій поки що не в змозі забезпечити таку високу роздільну здатність, тому для забезпечення реалістичності синтезованих зобра-

жень у системах комп'ютерної графіки використовують спеціальні методи та засоби усунення ступінчастого ефекту.

Ефект аліайзingu суттєво впливає на якість та реалістичність сформованого зображення, тому для забезпечення реалістичності синтезованих зображень у системах комп'ютерної графіки використовують спеціальні методи та засоби усунення ступінчастого ефекту.

При формуванні векторів у дискретному координатному просторі найбільше поширення отримав метод оцінювальної функції [5–7].

Розглянемо використання оцінювальної функції для антиаліайзingu векторних границь багатокутників. Оцінювальну функцію будемо розраховувати за формулами [5]:

$$OF_{i+1} = \begin{cases} OF_i - МП, & \text{якщо } OF_i \geq 0, \\ OF_i + \Delta, & \text{якщо } OF_i < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $OF_0 = \lfloor БП / 2 \rfloor$, $\Delta = БП - МП$.

Якщо оцінювальна функція, отримана на деякому кроці, має додатний знак, то значення оцінювальної функції збігається зі значенням оцінювальної функції в точці, що була обрана на даному кроці. У випадку, коли знак оцінювальної функції є від'ємним, її значення збігається зі значенням оцінювальної функції у точці, що розташована на одну дискрету нижче точки, що була обрана на даному кроці [12]. Таким чином, якщо на i -му кроці інтерполювання отримано додатне значення оцінювальної функції, то це значення збігається зі значенням оцінювальної функції в точці, що була обрана на цьому кроці. Оцінювальна функція в «дійсній» точці для цього випадку буде дорівнювати: $OF_{i \text{ дійсн.}} = OF_i^+$.

Якщо на i -му кроці інтерполювання оцінювальна функція має від'ємне значення, то значення оцінювальної функції для прогнозуєної точки буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} OF_i^- &= (y_i - 1) \cdot БП - x_i \cdot МП + БП / 2 = \\ &= y_i \cdot БП - x_i \cdot МП - БП / 2 = OF_i - БП. \end{aligned}$$

З останнього виразу випливає, що значення оцінювальної функції в дійсній точці знаходиться за формулою: $OF_{i \text{ дійсн.}} = OF_i^- + БП$.

Із врахуванням наведених виразів отримуємо вираз для обчислення площі покриття пікселя ребром багатокутника:

$$S_{\text{набл}} = \begin{cases} 1 - \frac{OF_i}{БП}, & \text{якщо } OF_i \geq 0, \\ \frac{-OF_i}{БП}, & \text{якщо } OF_i < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Нижче показано, що розрахунки згідно з останнім виразом забезпечують точне визначення площі покриття тільки для випадку, коли пряма перетинає в ортогональному напрямку один піксель.

Визначимо умови, за яких пряма перетинає в ортогональному напрямку два пікселі. На рис. 1 показано випадок, коли пряма перетинає поточковий піксель та піксель, який розташовано на одну дискрету вище.

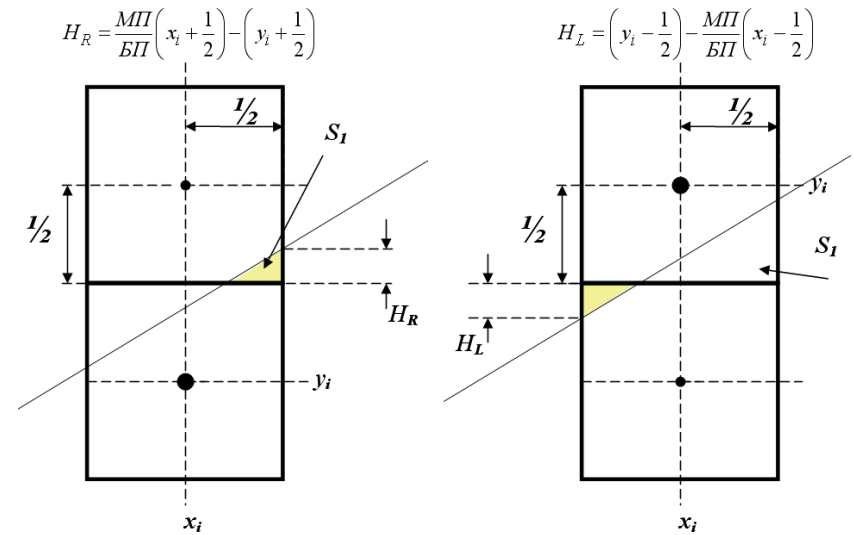


Рис. 1. Випадки перетину відрізком прямої двох пікселів в ортогональному напрямку

Знайдемо відстань від верхньої границі пікселя до точки, в якій пряма перетинає праву границю пікселя:

$$H_R = \frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right). \quad (3)$$

Очевидно, що тільки при $H_R > 0$ пряма крім поточкового пікселя перетинає також піксель, який розташовано на одну дискрету вище.

На рис. 1 показано випадок, коли пряма крім потокового пікселя перетинає піксел, який розташовано на одну дискрету нижче. Відстань від нижньої границі пікселя до точки, в якій пряма перетинає ліву границю пікселя, визначається за виразом:

$$H_L = \left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right). \quad (4)$$

Пряма перетинає потоковий піксел і піксел, який розташовано на одну дискрету нижче, лише при умові, що $H_L > 0$.

Оскільки розглядаються лише відрізки прямих, що належать першому октанту, то при $H_L > 0$ значення H_R завжди менше нуля і навіпаки.

Для випадку, коли $H_R > 0$, площу покриття верхнього пікселя можна визначити за виразом [3]

$$S(x_i, y_i + 1) \approx S_{1_{анп}}^H = \frac{1}{4} \left(\frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{МП}{64БП}.$$

Перепишемо останній вираз з врахуванням виразу (3):

$$S(x_i, y_i + 1) = \frac{H_R}{4} - \frac{МП}{64БП}.$$

Із останньої формули випливає, що значення H_R може бути використано не тільки для відслідковування випадків перетину в ортогональному напрямку двох пікселів відрізком прямої, а й для розрахунку площі покриття пікселя.

Площа покриття потокового пікселя визначається за формулою:

$$S(x_i, y_i) = S_{набл} - S(x_i, y_i + 1).$$

Для випадку, коли $H_L > 0$, площа покриття верхнього пікселя визначається за формулою

$$S(x_i, y_i) \approx S_{1_{анп}}^B = \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \left(\left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{МП}{64БП}.$$

Підставивши в останню формулу вираз (4), отримуємо:

$$S(x_i, y_i) \approx \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} + \frac{H_L}{4} - \frac{МП}{64БП}.$$

Перепишемо останній вираз із врахуванням (2.6):

$$S(x_i, y_i) \approx S_{набл} - 1 + \frac{H_L}{4} - \frac{МП}{64БП}.$$

Площу покриття нижнього пікселя можна знайти за виразом:

$$S(x_i, y_i - 1) = S_{набл} - S(x_i, y_i) = 1 - \frac{H_L}{4} + \frac{МП}{64БП}.$$

Встановимо взаємозв'язок виразів H_L та H_R з оцінювальною функцією $OF = БП \cdot y_i - МП \cdot x_i + БП/2$. Запишемо формулу (3) у вигляді:

$$H_R = \frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right) = \frac{МП}{БП} x_i - y_i - \frac{1}{2} + \frac{МП}{2БП} = \frac{МП}{2БП} - \frac{OF}{БП}.$$

Перепишемо формулу (4) з врахуванням виразу $OF = БП \cdot y_i - МП \cdot x_i + БП/2$:

$$\begin{aligned} H_L &= \left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right) = \\ &= y_i - \frac{МП}{БП} x_i + \frac{1}{2} + \frac{МП}{2БП} - 1 = \frac{OF}{БП} + \frac{МП}{2БП} - 1. \end{aligned}$$

Розглянемо модифіковану оцінювальну функцію:

$$OF_{мод.} = y_i - \frac{МП}{БП} x_i + \frac{1}{2}. \quad (5)$$

Знак даної функції збігається зі знаком оцінювальної функції $OF = БП \cdot y_i - МП \cdot x_i + БП/2$, отже вона може бути використана для визначення координат точок траєкторії.

З урахуванням наведених вище виразів можна запропонувати алгоритм розрахунку площі покриття пікселя ребром багатокутника, який використовує модифіковану оцінювальну функцію (5). Граф-схема такого алгоритму наведена на рис. 2. Алгоритм не містить довгих операцій в циклі інтерполювання.

Для визначення інтенсивності кольору використаємо такий вираз [8; 9]:

$$I_p = I_M \cdot S + I_\phi (1 - S). \quad (6)$$

Запишемо вираз (6) у вигляді:

$$I_p = I_M \cdot S + I_\phi (1 - S) = I_\phi + S(I_M - I_\phi).$$

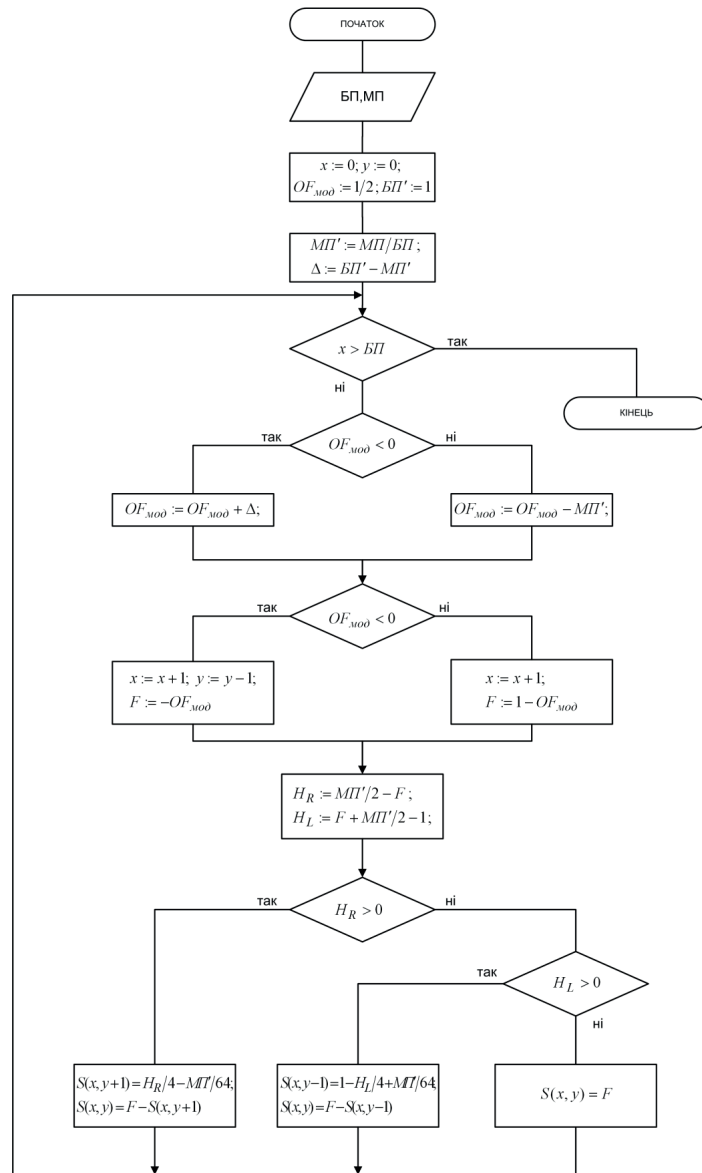


Рис. 2. Граф-схема алгоритму розрахунку площі покриття пікселя ребром багатокутника, з використанням модифікованої оцінювальної функції

У результаті такого перетворення кількість операцій множення скоротилося до однієї.

Введемо позначення $I_\phi = |I_D - I_M|$. Для випадку, коли $I_D = const$, пропонується використати таку модифіковану оцінювальну функцію:

$$OF_{\text{мод.2}} = OF_{\text{мод}} \cdot I_D = I_D y_i - I_D \frac{МП}{БП} x_i + \frac{I_D}{2}. \quad (7)$$

Знак даної функції збігається зі знаком оцінювальної функції $OF = БП \cdot y_i - МП \cdot x_i + БП/2$, отже її можна використати для визначення координат точок траєкторії. Інтенсивність кольору точок визначається через значення оцінювальної функції за формулою:

$$I_p = \begin{cases} I_\phi + (I_D - OF_{\text{мод.2}}), \text{ якщо } OF_{\text{мод.2}} \geq 0 \text{ та } I_M \geq I_\phi, \\ I_\phi - (I_D - OF_{\text{мод.2}}), \text{ якщо } OF_{\text{мод.2}} \geq 0 \text{ та } I_M < I_\phi, \\ I_\phi + (-OF_{\text{мод.2}}), \text{ якщо } OF_{\text{мод.2}} < 0, \text{ та } I_M \geq I_\phi, \\ I_\phi - (-OF_{\text{мод.2}}), \text{ якщо } OF_{\text{мод.2}} < 0 \text{ та } I_M < I_\phi. \end{cases}$$

З урахуванням наведених виразів може бути запропонований алгоритм згладжування ребра багатокутника, який використовує оцінювальну функцію (7).

Граф-схема алгоритму представлена на рис. 3.

Алгоритм не містить довгих операцій в циклі інтерполювання.

Розглянутий алгоритм потребує представлення операндів у форматі чисел із плаваючою комою, що ускладнює його апаратну реалізацію та призводить до зниження швидкодії. Обчислення можна виконувати з використанням цілочисельної арифметики, якщо оцінювальну функцію представити у вигляді:

$$OF_{\text{мод.ц}} = БП_{\text{мод.ц}} y_i - МП_{\text{мод.ц}} x_i + \frac{БП_{\text{мод.ц}}}{2},$$

$$\text{де } МП_{\text{мод.ц}} = \left\lfloor I_D \frac{МП}{БП} 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor, \quad БП_{\text{мод.ц}} = \left\lfloor I_D 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor.$$

В цьому випадку $OF_{\text{мод.2}} \approx 2^{-q} OF_{\text{мод.ц}}$. Знайдемо абсолютну похибку визначення площі покриття, яка виникає в результаті використання цілочисельної оцінювальної функції, за формулою:

$$\delta_A = OF_{\text{мод.2}} - 2^{-q} OF_{\text{мод.ц}} = \delta_{МП} \cdot x_i,$$

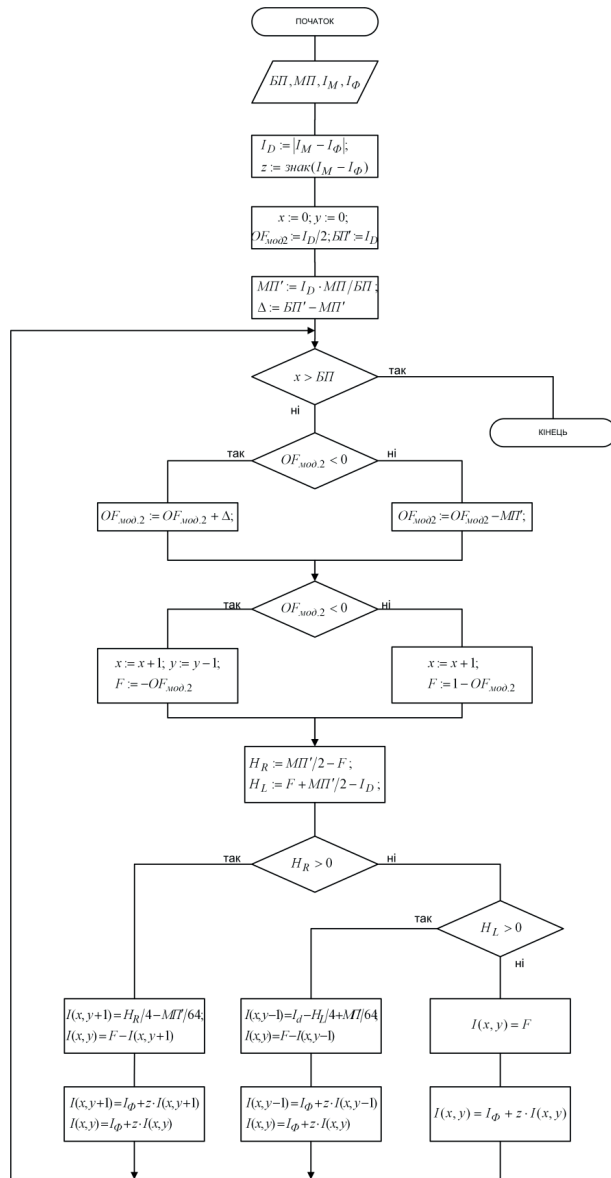


Рис. 3. Граф-схема алгоритму згладжування ребра багатокутника, з використанням модифікованої оцінювальної функції

де $\delta_{МП} = МП_{\text{мод.2}} - 2^{-q} МП_{\text{мод.ц}} ; МП_{\text{мод.2}} = I_D \frac{МП}{БП}$.

Отже абсолютна похибка обчислення площі покриття залежить від величини більшого координатного приросту та похибки представлення параметра $МП_{\text{мод.2}}$, що має місце за рахунок округлення. Різниця між точним значенням параметра $МП_{\text{мод.2}}$ та цілочисельним значенням дорівнює:

$$\delta_{МП} = МП_{\text{мод.2}} - 2^{-q} МП_{\text{мод.ц}} = I_D \frac{МП}{БП} - \left\lfloor I_D \frac{МП}{БП} 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor 2^{-q} = 2^{-q} \left(I_D \frac{МП 2^q}{БП} - \left\lfloor I_D \frac{МП}{БП} 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor \right).$$

З останньої формули випливає, що $\delta_{МП\text{max}} = 2^{-q-1}$. Якщо інтенсивність кольору пікселя необхідно обчислити з точністю до 2^{-p} , то значення параметра q знаходиться з рівняння:

$$2^{-q-1} 2^{\log_2(БП_{\text{max}})} = 2^{-p-1}.$$

Розв'язавши рівняння, отримуємо формулу для визначення граничного значення параметра q :

$$q = p + \log_2(БП_{\text{max}}).$$

Для випадку, коли інтенсивність кольору обчислюється з точністю до цілих, а максимальне значення більшого координатного приросту не перевищує 2048, значення параметра q повинно бути не меншим за 12.

Розглянемо використання модифікованої оцінювальної функції для згладжування ребер багатокутників, що зафарбовуються за методом Гуро [1; 8].

Якщо I_i — інтенсивність кольору i -го граничного пікселя, яка розраховується за алгоритмом рендерингу Гуро [1, 8], то для усунення ефекту аліазингу його інтенсивність встановлюється пропорційно до площі, яку відтинає від пікселя відрізок прямої, тобто $I_{Pi} = I_i S_i$.

З урахуванням виразу (2) отримуємо:

$$I_{Pi} = \begin{cases} I_i - \frac{OF_i}{БП} I_i, & \text{якщо } OF_i \geq 0; \\ \left\lfloor \frac{OF_i}{БП} I_i \right\rfloor, & \text{якщо } OF_i < 0. \end{cases}$$

Пропонується використати оцінювальну функцію $I_{C_i} = \frac{OF_i}{БП} I_i$, знак якої збігається із знаком оцінювальної функції (1). Останній вираз для розрахунку інтенсивності кольору пікселя може бути записаний у вигляді:

$$I_{P_i} = \begin{cases} I_i - I_{C_i}, & \text{якщо } I_{C_i} \geq 0; \\ |I_{C_i}|, & \text{якщо } I_{C_i} < 0. \end{cases}$$

Розглянемо вирази для інкрементального розрахунку оцінювальної функції I_C . Значення інтенсивності кольору наступного пікселя можна встановити через приріст ΔI інтенсивності кольору вздовж ребра багатокутника та інтенсивність кольору попереднього пікселя: $I_{i+1} = I_i + \Delta I$.

Якщо згідно з алгоритмом лінійного інтерполювання з точки i в точку $i+1$ виконується горизонтальне крокове переміщення, то з врахуванням виразу (1) знаходимо:

$$\begin{aligned} I_{C_{i+1}} &= \frac{OF_{i+1}}{БП} I_{i+1} = \frac{OF_i + \Delta}{БП} (I_i + \Delta I) = \frac{OF_i}{БП} I_i + \frac{OF_i}{БП} \Delta I + \frac{\Delta}{БП} I_i + \frac{\Delta}{БП} \Delta I = \\ &= \frac{OF_i}{БП} I_i + \frac{OF_i}{БП} \Delta I + \frac{БП - МП}{БП} I_i + \frac{БП - МП}{БП} \Delta I = \\ &= \frac{OF_i}{БП} I_i + \frac{OF_i}{БП} \Delta I - \frac{МП}{БП} I_i - \frac{МП}{БП} \Delta I + I_i + \Delta I. \end{aligned}$$

Зробимо позначення: $K_{\Delta} = \frac{МП}{БП} \Delta I$, $K_{\Delta} = \text{const}$; $K_{I_i} = \frac{МП}{БП} I_i$; $K_{OF_i} = \frac{OF_i}{БП} \Delta I$. Перепишемо останній вираз із врахуванням позначень:

$$I_{C_{i+1}} = I_{C_i} + K_{OF_i} - K_{I_i} - K_{\Delta} + I_i + \Delta I.$$

Розглянемо, як змінюється I_C при виконанні діагонального кроку:

$$\begin{aligned} I_{C_{i+1}} &= \frac{OF_{i+1}}{БП} I_{i+1} = \frac{OF_i - МП}{БП} (I_i + \Delta I) = \\ &= \frac{OF_i}{БП} I_i + \frac{OF_i}{БП} \Delta I - \frac{МП}{БП} I_i - \frac{МП}{БП} \Delta I = \\ &= I_{C_i} + K_{OF_i} - K_{I_i} - K_{\Delta}. \end{aligned}$$

Значення K_I може бути розраховане через своє попереднє значення за формулою:

$$K_{I_{i+1}} = \frac{МП}{БП} (I_i + \Delta I) = \frac{МП}{БП} I_i + \frac{МП}{БП} \Delta I = K_{I_i} + K_{\Delta}.$$

Розглянемо, як змінюється значення K_{OF} при виконанні горизонтального кроку:

$$K_{OF_{i+1}} = \frac{OF_i + \Delta}{БП} \Delta I = \frac{OF_i}{БП} \Delta I + \Delta I - \frac{МП}{БП} \Delta I = K_{OF_i} + \Delta I - K_{\Delta}.$$

При виконанні діагонального кроку значення K_{OF} знаходиться за виразом:

$$K_{OF_{i+1}} = \frac{OF_i - МП}{БП} \Delta I = \frac{OF_i}{БП} \Delta I - \frac{МП}{БП} \Delta I = K_{OF_i} - K_{\Delta}.$$

З урахуванням наведених виразів можна запропонувати алгоритм згладжування ребер багатокутників, що зафарбовуються згідно з методом Гуро, граф-схему якого зображено на рис. 4. Згідно з алгоритмом в циклі підготування визначаються параметри K_{Δ} , K_I , K_{OF} , а також початкове значення оцінювальної функції I_C . В циклі інтерполювання інкрементально визначаються інтенсивності кольору точок I_P з використанням мікрооперацій типу «додавання», що обумовлює високу швидкодію алгоритму.

Основним недоліком розглянутих підходів є необхідність виконання операції ділення та множення в циклі підготовки. З метою підвищення продуктивності процедури антиаліазингу необхідно виключити з обчислювального процесу «довгі» мікрооперації. Розглянемо новий підхід до обчислювання інтенсивностей кольору точок, який не потребує виконання «довгих» операцій.

Нехай:

$$D = \begin{cases} БП - OF_i, & \text{якщо } OF_i \geq 0, \\ -OF_i, & \text{якщо } OF_i < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Перепишемо формулу (3) для обчислення площі покриття пікселя з врахуванням останнього виразу: $S_{набл} = \frac{D}{БП}$.

Можна сформулювати таке правило: якщо $D = l \cdot БП$, то площа покриття пікселя дорівнює l ($0 \leq l \leq 1$). Наприклад: якщо $D = БП/2$, то $S = 1/2$. Таким чином, площу покриття пікселя можна визначати шляхом порівняння значення D із різними рівнями квантування значення більшого координатного приросту. При цьому згладжування ребер багатокутника відбувається за таким алгоритмом:

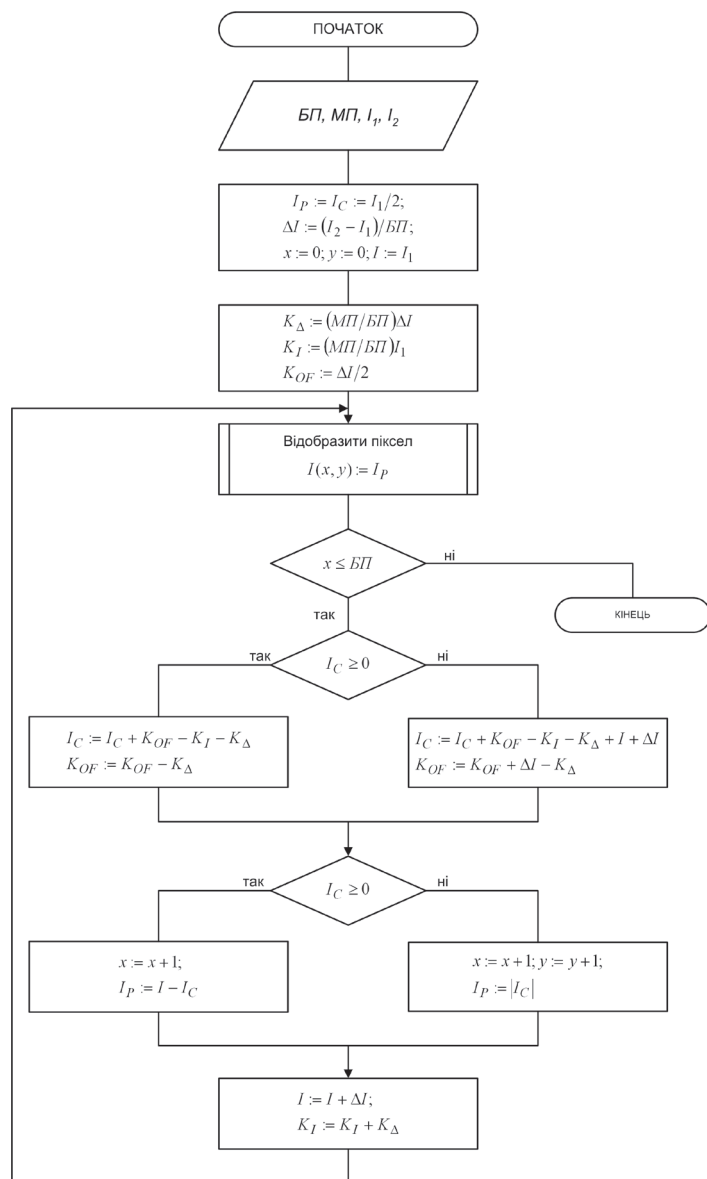


Рис. 4. Граф-схема алгоритму згладжування ребер багатокутників, що зафарбовуються згідно з методом Гуро

1. Здійснюється лінійна інтерполяція з параметрами *БП* та *МП* за методом оцінювальної функції з початковим значенням *БП/2*;

2. На кожному кроці інтерполяції за формулою (8) обчислюється значення *D*;

3. Шляхом порівняння значення *D* з різними рівнями квантування значення *БП* визначається інтенсивність кольору точок траєкторії.

Рівні квантування доцільно обирати кратними ступеням двійки, що дозволить уникнути виконання операції ділення, яку в даному випадку буде замінено операцією зсуву. Розглянемо процедуру визначення інтенсивності кольору при використанні п'яти рівнів квантування (0, 1/4, 1/2, 3/4, 1). У даному випадку необхідно виконати чотири операції порівняння за таким алгоритмом:

якщо $D < (БП/4 - БП/8)$, то $S = 0$; $I_p = I_{фон}$;

інакше, якщо $D < (БП/2 - БП/8)$, то $S = 1/4$; $I_p = 1/4 I_M + 3/4 I_{фон}$;

інакше, якщо $D < (3БП/4 - БП/8)$, то $S = 1/2$; $I_p = 1/2 I_M + 1/2 I_{фон}$;

інакше, якщо $D < (БП - БП/8)$, то $S = 3/4$; $I_p = 3/4 I_M + 1/4 I_{фон}$;

інакше $S = 1$; $I_p = I_M$.

Цей алгоритм не потребує виконання довгих операцій. При апаратній реалізації операції порівняння можуть виконуватись паралельно, що забезпечить високу швидкість розрахунку інтенсивності кольору. Алгоритм враховує, що інтенсивності кольору ребра багатокутника та фонове зображення можуть змінюватись вздовж крокової траєкторії.

Точність обчислення інтенсивності кольору можна підвищити шляхом збільшення кількості рівнів квантування. При цьому зростають апаратні витрати за рахунок введення додаткових пристроїв порівняння. Для випадку, коли використовується більше п'яти рівнів квантування, процес порівняння доцільно виконувати поетапно. Це дозволить зменшити кількість додаткових блоків порівняння. На рис. 5 наведено граф-схему алгоритму визначення інтенсивності кольору для восьми рівнів квантування. У цьому алгоритмі порівняння виконується у два етапи. На першому етапі від значення *D* віднімається відповідне квантоване значення більшого координатного приросту. Результат операції віднімання використовується на другому етапі для порівняння з наступним квантованим рівнем більшого координатного приросту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка: навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2001. 130 с.
2. Романюк О. Н., Курінний М. С., Денисюк В. О. Апаратно-орієнтований метод антиаліазингу крокової траєкторії відрізків прямих. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2007. Т. 8, № 3. С. 11–19.
3. Романюк О. Н., Курінний М. С. Ефективний алгоритм антиаліазингу векторних границь багатокутника. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*: зб. наук. праць. Вінниця: ВДТУ, 2002. С. 105–109.
4. Романюк О. Н., Курінний М. С. Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу. *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*. 2002. № 3. С. 35–47.
5. Петух А. М., Обідник Д. Т., Романюк О. Н. Інтерполяція в задачах контурного формоутворення: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2007. 142 с.
6. Романюк О. Н. Контроль реалізації функцій лінійного інтерполювання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 1996. № 4. С. 28–32.
7. Романюк О. Н., Гульчак Ю. П., Чорний А. В. Новий підхід до реалізації лінійного інтерполювання. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 1999. № 4. С. 94–96.
8. Романюк О. Н., Чорний А. В. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів: монографія. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. 190 с.
9. Петров М. Н., Молочков И. В. Компьютерная графика. СПб.: Петербург, 2002. 302 с.

КОНТЕКСТНО-ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ БЕЗПЕКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Чаплінський Ю. П., Субботіна О. В.

Сучасні технології харчової промисловості, вимоги безпеки харчових продуктів ланцюга поставок продуктів харчування від ферми до столу характеризуються необхідністю прийняття комплексних і раціональних рішень. Складність в реалізації такого прийняття рішень полягає в необхідності синтезу різних точок зору на проблему, несумісність задач прийняття рішень через структуру або обмежуючі фактори тощо. При цьому необхідно розглядати різні аспекти прийняття рішень. Представлена актуальність використання знань орієнтованих онтологій, що реалізуються через онтології та контекст. Описано розроблені онтології та онтологічні системи безпечності продуктів

харчування. Представлено множину онтологій підтримки прийняття рішень щодо безпеки продуктів харчування. Представлено базову онтологію як засіб визначення та інтеграції понять та термінів і їх зв'язків для опису предметних областей та розв'язання певних задач у відповідних предметних областях. Описано використання контексту та контекстної онтології, що дозволяє розпізнати, зрозуміти та представити відповідні задачі прийняття рішень.

Modern technologies of the food industry, food safety requirements of the food supply chain from the farm to the table are characterized by the need for comprehensive and rational decisions. The difficulty in implementing such decision-making is the need to synthesize different points of view on the problem, the incompatibility of decision-making tasks due to structure or limiting factors, and so on. It is necessary to consider various aspects of decision-making. The relevance of the use of knowledge-oriented ontologies implemented through ontologies and context is presented. Developed ontologies and ontological systems for food safety are described. A variety of food safety decision support ontologies are presented. The basic ontology is presented as a means of defining and integrating concepts and terms and their connections to describe subject areas and solve certain problems in the relevant subject areas. The use of context and context ontology is described, which allows to recognize, understand and present the relevant decision-making tasks.

Сьогодні використання та управління знаннями в процесі прийняття рішень розглядається як потужна конкурентна перевага на підприємстві, орієнтованому на постійні зміни ділових процесів. Складність в реалізації прийняття рішень полягає в необхідності синтезу різних точок зору на проблему, використання термінів та понять з різних предметних областей, для опису своїх ідей управління великою кількістю інформації, що стосується проблеми, та розуміння рішень, що приймаються, тощо. Це вимагає необхідності прийняття комплексних та раціональних рішень. При цьому сучасні технології харчової промисловості, вимоги безпеки харчових продуктів ланцюга поставок продуктів харчування від ферми до столу, вимоги до харчової логістики, продажів продуктів харчування, зберігання продуктів харчування, вимоги до зниження ризиків використання продуктів харчування та виникнення хвороб харчового походження, необхідність підтримання громадської довіри до безпечності харчових продуктів і т. д. — визначають необхідність контролювати весь ланцюг виробництва харчового продукту. Діяльність як окремих людей, так і систем зараз все більшою мірою залежить від використання ними знань як одного з найцінніших ресурсів.

Це можливо реалізувати на основі використання системи управління безпечністю продуктів харчування, що базується на принципах

НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point, Аналіз небезпек та критичні контрольні точки) та забезпечує структурований підхід до ідентифікації та контролю визначених небезпечних чинників і факторів, у порівнянні з традиційними методами, такими як інспектування або контроль якості. Гарантування безпечності продуктів харчування є основною метою застосування концепції НАССР до процесу виробництва [1].

Реалізація системи управління безпечністю продуктів харчування, що базується на принципах НАССР, дозволяє виробляти більш безпечну продукцію, що узгоджена із законодавством, краще організовувати діяльність персоналу, більш ефективно використовувати ресурси, зменшувати збитки, зменшити ризик хвороб, спричинених харчовими продуктами, покращити якість життя і т. д.

В рамках реалізації такої системи необхідно підтримати всі етапи прийняття рішень від проведення аналізу та визначення небезпечних факторів та відповідних заходів з контролю, ідентифікації та визначення критичних ситуацій і визначення відповідних дій з врахуванням вимог законодавства, галузевих рекомендацій, настанов з кращих практик та підтверджених власних досліджень до визначення коригувальних заходів та аналізу їх впровадження, підтвердження правильності роботи системи.

При цьому необхідно розглядати різні аспекти прийняття рішень, що можуть базуватися не тільки на знаннях окремої предметної області, а на деякій сукупності проблемних областей. Такими можуть бути поведінковий аспект, що описує ситуації прийняття рішень та порядок, в якому розглядаються задачі і в якому виконуються відповідні дії, організаційний аспект, що описує структуру середовища прийняття рішень, ресурси і засоби та визначає організаційну структуру, в якій рішення задачі виконується або буде виконуватися, і відношення між елементами структури, інформаційний аспект, що описує інформацію, яка використовується при прийнятті рішень, як вона представляється і як вона може застосовуватися. Це визначає, що діяльність як окремих людей, так і підприємств все більшою мірою залежить від наявних у них знань як одного з найцінніших ресурсів і можливості їхнього його ефективно використовувати. З іншого боку, можна виділити основні моменти, необхідні для якісного виконання підготовки та прийняття рішень: системність; альтернативність; багатокритеріальність; несумісність (протиріччя); врахування думок аналітиків та експертів.

При цьому це відбувається з врахуванням вимог всіх зацікавлених сторін, ринкових умов, стандартів та законодавства, ланцюга поставок, вимог до ризиків при виробництві та переробці продуктів харчування і т. д.

Слід також зазначити, що реалізація таких систем стикається з тим, що знання в складних предметних областях дуже швидко змінюються або застарівають, з'являються нові задачі та нові методи розв'язання.

Сучасні підходи прийняття рішень вимагають використовувати не тільки особливості дійсності, які є найважливішими для конкретної ситуації прийняття рішень або проблеми прийняття рішень, а розглядати різні аспекти прийняття рішень, які можуть бути змодельовані та досліджені один незалежно від одного, що можуть базуватися не тільки на знаннях окремої предметної області, а на деякій сукупності проблемних областей. Область прийняття рішень будемо розглядати як багаторівневу структуру, яка включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій. Для використання цих особливостей процесу прийняття рішень будемо використовувати методологію розробки системи підтримки прийняття рішень (СППР), основою якої є контекст та онтологія, як засіб інтеграції методів системного, процесного та ситуаційного аналізу.

Прийняття якісних рішень відбувається як через горизонтальні перехресні вузли, так і через вертикальні перехресні ієрархічні зв'язки, при цьому можливо отримання раніше недоступної інформації, що в подальшому дає змогу розвивати нові знання та розуміння.

Сьогодні вже існують певні онтології, які стосуються безпеки продуктів харчування, наприклад, AGROVOC [2], FoodOn [3], FoodWiki [4], Open Food Facts [5], Food Product Ontology [6], ONTO-FP[7], FOODS [8], Food Ontology [9].

AGROVOC [2] є великим багатомовним тезаурусом, який охоплює всі області знань, що представляють інтерес для продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО). Вона включає в себе термінологію, яка широко використовується в предметних областях сільського господарства, рибальства, лісового господарства, харчової та суміжних областей. Словник складається з більш ніж 32 000 понять, до 40 000 термінів на 23 мовах. AGROVOC використовується в спеціалізованих електронних бібліотеках і цифрових сховищах для індексування та пошуку даних.

FoodOn [3] — це онтологія, що направлена на розробку семантичного представлення знань щодо харчової безпеки, продовольчої без-

пеки, сільськогосподарських та тваринницьких практик, пов'язаних з виробництвом харчових продуктів, кулінарними, харчовими та хімічними інгредієнтами та процесами. FoodOn — це комплексний ресурс онтології з відкритим кодом, що базується на ієрархії термінів, яка охоплює сировину та її основні компоненти, термінів, що пов'язані з пакуванням, приготуванням їжі та консервації, а також різними структурами та складами різних продуктів харчування.

FoodWiki [4] є онтологокерованою, мобільною інформаційною системою охорони здоров'я з питань безпечного споживання продуктів харчування. Це дозволяє користувачам/пацієнтам в групах ризику аналізувати та контролювати їх споживання їжі. Ця система включає бази знань та механізми пошуку, які на основі запитів користувачів рекомендують відповідне споживання продуктів харчування.

Open Food Facts [5] представляє собою глобальну базу даних продуктів харчування на основі створення статей фізичними особами по всьому світу. Люди додають продукти в базу даних і мають право редагувати, покращувати і пропонувати свої пропозиції через форуми. Додаток Open Food Facts дозволяє користувачам дізнаватися інформацію про поживну цінність їжі та порівняти продукти з усього світу.

Food Product Ontology [6] описує харчові продукти через загальне подання, словник для області харчового продукту, щоб допомогти виробникам, роздрібним торговцям, уряду та іншим установам публікувати свою інформацію, що належить до цієї області, таким чином, щоб забезпечити максимальне повторне використання даних. Food Product Ontology дозволяє більш тісну інтеграцію, спільне використання та спільну обробку інформації про продукти харчування між декількома зацікавленими сторонами. Вона розширює широко використовувану стандартизовану онтологію для продуктів, ціни та іншу інформацію, що називають GoodRelations [10], яка є онтологією опису товарів та послуг з використанням товарних структурованих даних в RDF.

Onto-FP [7] призначений в основному для надання дослідникам основи для побудови своїх знань на основі семантики. Областю Onto-FP є харчова промисловість, де сировина переробляється в кінцеві продукти. Onto-FP охоплює широкий спектр діяльності від збирання врожаю, підготовки, проміжних процесів до кінцевих процесів.

FOODS [8] — онтолого-керована система, що розроблена в Таїланді та направлена на створення систем харчування для людей, що хворіють певними хворобами, та планування меню для цих людей.

Онтологія, що входить до FOODS, містить специфікації інгредієнтів, речовин, фактів харчування, що рекомендовані до щоденного споживання у розрізі різних регіонів, страв та меню. Експертна система в FOODS допомагає знайти відповідну страву або меню для споживача, клієнта або клієнта, який використовує FOODS. В FOODS існують два різних інтерфейси залежно від ролі користувача: для кухарів або людей, які готують їжу; для клієнтів або користувачів, які хочуть отримати пораду про харчування або бажаючих замовити існуючі страви в ресторані.

Food Ontology [9] — це онтологія для публікації даних про рецепти, включаючи продукти, з яких вони виготовлені, та продукти, які вони створюють, а також дієти, меню, сезони страви, курси їжі та випадки, до яких вони можуть бути придатними. Вона є розширенням онтології GoodRelations [10] для опису продуктів та сервісів. Food Ontology використовується для публікацій рецептів у мережі Інтернет.

Представлені харчові онтології та їх застосування визначають потенціал використання інформації щодо продуктів харчування та їх безпечності.

Описані харчові онтології розроблені для дуже специфічного використання. Подолання обмеженого обсягу цих онтологій вимагає розробки онтології, яка охоплює більш широкую множину задач безпеки продуктів харчування, зокрема процеси прийняття рішень.

В сучасних задачах неможливо із загального процесу прийняття рішення виділити будь-які окремі задачі, оскільки вони об'єднані в одну загальну задачу. Це вимагає розгляду процесів, структур, ресурсів, навколишнього середовища, а також взаємодії між акторами процесу прийняття рішень. Такий розгляд може базуватися на чотирьох вимірах (аспектах) використання знань: джерело, зміст, середовище та користувач.

При цьому прийняття рішень реалізується в рамках задач (підзадач), досягається за рахунок прийняття узгоджених рішень у відповідних задачах, а інтеграція управління прийняттям рішення в цілому буде отримана шляхом узгодження управляючих впливів між пов'язаними задачами, які належать одному або різним рівням. Таке прийняття рішень відбувається як через горизонтальні перехресні зв'язки, так і через вертикальні перехресні ієрархічні зв'язки. Організаційна структура, в якій її елементи формують свої рішення під дією вказівок «зверху» є вертикальною організаційною структурою.

Організаційна структура, в якій її елементи формують свої рішення самостійно, можливо, з урахуванням різних систем стимулювання, є горизонтальною організаційною системою.

Таким чином, реалізація процесів прийняття рішень є набагато складнішим процесом, ніж просте надання доступу до відповідної інформації та знань, на що направлені більшість існуючих онтологій та онтологічних систем [11]. Цей процес вимагає врахування особливостей проблемної області, знань та контексту їх створення, потреб, контекстів, досвіду, переконань тощо цільової аудиторії та змісту, засобів, формату, мови тощо, які використовуються при поширенні та використанні знань цими цільовими аудиторіями.

В роботі основними зацікавленими учасниками в системі безпеки продуктів харчування є: виробники та переробники продуктів харчування, споживачі продуктів харчування, регуляторні органи (законодавчі, регіональні тощо), науковці та навчальні заклади.

Ці зацікавлені учасники оперують відповідними інформаційними об'єктами. До таких інформаційних об'єктів в рамках отримання інформації відносять: новини, сповіщення, компанії, освітні заходи та можливості з безпеки продуктів харчування, програми та гранти, небезпеки, закон, ринок, медіа-програми та публікації, регуляторні органи, поширені питання та відповіді, ресурси, стандарт, поради та користувачі. В рамках системи управління безпечністю продуктів харчування на підприємстві розглядають інформаційні об'єкти з технологій виробництва продуктів харчування, якості продуктів харчування, безпеки продуктів харчування.

В цьому випадку до інформаційних об'єктів будемо відносити споживачів продукції, постачальників сировини, інгредієнтів, матеріалів тощо, організаційну структуру; устаткування, як виробниче, так і лабораторне; сировину, напівфабрикати, готову продукцію, технологічні показники виробничого процесу, показники сировини, напівфабрикатів, готової продукції, показники води, повітря; технології виробництва: технологічні процеси, технологічні операції; транспорт; документація (нормативно-довідкова документація, операційна документація); приміщення; час тощо.

Безпека продуктів харчування на підприємстві в рамках НАССР стосується: систем приміщень та робочого середовища (розташування підприємства, навколишні та внутрішні умови виробництва тощо), систем матеріалів та продукції (сировина, компоненти, напівфабрикати, вода тощо), виробничих систем (виробниче обладнання,

технологічний контроль, санітарія тощо), систем технічних засобів та інженерних комунікацій (водопостачання, каналізаційні системи, освітлення тощо), персоналу та відвідувачів (знання, здоров'я, гігієна тощо), систем пакування та маркування, система небезпек (біологічні, хімічні, фізичні), систем критичних точок контролю, систем граничних значень параметрів критичних точок контролю, систем коригувальних дій, плану НАССР, хвороби людини тощо.

Такий розгляд визначає необхідність створення інтегрованого середовища знань, що об'єднує різні аспекти розгляду [12]: представлення, зміст, інтерпретація та використання. Знання про прийняття рішень можуть бути або виражаються на формальному рівні для того, щоб бути переважно інтерпретованими в контексті представлення та зберігання знань або можуть бути виражені в контексті управління знаннями.

Процес прийняття рішень в цій ситуації складається з послідовності етапів, кожен з яких включає такі елементи: визначення рішень локальних задач з урахуванням результатів, отриманих на попередніх етапах; узгодження рішень пов'язаних локальних задач. При цьому потрібно враховувати особливості прийняття рішень за умов системного підходу, насамперед це взаємозалежність та взаємозв'язок проблем; можливі негативні наслідки прийняття рішень; поведінкові обмеження; інформаційні обмеження; час та середовище, що змінюється.

Використання такого представлення процесів прийняття рішень та аналіз задач, що виникають в рамках управління безпечністю продуктів харчування, показало, що для цього можна використовувати взаємопов'язану множину онтологій, що представляє собою багаторівневу асоціативну структуру вигляду [13]: $O = \langle O_{meta}, O_{core}, O_{ctx}, \{O_{DM}\}, O_R, O_{user}, Inf \rangle$, де O_{meta} — метаонтологія; O_{core} — базова онтологія; O_{ctx} — контекстна онтологія; $\{O_{DM}\}$ — множина онтологій представлення процесу прийняття рішень, що включає представлення задач та їх розв'язання на рівні проблемної області, онтологій предметно-формального та формального представлення та реалізацій цього процесу; O_R — онтологія реалізацій, що включає опис програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень; O_{user} — онтологія представлення користувача та взаємодії з ним; Inf — модель машини виводу, що асоціюється з множиною онтологій O .

Онтології, що розглядаються, мають інформаційний або описовий аспект та функціональний (процедурний) аспект. Інформаційний аспект реалізується через стандартне розуміння онтології як поняття та терміни, визначення понять та термінів і визначення зв'язків між ними. Функціональний аспект реалізується через представлення відповідних механізмів, процесів, функціональних залежностей тощо через онтології. При цьому онтології дозволяють представити прийняття рішень, включаючи складові та взаємозв'язки між елементами процесу прийняття рішень, та використовуються при формуванні та виборі рішень і для специфікації горизонтальних/вертикальних зв'язків між задачами, моделями, методами, реалізаціями та різними шарами прийняття рішень. Для цього всі знання, що описують прийняття рішень, розглядаються в розрізі знань, що описують контекст, та знань, що описують контент.

Кожна онтологія базується на використанні 6 ключових аспектів, що надають відповіді на питання: що, хто, де, коли, як, чому (рис. 1).

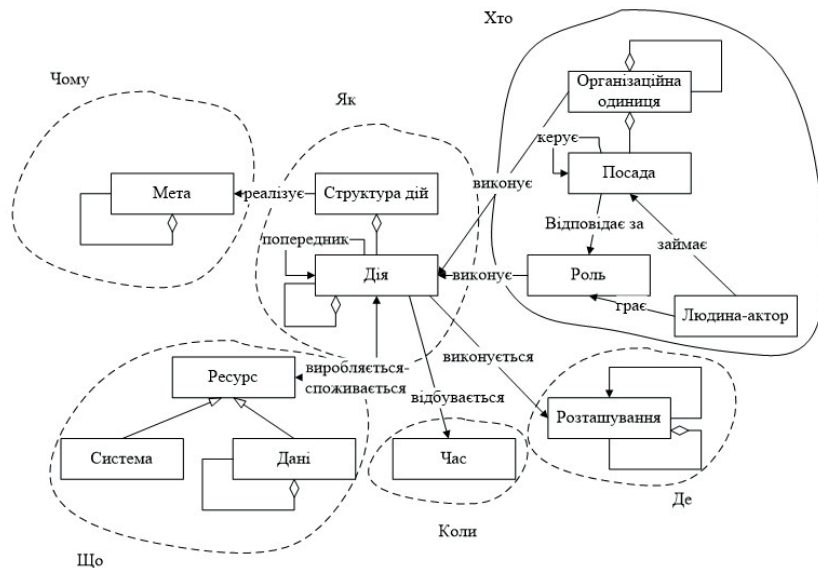


Рис. 1. Представлення 6 ключових аспектів

При представленні області безпеки продуктів харчування основне місце займають базова онтологія, контекстна онтологія.

Базова онтологія забезпечує загальну термінологію для прийняття рішень, для спільного використання та розуміння всіма користувачами, дає точне та несуперечливе визначення значення кожного терміну, забезпечує визначення семантики за допомогою множини аксіом, які автоматично дозволяють отримувати відповідь на множини питань про предметну область.

Основою для представлення базової онтології є поняття та терміни як загальні, так і специфічні, і зв'язки між ними. Під поняттям будемо розуміти форму мислення, що відображає істотні властивості, зв'язки та відносини предметів і явищ в їх протиріччі і розвитку та дозволяє узагальнювати і виділяти предмети певного класу за певними загальними та в сукупності специфічними для них ознаками. Поняттям може бути будь-яка сутність, про яку може бути дана будь-яка інформація. Ми визначаємо сутність як будь-яке явище в фізичній або суб'єктивній дійсності. Під терміном будемо розуміти слово або словосполучення, що реалізують спосіб або форму представлення та покликані точно визначити поняття та його співвідносини з іншими поняттями в межах певної сфери використання. Терміни служать спеціалізованими, обмежувальними позначеннями характерних для певної сфери предметів, явищ, їх властивостей та відносин. Вони існують в рамках певної термінології, тобто входять в конкретну лексичну систему мови та представляються лише через посередництво конкретної термінологічної системи. Відносини представляють тип взаємодії між поняттями та термінами. В якості відносин між поняттями і термінами використовуються відносини класифікації, відносини узагальнення, відносини спеціалізації, відносини композиції, відносини декомпозиції, відносини групування, відносини індивідуалізації, відносини еквівалентності або синонімії, відносини омонімії. Ця онтологія використовується для того, щоб конкретизувати поняття і терміни та визначити їх семантичні значення. Будемо розглядати базову онтологію як засіб докладного подання та опису множини понять предметної області (термінів), знань про них (властивості) та зв'язки (відносини) між ними.

В рамках базової онтології також реалізується інтеграція визначених понять та термінів для опису предметних областей та розв'язання певних задач у відповідних предметних областях. Будемо розглядати проблемну область прийняття рішень як множину предметних областей та задач, що розв'язуються в них. Така онтологія складається з консолідованого представлення певних проблемних областей, че-

рез які прийняття рішень може бути представлено та визначено на основі вибраної точки зору (стан проблеми або проблемної області, поведінка проблеми (*extensional transitions*) або проблемної області (*intensional transitions*) та розв'язання проблеми). Поняття та терміни, що стосуються проблемної області, включають такі поняття: проблема, модель (формулювання проблеми), методологія (сценарій, метод, алгоритм), система характеристик, що їх описують. Інші поняття визначають ті поняття, що пов'язані з системою характеристик (структура, обмеження, середовище, контекст, рівень узагальнення тощо), проблемою (предмет проблеми, проблема верхнього рівня, проблема нижнього рівня, методи (сценарії) рішення, складність проблеми, атомна проблема, складена проблема, опис проблеми, проблемна тема, контекст проблеми, власність проблеми, відповідальність за проблему, оцінка проблеми, проблемна область, вплив на проблеми, вплив з проблем, ініціювання, час, взаємодія, актор тощо), моделлю (мета, обмеження, контекст, проблемна область, проблема, методологія, об'єкти, вхідні параметри, вихідні параметри, інші параметри, умови, тригери (який випадок запускає), передумови (що на початку), післяумови (що в кінці) та пов'язані знанням проблемної області (область знання, функціональні знання, структурне знання, знання обробки тощо). Відносини в рамках розглянутого реалізуються через асоціативні відносини, відносини управління, відносини часу (послідовності), атрибутивні відносини, просторові (топологічні) відносини. При цьому відносини розглядаються через задачу — відносини -об'єкт, задачу — відносини — значення, об'єкт — відносини — значення, значення — відносини — властивість.

Таким чином, можна досягти реалізації онтологічного представлення термінів та понять, що дає можливість опису предметних областей та відповідних проблемно-орієнтованих частин, які можна використати для розв'язання задач безпеки продуктів харчування.

Слід зазначити, контекст є важливим фактором у процесі прийняття рішень, допомагає визначити, яка інформація необхідна для підтримки прийняття рішень та є множиною взаємопов'язаних компонентів. Розгляд використання контексту в проблемних областях допомагає виявити всі семантичні відносини, надати всю необхідну інформацію та правильні інтерпретації для прийняття рішень, оскільки використання інформації в процесі прийняття рішень, як правило, відбувається в контексті складної структури процесу прийняття рішень, який часто формується за допомогою цілого ряду

чинників. Під контекстом будемо розуміти будь-яку інформацію, яка може бути використана або характеризує відповідну складову процесу розв'язання проблемних задач. Наше уявлення контексту складається зі змісту, що базується на онтологіях, які охоплюють певну частину моделі контексту.

Контекст розглядається в рамках контекстної онтології, яка допомагає розпізнати, зрозуміти та представити відповідні явища як контексти та в межах контекстів.

Формально будемо розглядати контекст як конструкцію, що складається з понять в межах відповідних контекстних областей та описується онтологією контексту через структуру контекстних областей [14]:

$$O_{ctx} = \langle O_{ctx}^{AR}, O_{ctx}^A, O_{ctx}^{PA}, O_{ctx}^O, O_{ctx}^E, O_{ctx}^F, O_{ctx}^{Fclt}, O_{ctx}^R, O_{ctx}^{Plc}, O_{ctx}^T \rangle.$$

На загальному рівні O_{ctx} описується такими контекстними областями: O_{ctx}^{AR} — мета/результат, O_{ctx}^A — актор, O_{ctx}^{PA} — процес/дія, O_{ctx}^O — об'єкт, O_{ctx}^E — середовище, O_{ctx}^F — можливості, O_{ctx}^{Fclt} — засоби, O_{ctx}^R — представлення, O_{ctx}^{Plc} — розташування, O_{ctx}^T — час.

Так, O_{ctx}^{AR} складається з понять та конструкцій, які відносяться прямо або побічно до цілей, спонукань або намірів, бажаних результатів чогось або деякої сутності. O_{ctx}^A складається з понять та конструкцій, які звертаються до окремої людини, групи, посади або організаційної системи, соціальної системи, технічної системи, програмного забезпечення. O_{ctx}^{PA} складається з понять та конструкцій, які звертаються до процесів, умов, функцій, операцій, задач і т. д. в контексті. O_{ctx}^O складається з понять та конструкцій, які звертаються до чогось, до чого призначена або спрямована дія. O_{ctx}^E складається з понять та конструкцій, які представляють, де та в яких умовах відбувається щось. O_{ctx}^F складається з понять та конструкцій, які представляють, що і де ми можемо використати. O_{ctx}^{Fclt} складається з понять та конструкцій, які визначають, як щось може бути застосоване або зроблене та що може бути вирористане. O_{ctx}^R складається з понять та конструкцій, які відносяться до форми представлення чогось. O_{ctx}^{Plc} складається з понять та конструкцій, які звертаються до частини місця, зайнятого чимось або чимось. O_{ctx}^T складається з понять та конструкцій, які звертаються до часових аспектів в контексті.

Такий розгляд контексту в рамках задач безпеки продуктів харчування дозволяє, не впливаючи безпосередньо на процес прийняття

рішень, обмежити його лише значущими для даного контексту правилами / процедурами. Це дозволяє: 1) логічно виводити новий контекст з наявних; 2) повторно використовувати контекст за допомогою застосування контекстів вищих рівнів абстракції, їх інтеграції та конкретизації для відповідних умов і завдань; 3) отримувати контекст більш високого рівня абстракції з відповідного розглянутого контексту; 4) розбивати контекст на складові відповідні логічно пов'язані внутрішньо узгоджені контексти.

Контекстні поняття взаємопов'язані між собою через контекстні відносини, включаючи внутрішньобласні, міжобласні та міжконтекстні відносини, тобто такі відносини включають не тільки відносини між компонентами однієї області, а й відносини між іншими контекстами. Такі поняття та конструкції необхідні для того, щоб визначити, зрозуміти, структурувати та представити сутності як контексти та/або в межах контекстів, щоб зрозуміти природу, цілі та значення відповідних сутностей задач та процесу прийняття рішень.

Для представлення контекстних областей будемо використовувати класи об'єктів, відносин та атрибутів, що дає можливість представляти їх як семантичні аспекти, де семантика умов і відносин між ними визначені явним чином (таким чином роблячи кожен аспект формальною онтологією). Використання таких категорій дозволяє зробити формалізацію аспектів в логіку опису (дескрипційна логіка) (DL).

Такий погляд дозволяє: по-перше, замість того, щоб розглядати контекст як інформацію, можна стверджувати, що контекстуальність є реляційною властивістю, яка визначається між об'єктами або діями. По-друге, можна стверджувати, що обсяг контекстних функцій визначається динамічно. По-третє, можна стверджувати, що контекст є особливим для кожного випадку діяльності або дії. Контекст — це властивість, що пов'язана з певними налаштуваннями, окремими випадками дії та особами, що беруть участь у цій дії. По-четверте, контекст є проблемою не представлення, а є проблемою взаємодії.

Використання такого представлення області безпеки продуктів харчування дозволяє в подальшому використовувати для:

- формування рішень на основі даних. Тут розглядаються область деталізованих даних, тобто пошук інформації з використанням засобів СУБД як в окремих базах даних, так і в загальному сховищі даних, область агрегованих показників, область закономірностей, тобто пошук функціональних і логічних закономірностей в накопиченій інформації, побудова моделей і правил, які пояснюють знайдені ано-

малії і / або прогнозують розвиток деяких процесів (інтелектуальний аналіз даних (Data Mining);

- формування рішень на основі логічних моделей і правил (прийняття рішень на основі продукційних моделей, семантичних мереж і т. д.);
- формування рішень на основі математичних моделей (оптимізація через використання аналітичних формул, оптимізація через алгоритми, оптимізація вибору з безлічі альтернатив і т. д.);
- формування рішень на основі типових рішень або прецедентів (типові рішення і моделі, прецеденти проблемних ситуацій).

Представлений контекстно-онтологічний підхід до розв'язання задач прийняття рішень дозволяє реалізувати інтелектуальну підтримку прийняття рішень в динамічних структурованих областях, основою якої є контекст та онтологія.

Результати роботи використано в рамках науково-дослідної роботи «Розробити контекстно-орієнтовані онтологокеровані алгоритми системної оптимізації на прикладі безпеки продуктів харчування».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Димань Т. М., Мазур Т. Г. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. К.: Академія, 2011.
2. Caracciolo C., Stellato A., Rajbahndari S., Morshed A., Johannsen G., Keizer J., Jaques Y. Thesaurus maintenance, alignment and publication as linked data: The AGROVOC use case. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*. 2012. No. 7. P. 65–75.
3. Dooley D., Griffiths E., Gosal G., Buttigieg P., Hoehndorf R., Lange M., Schriml L., Brinkman F., Hsiao W. Food. A harmonized food ontology to increase global food traceability, quality control and data integration. *NPJ Science of Food*. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 1–10.
4. Zelik D. Food Wiki: Ontology-Driven Mobile Safe Food Consumption System. *The Scientific World Journal*. 2015. Vol. 15, No. 2. P. 1–15.
5. Open Food Facts [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://world.openfoodfacts.org/who-we-are>
6. Kolchin M., Zamula D. Food Product Ontology: Initial Implementation of a Vocabulary for Describing Food Products. *Proceeding of the 14th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. Helsinki, Finland, 2013. P. 191–196.
7. Muljarto A. R., Salmon J.-M., Neveu P., Charnomordic B., Buche P. Ontology-Based Model for Food Transformation Processes — Application to Wine-making. *Metadata and Semantics Research. Communications in Computer and Information Science*. 2014. Vol. 478. P. 329–343.

8. Snae C., Bruckner M. FOODS: A Food-Oriented Ontology-Driven System. *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST 2008)*. 2008. P. 168–176.
9. Food ontology [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bbc.co.uk/ontologies/fo>
10. Hepp M. Good Relations: An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web. *Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management*. LNCS 5268. Rhodes Island, Grece. 2008. P. 329–346.
11. Boulos K., Yassine M., Shirmohammadi A., Snae Sh., Връкнер Ch. M. Towards an “Internet of Food”: Food Ontologies for the Internet of Things. *Future Internet*. 2015. 7. P. 372–392.
12. Maedche A., Motik B., Stojanovic L., Studer R., Volz R. Ontologies for Enterprise Knowledge Management. *IEEE Intelligent Systems*. 2003. Vol. 18, № 2. P. 26–33.
13. Чаплінський Ю. П. Онтологічні складові підтримки прийняття управлінських рішень. *Наукові праці НУХТ*. 2013. № 48. С. 65–68.
14. Чаплінський Ю. П., Субботіна О. В. Онтологія та контекст при розв’язанні прикладних задач прийняття рішень. *Штучний інтелект*. 2016. № 2. С. 147–155.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОБУДОВИ ГРАФОАНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ

Ушкаренко О. О., Малахова Н. Г.

Одним з основних завдань інформаційних технологій є вдосконалення існуючих та розробка нових методів формалізованого запису різних логіко-динамічних процесів перетворення аналогових та цифрових сигналів в електронних системах управління, збору та обробки інформації. Етап формалізованого запису будь-яких процесів перетворення сигналів має бути поданий у вигляді аналітичних символів, які у своїй послідовності повинні формувати функціонально закінчену математичну модель. Запропонований вдосконалений метод побудови математичних моделей компонентів електронних кіл для їх представлення в графоаналітичному вигляді з підвищеним інформаційним змістом дозволяє виконати інтеграцію розроблених моделей елементів електронних кіл з об’єктно-орієнтованою мовою програмування у вигляді функціональних структур для виконання параметричного аналізу та інших завдань, пов’язаних з моделюванням електронних систем.

One of the main tasks of information technology is to improve existing and develop new methods of formalized recording of various logical-dynamic processes of analog and digital signals conversion in electronic control systems, acquisition and processing of information. The stage of formalized recording of any signal conversion processes should be presented in the form of analytical symbols, which in their sequence should form a functionally complete mathematical model. The proposed method of building mathematical models of electronic circuit components for their presentation in graph-analytical form with increased information content allows to integrate the developed models of electronic circuit elements with object-oriented programming language in the form of functional structures. It opens the way to perform parametric analysis of circuits and other tasks, related to the modeling of electronic systems.

Оскільки інформаційні технології пов’язані з процесами, методами пошуку, збору, зберігання, обробки, надання, поширення інформації та способів здійснення таких процесів та методів [1], то можна сказати, що вони є «матеріалізованими носіями» різної інформації, і сам носій, що існує, представляє собою формалізований запис цієї інформації. Тому одним з основних завдань інформаційних технологій, як зазначено в роботах [2–4], є вдосконалення існуючих та розробка нових методів формалізованого запису різних логіко-динамічних процесів перетворення аналогових та цифрових сигналів в електронних системах керування, збору та обробки інформації. Те, що етап формалізованого запису будь-яких процесів перетворення сигналів має бути поданий у вигляді аналітичних символів, які у своїй послідовності повинні формувати функціонально закінчену математичну модель, а вона у своєму записі може зробити доступним свій інформаційний зміст, зазначено та обґрунтовано в роботах [4; 5]. При цьому основною якістю функціонально закінченої математичної моделі логіко-динамічного процесу перетворення аналогових сигналів в електронних системах та в інших областях має бути мінімізація словесного опису її змісту [6].

Нашою метою роботи є вдосконалення методу побудови математичних моделей компонентів електронних кіл для їх представлення в графоаналітичному вигляді з підвищеним інформаційним змістом для їх подальшої інтеграції з об’єктно-орієнтованою мовою програмування у вигляді функціональних структур і вирішення завдань аналізу та моделювання електронних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз класичних методів формування математичних моделей електронних кіл та визначити можливі шляхи їх вдоскона-

лення для формування математичних моделей з «аналоговою» формою інформації, в основі яких лежать функціональні структури елементів електронних кіл.

2. Запропонувати нотацію та розробити функціональні структури резисторної функції $f(R)$, операційного підсилювача $f(\text{ОП})$, напівпровідникових функцій $f(n-p-n)$ і $f(p-n-p)$, які можуть бути записані у вигляді графоаналітичних виразів та на іншому рівні розуміння несуть інформацію про логіку перетворення сигналів в електронних системах.

3. Розробити програмні засоби, в яких реалізовано розроблені функціональні структури елементів різних електронних кіл (підсилювачів та активних фільтрів, побудованих на базі операційного підсилювача, підсилювального каскаду з загальним емітером) та методи їх параметричного аналізу для дослідження впливу зовнішніх факторів на окремі показники та параметри електронних систем, що характеризують процеси їх функціонування.

Розроблені схемні рішення функціональних структур для перетворення аргументів з «аналоговою» формою подання інформації не належать до категорії аналітичної форми запису конкретних логіко-динамічних процесів. На їх основі також можуть бути виконані не тільки різні арифметичні перетворення, такі як додавання і множення аргументів, а й процедури контролю й управління різними технологічними процесами. І якщо для цифрових структур аргументів була сформована аналітична форма запису різних логічних функцій і сформовані правила перетворення їх функціональних структур [7; 8], то і для аналогових аргументів також необхідно сформулювати аналітичну форму запису різних функціональних структур, в яких основними елементами є функціональні структури операційного підсилювача $f(\text{ОП})$, резистора $f(R)$ та напівпровідникових елементів $f(n-p-n)$ і $f(p-n-p)$. Слід додати, що метод синтезу графоаналітичних моделей логіко-динамічних процесів перетворення сигналів в цифрових системах, і відповідну нотацію вперше було розроблено та запропоновано талановитим українським винахідником Л. П. Петренком.

З аналізу умовного графічного позначення операційного підсилювача (ОП) і його реального змісту випливає, що якщо застосувати тільки аналітичні символи, то його можна записати у вигляді графоаналітичного виразу, представленого на рис. 1.

Графічне позначення записане у вигляді символу системи $\{\}$ з вхідними і вихідним функціональними зв'язками $f(\rightarrow)$. При цьому

функціональні вхідні зв'язки конкретизовані додатковими символами «+» і «-» і мають однозначний зміст, прийнятий при записі в графічному зображенні ОП. Аналогічний результат може бути отриманий і для інших функціональних структур (резистор, конденсатор, діод, транзистор та ін.).

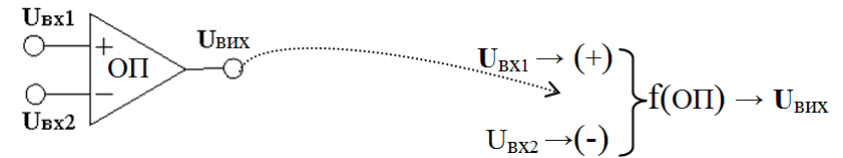


Рис. 1. Представлення операційного підсилювача в графоаналітичному вигляді

Функціональна структура $f(\text{ОП})$ з від'ємним зворотним зв'язком може бути записана у вигляді графоаналітичного виразу (рис. 2).



Рис. 2. Графоаналітична модель функціональної структури ОП з від'ємним зворотним зв'язком

З порівняльного аналізу аналітичного виразу функціональної структури $f(\text{ОП})$ з від'ємним зворотним зв'язком і її графічного запису випливає, що вони еквівалентні в своєму змісті, оскільки в якості зворотного зв'язку в аналітичному виразі записаний результуючий аргумент $U_{\text{ВИХ}} \uparrow$ з перерваним функціональним зв'язком і той же аргумент $\downarrow U_{\text{ВИХ}}$ на умовно від'ємному вході системи функціональної структури $f(\text{ОП})$.

Варіант функціональної структури $f(\text{ОП})$ з регульованим від'ємним зворотним зв'язком може бути представлений у вигляді графоаналітичного виразу, представленого на рис. 3.

Функціональна структура неінвертуючого суматора, побудована з використанням $f(\text{ОП})$, може бути записана у вигляді графоаналітичного виразу, представленого на рис. 4.

Особливістю моделі є наявність додаткової вхідної додатної (+) і умовно від'ємної (-) вхідних зв'язків функціональної структури

$f(\text{ОП})$. Ці додаткові зв'язки функціональної структури $f(\text{ОП})$ відповідають об'єднанню струмів резисторних функцій. Логіка формування функціональної структури інвертуючого суматора суттєво не відрізняється від логіки формування розглянутої графоаналітичної моделі.

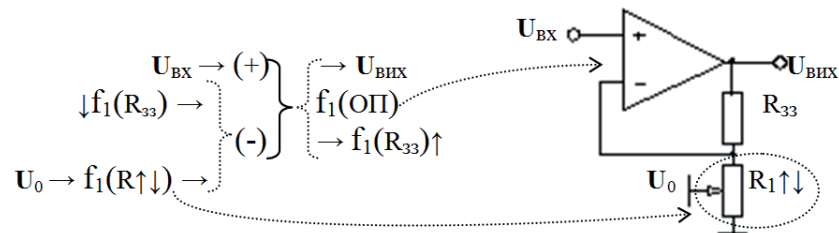


Рис. 3. Графоаналітична модель функціональної структури підсилювача

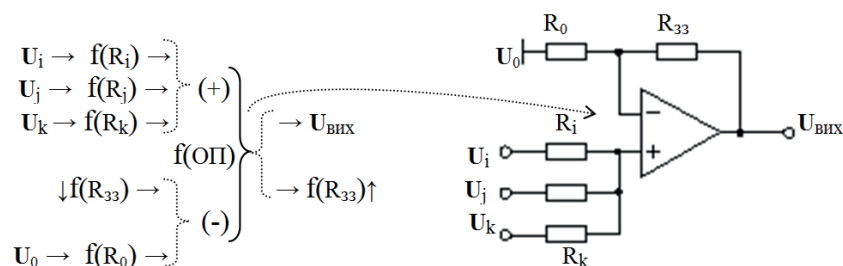


Рис. 4. Графоаналітична модель неінвертуючого суматора

Розглянутий підхід може бути використаний для запису функціональних структур $f(R)$ провідників, які формують струм I_R між аргументами U_{Π} або $-U_{\Pi}$, які представляють собою структури перетворення зовнішньої напруги у вигляді аргументів $\pm U_{\Pi}$. Тому для коректної інтерпретації логіко-динамічних процесів перетворення струму в її структурі вони повинні бути записані у вигляді аналітичних виразів. Наприклад, функціональна структура резисторної функції $f(R)$ може бути записана у вигляді графоаналітичних виразів, представлених на рис. 5.

Аргумент струму I_R є проміжним аргументом функціональної структури $f_1(R)$, який, відповідно до алгебраїчного закону Ома для формування аргументу різниці потенціалів U_R виконує функціональну дію множення $f(\text{множення})$ струму I_R на величину функціональної структури $f_1(R)$.

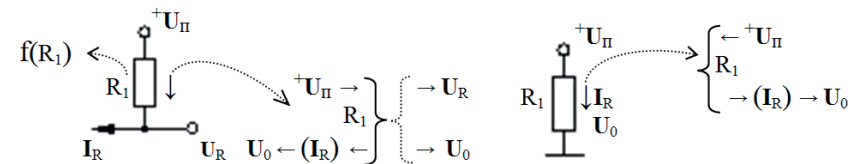


Рис. 5. Графоаналітичні моделі функціональної структури резистора

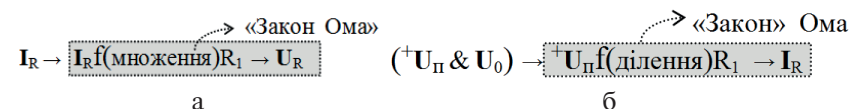


Рис. 6. Представлення процедури формування різниці потенціалів

В даній ситуації струм I_R по суті є величиною аргументу різниці потенціалів U_R , яка залежить від конкретного значення величини функціональної структури $f_1(R)$. Якщо записати аналітичний вираз математичної моделі, що реалізує процедуру формування аргументу різниці потенціалів U_R у вигляді графоаналітичного виразу (рис. 7), то з його аналізу витікає, що за допомогою функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$ («вольтметра») формують аргумент різниці потенціалів $(+U_{R0} \& U_0) \rightarrow U_{R0}$, сформований за допомогою функціональної структури $f_0(R)$.

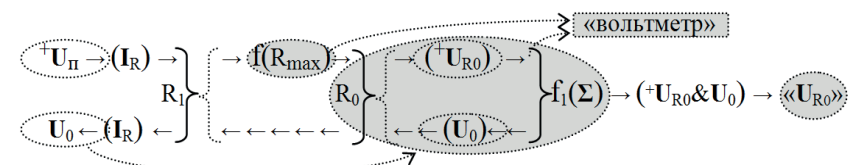


Рис. 7. Процедура формування аргументу різниці потенціалів

При цьому слід відмітити, що додатково введена функціональна структура $f_1(R_{max})$ виконує завдання не формування струму I_R , а узгодження можливого динамічного діапазону зміни аргументу різниці потенціалів $+U_{\Pi} \rightarrow +U_0$, яке може бути сформовано в функціональній структурі $f_1(R)$ і фіксованого значення можливого динамічного діапазону функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$. Якщо записати інший алгебраїчний вираз закону Ома у вигляді алгебраїчного виразу, представленого на рис. 6, б, що виконує функцію $f(\text{ділення})$ величини

аргументу напруги $+U_n$ на величину функціональної структури $f_1(R)$, то результуючим аргументом буде не струм I_R , а величина аргументу різниці потенціалів ΔU_R .

Одним з основних етапів проектування систем, зокрема електронних систем, є параметричний аналіз. Параметр об'єкта — це величина, що характеризує певну властивість об'єкта або режим його функціонування [9]. В контексті електронних систем об'єктом є електронна схема. Процедура параметричного аналізу полягає в дослідженні спроектованої електронної системи, що спрямована на отримання корисної інформації про її властивості. При цьому опис електронної системи в загальному випадку представляє собою математичну модель системи, яка може бути представлена у вигляді системи рівнянь або в іншому вигляді [10]. Нестационарність характеристик та параметрів окремих елементів, що входять до складу електронної системи, впливає на характеристики всієї системи та може призвести до погіршення якості її функціонування при дії зовнішніх факторів. Отже метою параметричного аналізу є перевірка працездатності електронної системи при зміні параметрів її елементів в певному діапазоні, що може бути обумовлено дією зовнішніх факторів (наприклад, температури). Специфіка завдання параметричного аналізу електронних систем полягає у використанні спеціальних методів, відповідних структур і технічній реалізації таких систем.

Передатна функція ФНЧ другого порядку, реалізованого на базі ОП за схемою Салена — Кея, має вигляд [11]:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_c C_1 (R_1 + R_2) p + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 p^2}.$$

Коефіцієнти a_1 й b_1 визначаються виразами:

$$\begin{aligned} A_0 &= 1, \\ a_1 &= \omega_c C_1 (R_1 + R_2), \\ b_1 &= \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2. \end{aligned}$$

На рис. 8 представлено зовнішній вигляд діалогового вікна розроблених програмних засобів, призначених для аналізу частотних характеристик активних фільтрів низьких частот другого порядку. Для виконання параметричного аналізу схеми та дослідження впливу зміни температури на характеристики фільтра внаслідок зміни опорів

резисторів використовуються температурні коефіцієнти опору α_1 та α_2 (для першого та другого резистора відповідно).

В даному прикладі значення температурних коефіцієнтів опору різні, і при зміні температури разом зі зсувом АЧХ в напрямку низьких частот також зменшується величина нерівномірності в смузі пропускання фільтра. Не виключена ситуація, коли при певних значеннях опорів резисторів та температурних коефіцієнтів опорів зміна температури оточуючого середовища призведе до перетворення фільтру Чебишева у фільтр Батерворта.

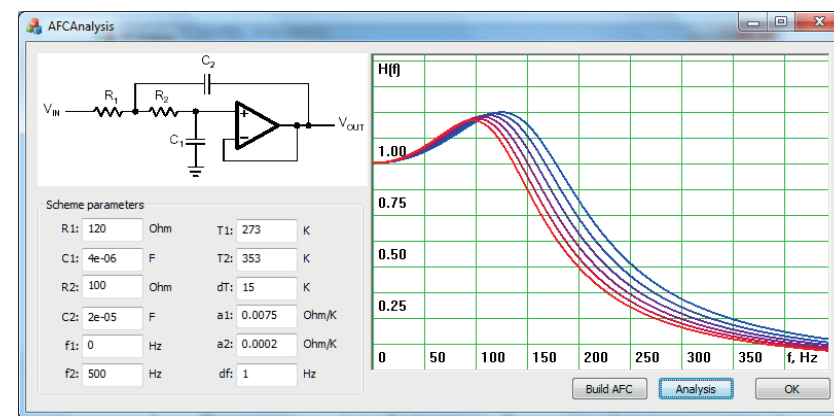


Рис. 8. Інтерфейс програмних засобів побудови АЧХ активного ФНЧ низьких частот

Напівпровідникові функції $f(n-p-n)$ і $f(p-n-p)$ $n-p-n$ і $p-n-p$ структур можуть бути записані у вигляді аналітичних виразів, представлених на рис. 9, а, б відповідно.

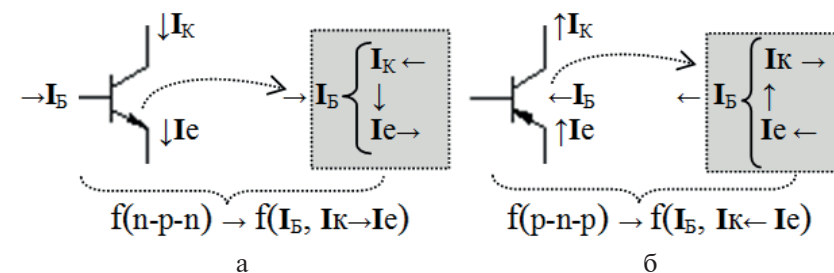


Рис. 9. Представлення $f(n-p-n)$ і $f(p-n-p)$ функціональних структур

Символи n - p - n і p - n - p формалізовані до символів (\downarrow) — n -провідності і (\uparrow) — p -провідності між функціональними зв'язками аргументів струму колектора I_K і аргументом струму емітера I_E в їх системі (\downarrow) і повністю еквівалентні графічному зображенню транзисторів відповідної провідності. Але якщо врахувати, що в принципових схемах струми I_K , I_E і струм бази I_B не пишуть, то запропонований запис напівпровідникових функцій у вигляді аналітичної структури $f(I_B, I_K \rightarrow I_E)$ і $f(I_B, I_K \leftarrow I_E)$ містить таку інформацію. Такий запис більшою мірою відповідає процесу, який реалізується в напівпровідникових n - p - n і p - n - p структурах при активізації аргументів струму I_K і I_E з одного боку системи, і ця активізація безпосередньо пов'язана зі зміною аргументу струму бази I_B по іншу сторону систем напівпровідникових функцій $f(I_B, I_K \rightarrow I_E)$ і $f(I_B, I_K \leftarrow I_E)$. При цьому функціональні входні зв'язки (\downarrow) і (\uparrow) аргументів струму I_K і I_E , і символа провідності (\downarrow) — n або (\uparrow) — p формують послідовну структуру перетворення аргументів струму в структурі функцій $f(I_B, I_K \rightarrow I_E)$ і $f(I_B, I_K \leftarrow I_E)$.

Слід зазначити, що функціональна структура (рис. 9) відповідає символу R в аналітичному виразі (рис. 6, а) «Закон Ома». Тому для формування математичної моделі закону Ома в його структурно-функціональному записі аналогового логіко-динамічного процесу перетворення вхідного аргументу U_{ax} потрібно об'єднати аналітичні вирази, представлені на рис. 5 і рис. 9, в загальну функціональну структуру, що представлена на рис. 10.

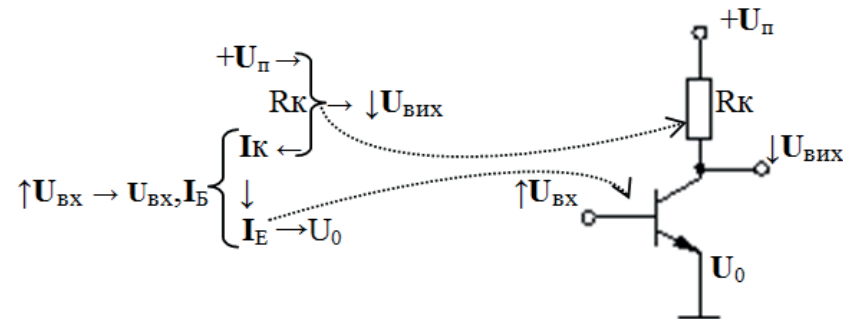


Рис. 10. Відповідність між аналітичною моделлю та її схемною реалізацією

На рис. 10 позначено $\uparrow U_{ax}$ — вхідний аргумент напруги, а $\downarrow U_{вих}$ — перетворений аргумент напруги.

З аналізу графоаналітичного виразу на рис. 10 випливає, що аналітична форма запису і схемна реалізація транзисторного підсилювача по суті повністю еквівалентні і є процесом перетворення вхідного аргументу $\uparrow U_{ax}$ з невеликим рівнем аналогового сигналу в результуючий вихідний аргумент $\downarrow U_{вих}$ зі збільшеним рівнем аналогового сигналу, в основі якого лежить напівпровідникова функція $f(I_B, I_K \rightarrow I_E)$. З аналізу так само випливає, що, з одного боку, будь-який аналоговий логіко-динамічний процес перетворення аргументів, сформований на рівні принципової схеми, може бути записаний у вигляді математичної моделі на аналітичному рівні. З іншого боку, поєднуючи наведені вирази в графоаналітичній структурі (рис. 11), можна стверджувати, що математична модель аналогового логіко-динамічного процесу перетворення аргументів на структурно-функціональному рівні і в її схемній реалізації повністю еквівалентна закону Ома.

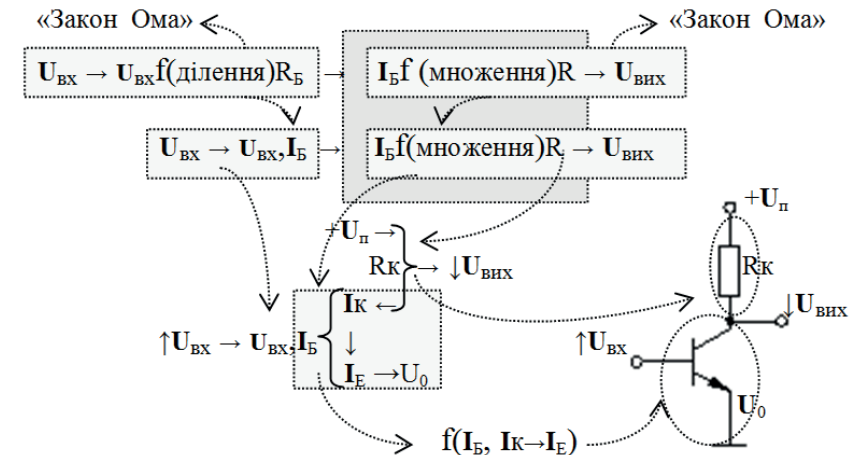


Рис. 11. Математична модель аналогового логіко-динамічного процесу перетворення аргументів на структурно-функціональному рівні

Функціональна напівпровідникова структура $f(I_B, I_K \rightarrow I_E)$ & $f(R)$ по суті виконує процедуру множення $f(\text{множення})$ вхідного аргументу струму $U_{ax} \rightarrow U_{ax}$, $I_B \rightarrow I_B$ з формуванням перетвореного аргументу напруги $U_{вих}$. При цьому особливістю аналітичної форми запису (рис. 11) є те, що в ній на рівні аргументів і функцій однозначно відображена логіка формування перетвореного аргументу $\downarrow U_{вих}$, і ця логіка записана між двома символами системи. Іншою особливістю

наведеної аналітичної форми запису є те, що для уточнення функціонального взаємозв'язку аргументів можна записати графоаналітичну структуру (рис. 12), яка вже на іншому рівні несе інформацію про взаємозалежну логіку перетворення аргументів.

Функціональна структура з резисторною функцією $f(R_K)$ у вихідному графоаналітичному виразі також може бути записана у відповідності до її алгебраїчних властивостей у вигляді послідовної функціональної структури $f(- -)$:

$$f(R_K) \rightarrow f(R_1 \& R_2).$$

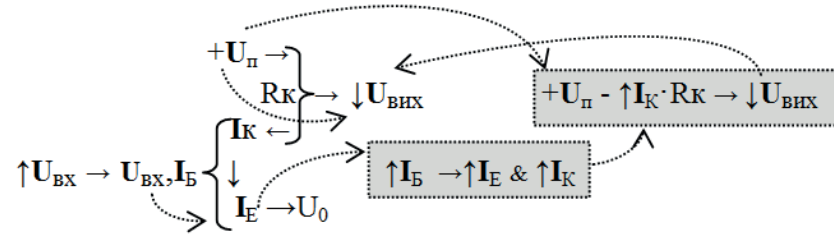


Рис. 12. Функціональний взаємозв'язок аргументів у моделі

Далі функціональна структура з резисторною функцією $f(R_2)$ може бути піддана перенесенню за своїм функціональним зв'язком, і сформовано корисну властивість в скоригованому виразі. В математичній моделі (рис. 12) можливе перенесення функціональної структури з резисторною функцією $f(R_2)$ за функціональними зв'язками структури напівпровідникової функції $f(I_K, I_E)$, і ця процедура може бути записана у вигляді графоаналітичної структури, представленої на рис. 13.

З аналізу наведених графоаналітичних моделей систем структурно-функціонального перетворення сигналів в електронних системах випливає, що при синтезі математичних моделей логіко-динамічних процесів перетворення входних аргументів була виконана процедура додаткового введення функціональних структур, що не приводять до нееквівалентного процесу перетворення. Але таке введення додаткових функціональних структур істотно розширило як функціональний зміст логіко-динамічного процесу перетворення аргументів, так і структурно-функціональні можливості при синтезі конкретної математичної моделі. При цьому слід зазначити, що для формування корисної властивості системи функціональні структури повинні бути переміщені за своїми функціональними зв'язками.

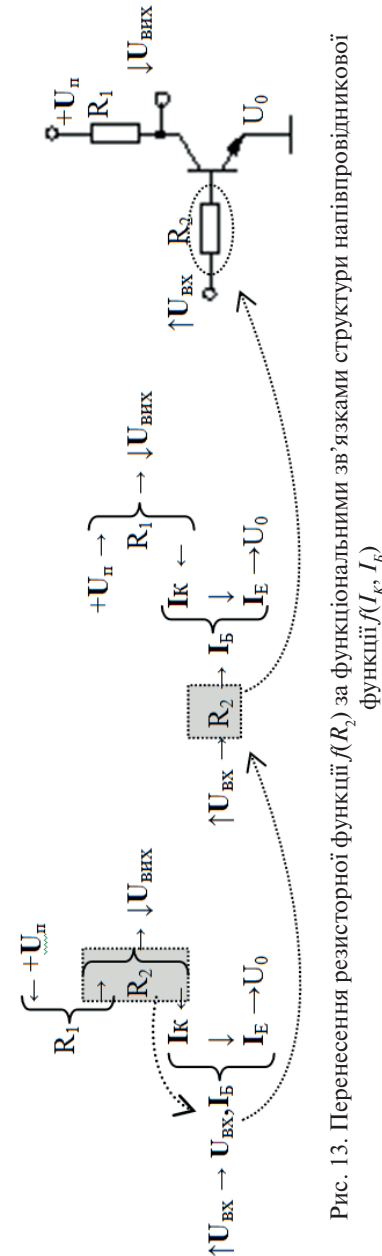


Рис. 13. Перенесення резисторної функції $f(R_2)$ за функціональними зв'язками структури напівпровідникової функції $f(I_K, I_E)$

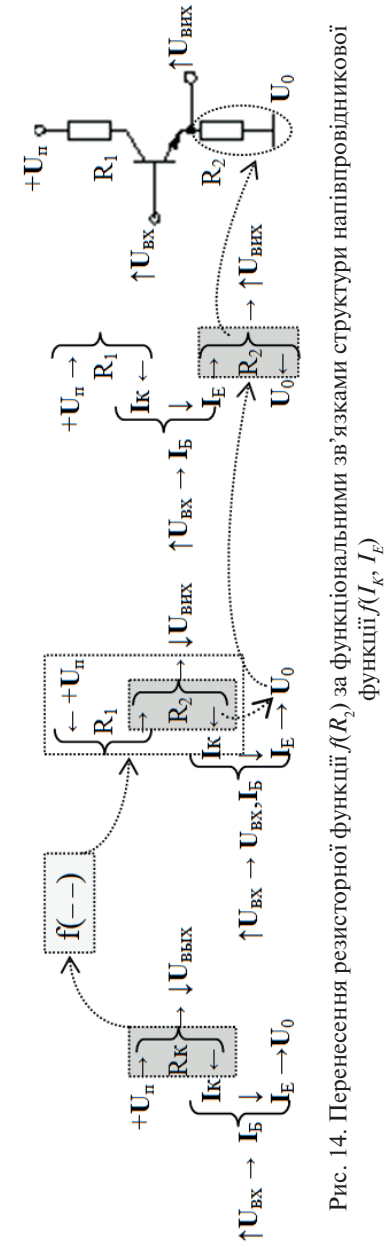


Рис. 14. Перенесення резисторної функції $f(R_2)$ за функціональними зв'язками структури напівпровідникової функції $f(I_K, I_E)$

Процедура перенесення тільки резисторної функції $f(R_2)$ за функціональними зв'язками структури напівпровідникової функції $f(I_K, I_E)$ представлена на рис. 14.

З аналізу наведених на рис. 14 графоаналітичних структур випливає, що процедура їх перенесення по суті еквівалентна тим діям, які виконуються при перетворенні структури алгебраїчних виразів. При цьому слід зазначити, що в даній ситуації перенесення є як повним, так і неповним, оскільки один з функціональних зв'язків резисторної функції $f(R_2)$ за допомогою напівпровідникової функції $f(I_K, I_E)$ є функціональним зв'язком резисторної функції $f(R_1)$.

На рис. 15 представлено один з можливих варіантів реалізації інтерфейсу програмних засобів розрахунку та аналізу транзисторного підсилювача з загальним емітером.

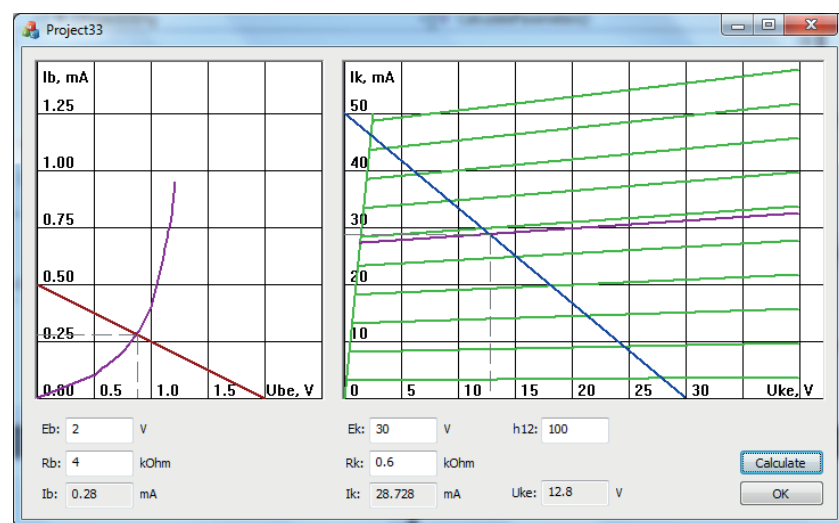


Рис. 15. Інтерфейс програмних засобів розрахунку та аналізу транзисторного підсилювача

Розвиток інформаційних технологій та їх тісна інтеграція з електронікою дозволили реалізувати завдання проектування та аналізу систем на якісно новому рівні, з використанням програмних засобів, що мають графічний інтерфейс користувача. Графічний інтерфейс програмних засобів для параметричного аналізу електронних систем — це інструмент, покликаний полегшити організацію дослі-

джень, розуміння отриманих результатів аналізу та їх передавання для використання в зовнішніх додатках (Matlab, Mathcad та ін.). Саме розробка такого інструментарію є кінцевим результатом виконання представлених результатів роботи.

Висновки. В результаті роботи отримано такі результати:

- на основі проведеного аналізу класичних методів формування математичних моделей електронних кіл встановлено, що вони мають резерви для вдосконалення в частині формування математичних моделей елементів аналогових електронних кіл, в основі яких лежать функціональні структури операційного підсилювача, $n-p-n$ та $p-n-p$ структур;
- розроблено функціональні структури резисторної функції $f(R)$, напівпровідникових функцій $f(n-p-n)$ і $f(p-n-p)$, які представлені у вигляді графоаналітичних виразів та містять інформацію про процеси перетворення сигналів, що в них відбуваються;
- розроблено інструментальні засоби у вигляді програмного забезпечення для автоматизації процесів параметричного аналізу електронних кіл, які було реалізовано з використанням об'єктно-орієнтованої мови програмування C++. Програмне забезпечення має інтуїтивно зрозумілий для користувача інтерфейс та відносно просте у використанні в порівнянні з відомими середовищами моделювання електронних систем, що виражається в необхідності задання мінімального набору значень для виконання параметричного аналізу електронного кола.

Нами було вдосконалено метод побудови математичних моделей компонентів електронних кіл для їх представлення в графоаналітичному вигляді з підвищеним інформаційним змістом, що дозволило виконати інтеграцію моделей компонентів з об'єктно-орієнтованою мовою програмування у вигляді функціональних структур, та спростити програмну реалізацію методів параметричного аналізу електронних кіл для оцінки впливу зовнішніх факторів на характеристики системи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонований підхід до аналізу електронних кіл з використанням інформаційних технологій, з одного боку, дозволяє більш глибоко розуміти процеси перетворення сигналів, що відбуваються в електронних системах, а з іншого — сприяє системному формуванню професійної підготовки фахівців, при якій вони будуть мати у своєму розпорядженні систему знань та вмінь в актуальних для них областях електроніки та інформаційних технологій, які в сучасному світі нерозривно

пов'язані. Крім того, розроблене програмне забезпечення представляє собою інструментальні засоби, які можуть бути корисні інженеру з електроніки для виконання розрахунків та аналізу на етапі проектування і виробництва електронних систем різного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобало Ю. Я., Желяк Р. І., Кіселичник М. Д., Колодій З. О., Мандзій Б. А., Якубенко В. М. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл. Львів: Вид-тво Львівської політехніки, 2013.
2. Рябенський В. М., Ушкаренко А. О. Метод синтезу математичних моделей логіко-динамічних процесів контролю та керування. *Технічна електродинаміка*. 2011. Тем. випуск, ч. 2. С. 121–125.
3. Рябенський В. М., Ушкаренко А. О. Метод структурного синтезу і аналізу моделей пристроїв автономної електроенергетики. *Технічна електродинаміка*. 2012. Тем. випуск, ч. 4. С. 130–133.
4. Рябенський В. М., Ушкаренко А. О. Аналитический метод описания интерфейса автоматизированного рабочего места оператора электроэнергетической системы. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014)*, Херсон, Україна, 27–29 травня. Херсон, 2014. С. 215–218.
5. Ушкаренко О. О. Засоби аналізу процесів перетворення інформації в системах управління. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*: матер. Міжнар. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ, Україна, 23–28 травня, 2016. Івано-Франківськ, 2016. С. 10–11.
6. Ушкаренко А. О. Формализация процедуры преобразования информационных аргументов в системах управления *Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації*: зб. наук. пр. XVI Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених і спеціалістів, Кременчук, Україна, 12–13 квітня, 2018. Кременчук, 2018. С. 71–72.
7. Al-Suod M. M., Ushkarenko A., Petrenko L. Analysis of logical-dynamic conversion processes in arithmetic devices of digital control systems. *Eastern European Journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6, no. 4(90). P. 28–34.
8. Кривуля Г. Ф., Рябенський В. М., Петренко Л. П. Методика формирования математической модели сумматора в формате тройной системы счисления. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. 2008. № 145. С. 121–133.
9. Parveen H., Moyal V. Parametric analysis of DFAL based dynamic comparator. *ICTACT Journal on Microelectronics*. 2017. Vol. 3. P. 354–358.
10. Singh B., Singh M., Roy S. K. Mathematical Modeling of Electronic Devices and Circuits. *AIP Conference Proceedings*. 2010. 1324. P. 65–69.
11. Carter B., Brown Th. R. Handbook of Operational Amplifier Applications. Texas Instruments: Application Report, 2016. 94 p.

МЕТОД ІМПУТАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ ЙМОВІРНІСНИХ ПРОДУКЦІЙНИХ ПРАВИЛ

Шаховська Н. Б.

Метою роботи є покращення відновлення відсутніх даних через ймовірнісні виробничі залежності. Новизна запропонованого методу обчислення відсутніх даних полягає в обробці структурованих та напівструктурованих даних на основі ієрархії об'єктів, а також набору функціональних залежностей та розробки правил асоціації. Ця проблема дуже важлива для інтерфейсів великих даних, оскільки більша частина інформації доступна в напівструктурованому вигляді. Запропонований алгоритм створює додаткові значення даних за допомогою доменних та функціональних залежностей на основі декількох методів обчислення та додає ці значення до наявних навчальних даних. Правильність обчислених значень перевіряється на класифікаторі, побудованому на вихідному наборі даних. Проведено порівняння методів аналізу та моделювання статистичних процесів за якісними критеріями.

The aim of the work is to improve the recovery of missing data through probabilistic production dependencies. The novelty of the proposed method for imputation of missing data is to process the structured and semistructured data based on the hierarchy of the objects as well as the ensemble of functional dependencies and association rules development. This issue is very important for Big data interfaces because the most of information is available in semistructured form. The proposed algorithm creates additional data values using domain based and functional dependencies based on multiple imputation methods and adds these values in available training data. The correctness of the imputed values is verified on the classifier built on the original dataset. A comparison of the methods of analysis and modeling of statistical processes by qualitative criteria is made.

Відсутні значення викликають серйозні проблеми при аналізі даних. Різні алгоритми аналізу даних вимагають матриці показників без прогалів. Імпутація відсутнього значення є важливою річчю для рішення IoT, а також для аналізу та попередньої обробки великих даних. Наприклад, для підтримки медичних рішень нам потрібно визначити фізичні та психоемоційні характеристики пацієнта, а також показники навколишнього середовища (температура повітря в приміщенні та на вулиці, вологість, тиск тощо). Інший приклад — платформа розумного міста, яка складається з інформації про місцезнаходження транспорту, рівень CO₂, споживання енергії, а також інформацію про параметри здоров'я громадян. Більше того, колосальний ріст датчиків та їх придбання, збір та зберігання викликають нові проблеми з

відсутніми даними. Окрім відсутніх значень, як і будь-який метод аналізу даних, потрібно розуміння їх природи. Ключовим питанням при аналізі неповних даних є механізм прогалин у них.

Метою роботи є покращення відновлення відсутніх даних за допомогою імовірнісної продукційної залежності.

Група методів усунення пропусків містить два типи методів, пов'язаних із використанням деяких моделей, а саме немодельні або модельні підходи. Що стосується кількості значень, які є результатом використання методів імпутизації, існують підходи, засновані на методах одноразової імпутизації та методах множинної імпутизації [1]. Алгоритми одноразового заповнення дають єдиний повний набір даних, де кожен простір замінюється значенням. Перевагами цього підходу є використання методів повного аналізу даних на наступних етапах обробки та скорочення роботи для заповнення кожної прогалини. Алгоритми багаторазового заповнення генерують кілька повних наборів даних, які аналізуються окремо і отримані результати об'єднуються. Це дозволяє використовувати методи повного аналізу даних на наступних етапах обробки даних та забезпечує покращені оцінки, а також мінімізує стандартні помилки. Однак ці методи вимагають багато ресурсів для створення наборів даних і потребують більше часу для проведення аналізу, а також додаткової пам'яті для зберігання результатів [2].

Найбільшою проблемою методів, проаналізованих вище, є обробка структурованих даних, але насправді напівструктуровані та неструктуровані дані домінують у реальних ситуаціях [3]. Крім того, дуже важливо проаналізувати приховані залежності, а також врахувати характер набору даних та передбачити відсутність даних для кожного джерела окремо. Ось чому парадигма великих даних використовується для попередньої обробки інформації з різних джерел, що складається з безперервних числових даних та категоріальних даних. Тим не менше, природа пропусків у різних джерелах даних теж різна. Отже, основною ідеєю є аналіз даних з різних джерел на основі специфіки та природи цих джерел.

Правила асоціації та генерація правил широко використовуються, і вони стикаються з багатьма проблемами, головним з яких є наявність великих даних та багатовимірних наборів даних [3]. Однопроцесорні системи з нормальною швидкістю процесора не можуть впоратися з такими великими даними, що робить алгоритм неефективним для використання. В останніх розробках зростання мережевих технологій та особливо хмарних платформ дало нові ідеї щодо генерації

мультитрибутих правил, використовуючи паралельне середовище, таке як Hadoop [4]. MapReduce був популярним і більше використовувався для обчислення великої кількості даних з тих пір, як компанія Google його запустила на своїй платформі. Розподілена файлова система Google (GFS) та веб-служба Amazon (AWS) використовують платформу Hadoop та MapReduce для надання своїх послуг.

У випадку генерації асоціативних правил в MapReduce Mapper відповідає за завдання отримати різні комбінації елементів як «ключ», а «значення» використовується для відстеження кількості входів або підрахунку підтримки. Задачею редуктора є зменшити отриманий від Mapper набір для кожного ключового значення та обчислити остаточну підтримку для всіх наборів даних кандидатів.

Таким чином, асоціативні правила можуть бути створені з максимальною підтримкою та впевненістю.

Алгоритм Apriori має великі проблеми з великими обсягами Big Data, оскільки він сканує всю базу даних кілька разів. Це означає, що час виконання збільшується відповідно до кількості транзакцій. У нашому дослідженні ми використовували Spark та ієрархічний метод формування правил для покращення алгоритму Apriori.

Введемо поняття асоціативної залежності. Шукатимемо залежність на відношенні r . Це відношення може бути сформоване як для реляційних джерел даних, так і для нереляційних (NoSQL) шляхом формування пари значень — назви об'єкта та його характеристик. Для різних об'єктів кількість характеристик може бути різною. У такому випадку відношення r формуватиметься як $CROSS(r)$. Далі по тексту вживатимемо тільки позначення r .

Асоціативна залежність (АЗ) — це продукційне правило в селекції відношення r , яке справджується для значущої кількості об'єктів цієї селекції. Поріг значущості залежності повинен визначатись експертним шляхом, або виходячи з розрахунків імовірності помилкового виділення цієї залежності.

$$\begin{aligned} F_I(S;T):(s;t) &= (r_s(R);r_t(R)), \\ i &= \overline{1..n_s}, \forall i: A_i \in R, \\ j &= \overline{1..n_t}, \forall j: A_j \in R, \\ s &= r_s(R) = \sigma_{s(\{A_i\})}(r(R)), \\ t &= r_t(R) = \sigma_{t(\{A_j\})}(s), \end{aligned} \quad (1)$$

де S, T — предикати селекції умовної та результуючої частини відповідно, s, t — результати операцій селекції за цими предикатами з основного відношення. Позначення $s(\{A_i\})$ означає, що предикат використовує множину атрибутів $\{A_i\}$.

Аналіз великих обсягів даних вимагає виявлення груп атрибутів, які утворюють функціональні залежності (FD). Однак у реальному світі набори даних набагато частіше, важливі залежності визначаються лише на підмножині значень групи ключових атрибутів. Більше того, залежності можуть з'являтися не лише для кортежів у реляційних джерелах даних, але і між різними частинами різних кортежів. Ми будемо називати їх імовірнісною продукційною залежністю (PPD).

Імовірнісна продукційна залежність — це правило продукції при виборі основного співвідношення, яке діє для значної кількості суб'єктів у цьому відборі. Поріг значущості повинен визначатися експертно або на основі розрахунків ймовірності помилкового вибору цієї залежності. Основна відмінність асоціативних правил від PPD полягає в тому, що PPD генерується із існуючих FD у наборі даних.

Основними параметрами традиційних асоціативних правил є рівень довіри та рівень підтримки.

Рівень довіри — відношення кількості об'єктів, для яких має місце така АЗ до кількості об'єктів в селекції:

$$Conf(S \rightarrow T) = P(S \rightarrow T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|\sigma_S(r)|}. \quad (2)$$

Рівень підтримки — характеристика предиката селекції на відношенні, що обчислюється як відношення кількості об'єктів, які задовольняють предикат P , до загальної кількості об'єктів у відношенні:

$$Supp(P) = \frac{|\sigma_P(r)|}{|r|}. \quad (3)$$

У випадку обчислення рівня підтримки для АЗ умовний та результуючий предикат залежності об'єднуються знаком кон'юнкції:

$$Supp(S \rightarrow T) = Supp(S \wedge T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|r|}. \quad (4)$$

З використанням цього поняття рівень довіри можна обчислити як

$$Conf(S \rightarrow T) = \frac{Supp(S \rightarrow T)}{Supp(S)}. \quad (5)$$

Рівень покращення обчислюється як відношення рівнів довіри та підтримки АЗ:

$$Imp(S \rightarrow T) = \frac{Conf(S \rightarrow T)}{Supp(T)} = \frac{Supp(S \wedge T)}{Supp(S) \cdot Supp(T)}.$$

Рівень підтримки та рівень покращення є «симетричними», тобто $Supp(X \rightarrow Y) = Supp(Y \rightarrow X)$ та $Imp(X \rightarrow Y) = Imp(Y \rightarrow X)$. Те ж справедливо й для повної взаємної інформації. Рівень довіри є «направленим» параметром, тобто $Conf(X \rightarrow Y) \neq Conf(Y \rightarrow X)$. Цим пояснюється непряма залежність інформативності від рівня довіри.

Метод пошуку ймовірнісної продукційної залежності

Побудуємо метод пошуку PPD.

Вхідні дані

1. Відношення $CROSS(r)$, схема R визначена лише на аналізованій селекції.

2. Хеш-функції для кожного атрибуту відношення R : $h_j(A_j)$.

3. Порогове значення рівня довіри залежностей, що шукаються — p_0 . Замість даного параметра рівноцінно може використовуватись кількість кортежів, на яких повинна бути визначена шукана залежність — $\min Support$.

4. Порогове значення рівня довіри залежностей, що враховуються при утворенні нових залежностей — p^* .

Вихідні дані

Множина асоціативних залежностей, що відповідає вказаним критеріям: $\{S_i \rightarrow T_i\}, \forall i: Conf(S_i \rightarrow T_i) \geq p_0$

I етап. Аналіз вхідних даних.

1. Створити дерево хеш-таблиць статистики значень атрибутів відношення. Хеш-таблиця кожного атрибуту A_j міститиме відповідність значень цього атрибуту структурі (кількість повторів значення; масив описів умовних значень інших атрибутів). Опис умовних значень — хеш-таблиця значень атрибуту A_k та кількості їх повторень на множині кортежів $X = R_{A_j=x_j[A_j]}$.

Вершини парних рівнів дерева розгалужуються по імені атрибуту, на який здійснюється проекція; непарних рівнів — значення атрибуту батьківської вершини.

Хеш-таблиці непарних рівнів дерева використовують наперед задані хеш-функції $h_j(A_j)$; для парних рівнів використовується внутрішня хеш-функція порівняння атрибутів на рівність.

2. Заповнити структуру, описану в п.1. Заповнюється не все дерево, а лише гілки, що відповідають наперед заданим критеріям якості залежностей. Додаткове уточнення статистики можливе, використовуючи принцип відкладених обчислень:

- Для кожного кортежу $x \in r(R)$.
- Ініціалізувати поточну вершину дерева статистики v коренем дерева: $v = a$.
- Ініціалізувати $startAttr = 0$ — номер атрибуту, з якого починати розгалуження дерева.
- Для кожного атрибуту $A_j \in R, j \geq startAttr$.
- Якщо не існує гілка дерева статистики $v[j][x[A_j]]$.
- Створити вершини $v[j]$ та $v[j][x[A_j]]$.
- Ініціалізувати атрибути $v[j][x[A_j]].count = 0$.
 $v[j][x[A_j]].childs = \emptyset$,
 $v[j][x[A_j]].nextAttrId = startAttr + 1$,
 Якщо $v.count > splitThreshold$.
- Рекурсивно перейти до кроку 2d.

Таким чином, у структурі даних a містяться елементарні залежності виду $A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k]$, а також забезпечується можливість обчислення кількості кортежів довільних проекцій $\left| \sigma_{A_1=v_1 \wedge A_2=v_2 \wedge \dots \wedge A_j=v_j}(r) \right|$.

3. Оголосити список залежностей $z[l]\{S: set; T: set; NS: N; NT: N\}$. Кожна залежність представляє собою структуру з атрибутами: S — множина значень атрибутів умовної частини залежності, на яких вона визначена; T — множина значень атрибутів результуючої частини залежності, на яких вона визначена; NS — кількість кортежів, для яких залежність справджується; NT — кількість кортежів, для яких виконується умовна частина залежності.

4. Заповнити список Z залежностями

$Conf(A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k]) \geq p_0$ проходженням по структурі даних a .

II етап. Агрегування залежностей.

- Скопіювати список Z в окремий список залежностей $Aggr$.
- Оголосити хеш-таблицю h_{aggr} множин значень результуючих частин КАЗ. Це дасть змогу ефективно шукати АЗ, з якими можна агрегувати кожну конкретну залежність d_{aggr} .

- Для кожної залежності $z_i \in Aggr$.
 - Для кожної залежності.
 - Утворити залежність $z_3 = z_1 + z_2$.
 - Якщо $Conf(z_3) \geq p^*$, додати z_3 в кінець списку $Aggr$ для подальшого агрегування з іншими залежностями.
 - Занести залежність z_i у хеш-таблицю h_{aggr} з ключем $h(z_i[PrT])$.
- ### III етап. Побудова АЗ.

- Оголосити список залежностей y .
- Ініціалізувати $Y = Aggr$.
- Оголосити хеш-таблицю результуючих частин предикатів pr для ефективного пошуку множини залежностей, що мають однакову результуючу частину предикату.
- Для кожної залежності $F_i \in Y$ занести АЗ F_i у відповідний список хеш-таблиці: $pr[h(F_i[PrT])]$.

Побудований алгоритм пошуку асоціативних залежностей дає змогу проводити ефективний аналіз однотипних даних на наявність АЗ, сумарна складність якого по часу складає

$$t = O\left(\minSupport \cdot \left(\frac{n}{\minSupport}\right)^{1-\log_{avgD}(m)} + \frac{Z_{el}^2}{m \cdot D(A)} + \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)}\right) =$$

$$= O\left(\minSupport \cdot \left(\frac{n}{\minSupport}\right)^{1-\log_{avgD}(m)} + \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)}\right).$$

Складність алгоритму по пам'яті дорівнює

$$M = O(M_{stat} + M_{aggr} + M_{ma}) =$$

$$= O\left(\left(\frac{n}{\minSupport}\right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{aggr} \cdot sz_{aggr} + Z_{ma} \cdot sz_{ma}\right) =$$

$$= O\left(\left(\frac{n}{\minSupport}\right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{ma} \cdot sz_{ma}\right).$$

Друга компонента суми домінується третьою як у випадку часу аналізу, так і для використаної пам'яті. Порівнювати ж перший і третій члени суми неможливо в загальному випадку: їхній розмір порізному залежить від обсягу даних та структури даних.

Низька асимптотична складність розробленого алгоритму та широкий набір типів даних, що підтримуються для аналізу, дають змогу застосовувати розроблений алгоритм практично у всіх предметних галузях, що працюють із асоціативними залежностями в даних.

Результат аналізу подано на рис. 1.

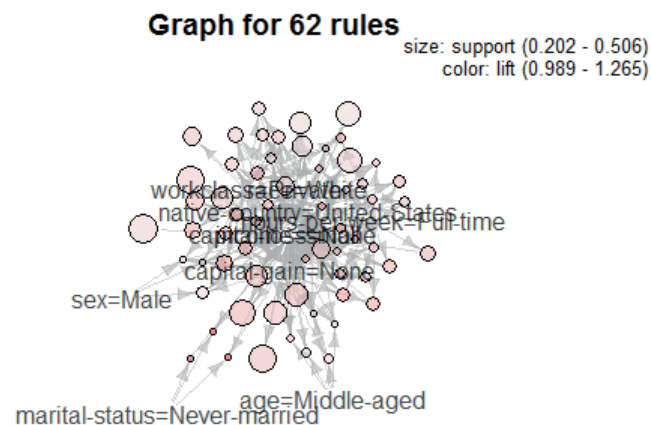


Рис. 1. Візуалізація знайдених PPD

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hahsler M., Buchta C., Грэн В., Hornik K. Mining Association Rules and Frequent Itemsets. R package version 1.0–3, 2010. Available: <http://CRAN.R-project.org/>
2. Berzal F. et al. A new framework to assess association rules. *Advances in Intelligent Data Analysis*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2001. P. 95–104.
3. Ньллермеєр E. Association rules for expressing gradual dependencies. *Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2002. P. 200–211.
4. Srivastava H., Kumar V., Shiwani S. An efficient enhancement of mining top-K association rule. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2014. Vol. 4, issue 6.
5. Шаховська Н., Камінський Р., Засоба Є. О. Метод пошуку асоціативних залежностей у великих даних. Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі: матер. 9-ї наук.-практ. конф. Львів: Вид-во Наук. т-тва ім. Шевченка, 2017. С. 193–198.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗНАЬ ДЛЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПРИ КЕРУВАННІ ПРОЦЕСОМ РЕГЕНЕРАЦІЇ МАСТИЛ

Ярошук Л. Д., Тюріна Є. О.

Проаналізовано виробництво з очищення оливних та мастильних матеріалів у режимах виникнення різноманітних аварійних та передаварійних ситуацій. Кожна з таких ситуацій має свої ознаки, причини та наслідки. Вихід з аварійного стану повинен бути швидким, для чого заздалегідь розробляють спеціальні алгоритми. Запропоновано такі алгоритми створити на основі досвіду практичної діяльності фахівців і реалізувати їх засобами експертної системи, яка буде функціонувати в складі автоматизованої системи керування.

Експертна система призначена для діагностування причин аварійних ситуацій та передбачення нових порушень. Розглянуті питання отримання знань від фахівців, пов'язані з умовами виробництва та поданням цих знань у формальному вигляді.

Описано структуру інформації, яку доцільно використовувати для описування експертів стосовно фактів аварійних ситуацій, наведено приклади фактів, побудовано граф аварійних ситуацій та описано принципи його використання для діагностування та прогнозування аварій. Наведено приклад програмної реалізації експертної системи.

The production of oil and grease purification is analyzed in the modes of various emergency and pre-emergency situations. Each of these situations has its own signs, causes and consequences. Exit from the emergency state must be fast, for which special algorithms are developed in advance. It is offered to create such algorithms on the basis of practical activity experience of experts and to implement them by expert system means, that will function as a part of the automated control system.

The expert system is designed to diagnose the causes of emergencies and predict new violations. There are considered issues of obtaining knowledge from specialists related to production conditions and presenting this knowledge in a formal shape.

The structure of information that should be used to interview experts about the facts of emergencies is described, examples of facts are given, a graph of emergencies is constructed and the principles of its use for diagnosing and predicting accidents are described. It is given an example of the expert system software implementation.

Нафтові оливні та мастильні матеріали широко використовують у різних сферах промисловості, цінність цих матеріалів та зростання обсягів споживання викликають необхідність їх відновлення. Всі автоматизовані комплекси з регенерації олив або мастил (ОМ) можуть знаходитися як у стані нормальної експлуатації, так і в аварійному або передаварійному станах. До двох останніх можна віднести, зокрема,

невідповідність показників якості відновлюваних матеріалів та над-нормоване виділення в довкілля шкідливих речовин (до них належать вибухонебезпечні та отруйні, серед яких також є канцерогенні) [1]. Створення алгоритмічних та програмних засобів діагностування причин аварійних ситуацій та запобігання їм є актуальною задачею. Експертні системи (ЕС), які вдало використовують в автоматизованих системах керування для нетривіальних ситуацій, будуть корисними і для розв'язування зазначених задач. Основною складністю при розробленні цих систем є отримання та формалізація знань експертів.

Проблемам і задачам створення ЕС присвячено численні дослідження. Так, у [2; 3] автори розглянули загальні принципи та підходи до створення систем на основі бази знань фахівців різних галузей. У праці [4] запропоновано алгоритми та етапи створення ЕС. У [5–7] описано різні підходи до проектування інтелектуальних систем, виконано порівняння їх ефективності в застосуванні, запропоновано методи програмної реалізації створених систем.

У [8] автори на основі бази знань створили інтелектуальну систему, яка імітує модель мислення людини. В [9] запропоновано ЕС геолого-економічного оцінювання перспективності нафтових родовищ в умовах невизначеності та ризиків, яка сприятиме зменшенню виробничих витрат на освоєння родовищ. У випадку адсорбційного очищення олив або мастил необхідно забезпечити не лише раціональне використання ресурсів, але й, з огляду на специфіку виробництва, передбачити та звести до мінімуму ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Метою дослідження є створення бази знань для ЕС, призначеної для діагностування причин та прогнозування наслідків аварійних ситуацій при адсорбційному очищенні олив та мастил [10].

Розглянемо ту частину виробництва, яка відображає процеси підготовки забрудненої сировини (ОМ), адсорбцію (безпосередньо очищення оливи або мастила) та відновлення адсорбенту. На рис. 1 наведено відповідну структурно-параметричну схему.

Розглянемо етап підготовки сировини та адсорбцію. На вхід діафрагмового змішувача *DM* надходять забруднена сировина *RM* і розчинник *SOL1*, який використовують для зменшення в'язкості *RM*. Отриману суміш *M1* охолоджують у холодильнику *R1* до температури адсорбції за допомогою води *W1*, яку подають через змішувачі. В адсорбер *A* одночасно протікає адсорбент *A1* (з проміжного бункера *B1*) й охолоджену суміш сировини та розчинника *M2*.

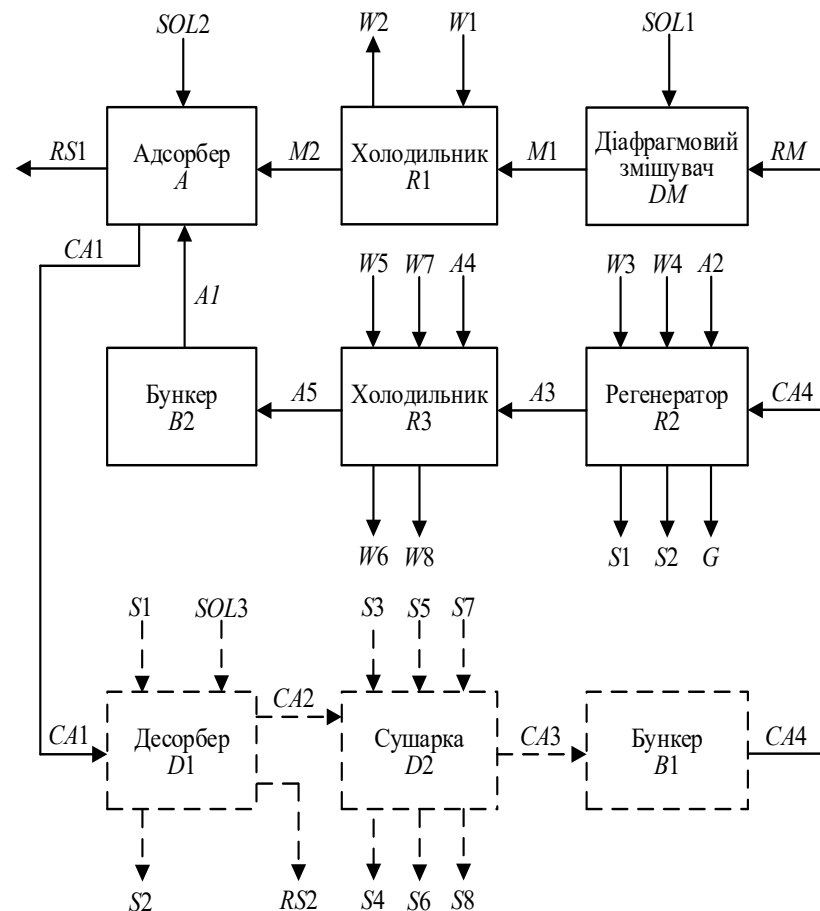


Рис. 1. Структурно-параметрична схема процесів підготовки сировини, адсорбції та відновлення адсорбенту: *RM* — забруднена сировина; *SOL1* — розчинник на вході в діафрагмовий змішувач; *SOL2* — розчинник на гідрозатвор; *M1* — суміш сировини й розчинника; *W1, W2* — вода на вході та виході з холодильника *R1* відповідно; *M2* — охолоджена суміш сировини й розчинника; *A1* — адсорбент; *CA1* — забруднений адсорбент; *RS1* — очищений продукт; *CA4* — адсорбент зі смолами та іншими домішками; *A2* — гаряче повітря; *W3, W4* — вода на охолодження корпусу регенератора; *S1, S2* — пара на виході зі змішувачів регенератора; *W5, W7* — вода на вході у змішувачі холодильника *R3*; *W6, W8* — вода на виході зі змішувачів холодильника *R3*; *A4* — повітря на створення киплячого шару у холодильнику *R3*; *A5* — охолоджений адсорбент

Адсорбент, насичений ароматичними вуглеводнями та смолами, виходить у вигляді суспензії через штуцер, який знаходиться в конічному днищі в нижній частині адсорбера. Для запобігання виносу сировини з суспензією через нижню частину адсорбера туди подають розчинник *SOL2* для створення гідрозатвору. Очищений продукт — розчин рафінату *RS1* — направляють у верхню частину адсорбера, а потім — на подальше відстоювання в емності (не показана). Забруднений адсорбент *CA1* надходить у технологічні ланки на відновлення.

Розглянемо етап відновлення адсорбенту. Адсорбент *CA1* після стадій десорбції (*D1*) та висушування (*D2*) (на схемі показано пунктирною лінією) направляють у регенератор *R2*, в якому випаюють смоли за допомогою гарячого повітря *A2*. Корпус регенератора оснащено змійовиками для його охолодження водою (потoki *W5*, *W7*). Димові гази (потік *G*) — суміш повітря з продуктами згоряння олив/мастил та смол — і пару (потoki *S1*, *S2*) використовують в інших ланках технологічного процесу. Відновлений адсорбент *A3* охолоджують до температури адсорбції водою у чотириступеневому холодильнику *R3* в киплячому шарі, який створює повітрям *A4*. Охолоджений адсорбент *A5* подають пневмотранспортом (на схемі не показано) у бункер *B2*, а далі — в адсорбер *A*.

Як впливає з опису навіть частини виробництва, складність апаратів та значна кількість матеріальних потоків пояснюють суттєву кількість факторів впливу на цю технологічну систему, які можуть стати причинами виникнення аварійних ситуацій. Сприяти цьому можуть, зокрема, вихід з ладу технічних засобів автоматизації (ТЗА) чи неспроможність операторів або автоматики утримати режимні параметри у припустимих межах. Відмова ТЗА призведе до прийняття хибних значень технологічних змінних як правдивих. У результаті описаних причин можливими стануть ситуації виходу значень технологічних змінних за припустимі границі, тобто порушення нормального режиму і перехід в аварійний (чи передаварійний) режим. Скоротити тривалість порушення дозволяє досвід фахівців цього виробництва, який дасть значний ефект, якщо буде реалізований програмно, зокрема як експертна система.

При створенні експертної системи для керування процесом відновлення олив та мастил передбачені такі етапи [10]: ідентифікація для визначення мети та особливостей керування процесом очищення; концептуалізація, яку використовують для визначення рівня деталізації процесу (кількість параметрів та зв'язків між ними);

придбання знань за допомогою організації експертиз із фахівцями з різних предметних областей; формалізація для подання отриманих знань з попереднього етапу у вигляді певних форм; реалізація в обраному програмному середовищі; тестування створеної програми на її відповідність поставленій задачі. Розглянемо ці етапи у застосуванні до технологічної системи, наведеної на рис. 1.

Етап ідентифікації. Метою застосування ЕС, як зазначено вище, є діагностування причин та прогнозування наслідків аварійних ситуацій у процесі адсорбційного очищення олив та мастил. Створення такої експертної системи, з огляду на багатофакторність процесу, вимагає значних зусиль для їх визначення та опису.

Розглянемо етап формалізації. База знань складається з фактів і правил [10]. Факти необхідні для опису ситуацій, які мають місце при порушеннях норм технологічного регламенту, а правила використовують як спосіб подання рекомендацій для усунення (запобігання) аварійних ситуацій. Зокрема фактом може бути вихід технологічної змінної (або співвідношення між значеннями змінних) за припустимий діапазон. Тому для того, щоб сформувати базу знань, необхідно визначити факти, пов'язані зі всіма можливими аварійними ситуаціями.

Адсорбція є складним процесом, на перебіг якого впливають як параметри технологічних режимів, так і властивості сировини й адсорбенту.

Основними факторами, що впливають на процес адсорбційного очищення оливних та мастильних матеріалів, є: температура процесу, властивості адсорбенту (фізико-хімічні, в тому числі структура частинок адсорбенту, ступінь його відновлення) та сировини (вміст важких ароматичних вуглеводнів, смол та сірчистих з'єднань).

Розглянемо процес з точки зору визначення набору фактів аварійності, пов'язаних з властивостями речовин.

Для забезпечення мінімальної концентрації вищевказаних небажаних речовин в оливі або мастилі, а також досягнення високих техніко-економічних показників виробництва, адсорбент повинен мати такі властивості:

1. високу стабільність — здатність зберігати достатньо високу активність після багаторазової регенерації (з цього виникають факти, пов'язані з якістю продукції, в тому числі «Вміст ароматичних вуглеводнів > 20 %», «Вміст сірки > 0,5 %», «Вміст смол > 3 %»);
2. високу механічну міцність на стискання та зношування: адсорбенти не повинні кришитися і розбухати при насиченні водою,

оскільки в іншому випадку виникає різке збільшення перепаду тиску в системі (з цього виникають, зокрема, такі факти як «Вологовміст адсорбенту $> \omega_1$ », «Вологовміст адсорбенту $< \omega_2$ », де ω_1, ω_2 — значення вологовмісту, які залежать від типу і властивостей адсорбенту);

3. адсорбент повинен не тільки володіти високою здатністю поглинання, а й мати високу швидкість адсорбції, що дозволяє пропускати сировину з високою швидкістю і, отже, використовувати невеликі компактні установки (з цього виникають, у тому числі, такі факти як «Швидкість адсорбції $> V_1$ », «Швидкість адсорбції $< V_2$ », де V_1, V_2 — параметри, що залежать від властивостей адсорбенту).

Для підвищення ефективності процесу очищення олив і мастил необхідно також підтримувати задану температуру адсорбції зміною витрати води в холодильнику та регулювати перепад тиску в адсорбері в нижній і верхній частинах колони витратою адсорбенту.

Оскільки основними джерелами інформації для ЕС є спеціалісти відповідної галузі діяльності та публікації, то сама ця інформація може перебувати у вигляді текстів, графіків, формул і міркувань під час опитування. Для використання у програмному засобі, яким є ЕС, треба розробити форми, в які вкладати отриману інформацію. Для того, щоб не втрачати інформацію та легко її перевіряти на достовірність, несуперечливість і повноту, автори пропонують використати таблиці, стовпцями яких будуть атрибути кожної властивості кожного матеріального потоку речовин усередині кожного апарату та потрібних співвідношень між властивостями потоків (якщо це буде вказано фахівцями).

Для побудови ланцюгів залежних фактів аварійних ситуацій доцільно об'єднати ці факти у продукційні правила «Якщо стався факт А, то станеться факт Б». Цьому сприяє введення атрибуту «Наслідок порушення А».

При діагностуванні причин порушень для оперативного персоналу стають у нагоді також відомості про апріорні ймовірності появи порушення. Такі ймовірності можуть бути надані з виробничої документації про аварії, а також оціночно — фахівцями (на основі власного досвіду). Ймовірності пов'язують факти — порушення з фактами — причинами порушення та фактами — наслідками порушення.

Судячи з переліку інформації, яка буде потрібна при розробці ЕС діагностувального типу для виробничих процесів, можна зробити висновок, що кінцеву базу знань доцільно подати в табличному вигляді, тобто описати кожну технологічну змінну за одним і тим самим пере-

ліком атрибутів [10]. Тоді будь-яка форма подання первинної інформації буде трансформована в задану структуру даних, порожні поля атрибутів підкажуть, які дані ще треба з'ясувати.

При створенні таблиці треба дбати про те, щоб жодна інформація не була втрачена і не відбувалося плутанини з властивостями речовин (матеріальних потоків чи середовищ усередині апаратів), які мають однакову назву, але належать різним етапам виробництва (наприклад, адсорбент знаходиться у різних частинах процесу очищення). Обов'язково в таблицю вводять дані про властивості речовин, зазначені в нормативних документах.

Для цього серед атрибутів доцільно вказувати так звані координати джерела інформації — наводити ідентифікатори кожного апарату (при потребі місця отримання даних усередині апарату) та ідентифікатори апаратів, між яким рухається матеріальний потік.

Для відбору властивостей речовин, за якими слід спостерігати як за «прапорцями» порушень, запропоновано в набір атрибутів вводити відомості про те, чи цю властивість наразі вимірюють автоматично (неперервно або періодично) або лабораторними методами.

Наведемо опис фрагменту такого способу подання інформації. Розглянемо технологічну змінну «вміст ароматичних вуглеводнів на виході з адсорбера». Позначимо її ідентифікатором C_{AH2} , а відповідний матеріальний потік — $RS1$ (рис. 1), визначимо місце входу потоку через попередній апарат (адсорбер А) та наступний (ємність), місце спостереження — трубопровід, одиниці вимірювання у відсотковому співвідношенні, спосіб вимірювання — автоматичний, періодичність — неперервний, припустимі границі — 15–20 %. Ця змінна є показником якості, пов'язані з нею показники — вміст смол C_{R2} та сірчистих з'єднань C_{S2} . Змінна C_{AH2} може бути причиною аварії, ознакою якої є високий вміст АН2. Таке порушення (аварія) може призвести до браку продукції, ймовірність якої наближається до 1. Схожий ланцюжок міркувань можна використати для кожної технологічної змінної.

До наслідків порушень, які можуть статися в системі підготовки сировини та адсорбції, належать, зокрема, брак продукції (визначений на етапі ідентифікації), «захливання» адсорбера, нераціональне використання енергоресурсів у зв'язку з розузгодженістю навантаження апаратів, втрата сировини з суспензією тощо.

Інформацію, закладену в таблицю, треба перевірити та узгодити групою експертів. Табличну форму, як носій інформації, легко запро-

грамувати, але перевіряти незручно. Для уникнення ситуації, коли навіть група фахівців може недоглядіти помилку, запропоновано подати інакше ту саму інформацію — у графічній формі.

На основі створеної бази знань побудовано семантичну мережу у вигляді графу аварійних ситуацій, які можуть виникнути під час очищення. Така мережа дозволяє діагностувати причину порушень і прогнозувати можливі майбутні аварії. Наведемо фрагмент графу на рис. 2 та зробимо опис його роботи (пунктирними лініями позначено інші можливі аварійні ситуації).

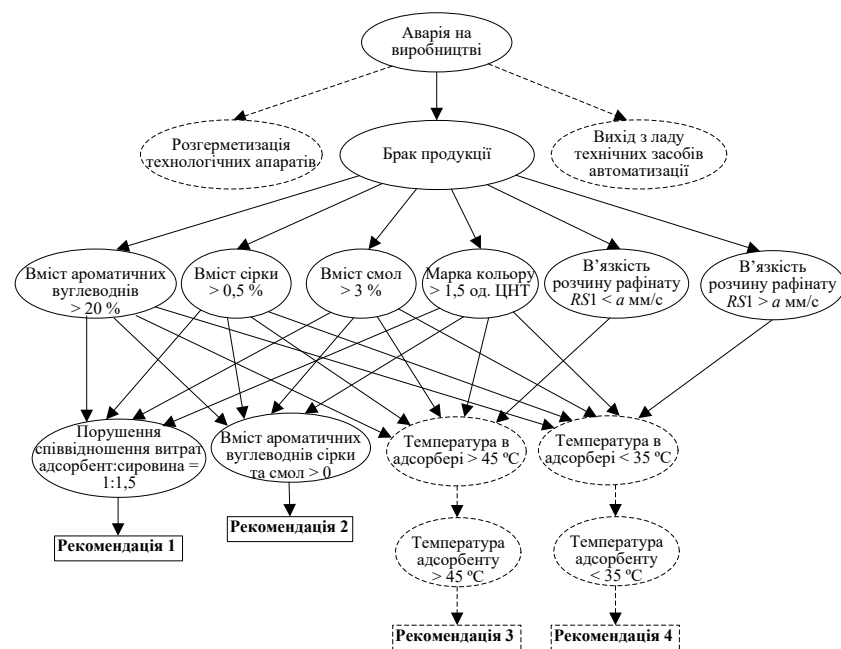


Рис. 2. Елемент графу аварійних ситуацій в адсорбері: a — параметр, який залежить від типу (властивостей) сировини, яку очищують; ЦНТ — колір темних нафтопродуктів

Якщо використовувати мережу, просуваючись згори вниз, то дуги (зв'язки) між аваріями (фактами) мають значення «може бути викликана(ний)», спрощено — «викликана(ний)». Так, «Аварія на виробництві» **викликана** появою «Браку продукції». Він, у свою чергу, **викликаний** тим, що «Вміст ароматичних вуглеводнів/сірки/смол/

марка кольору/в'язкість» вихідної продукції приймуть неприпустимі значення. І далі — «Вміст ароматичних вуглеводнів > 20 %» **викликаний** внаслідок «Порушення співвідношення витрат адсорбенту й сировини 1:1,5». На цьому ж рівні ієрархії наведені й інші факти, що пов'язані з низькою якістю продукції (зокрема «Температура в адсорбері < 35 °C» через те, що «Температура адсорбенту < 35 °C»). І, відповідно, до кожної аварійної ситуації надано рекомендації стосовно її усунення.

Якщо використовувати мережу, просуваючись схемою знизу нагору, то зв'язки мають значення «може призвести до», спрощено — «призведе до». Так, «Температура адсорбенту > 45 °C» призведе до того, що «Температура в адсорбері > 45 °C», і, відповідно, у вихідному продукті вміст ароматичних вуглеводнів/сірки/смол/марка кольору можуть перевищити припустимі значення, що, у свою чергу, призведе до браку продукції та, в результаті, до аварії на виробництві.

На основі семантичної мережі створено програму для діагностування та прогнозування можливих аварійних ситуацій на вказаному виробництві. Наведемо результати роботи програми в режимах діагностування (рис. 3) та прогнозування (рис. 4) для фрагменту графу (рис. 2).

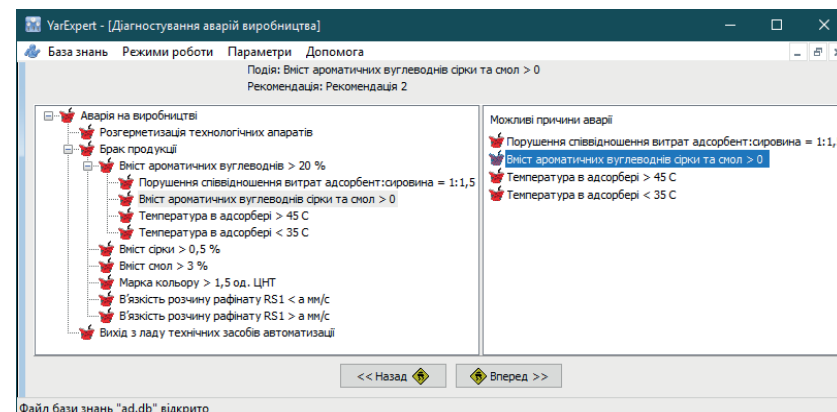


Рис. 3. Режим діагностування аварій виробництва з очищення оливо та мастил

У режимі діагностування програма працює так. Ліворуч відображені аварійні ситуації, праворуч — причини їх виникнення. Оператор має можливість вказати факт, що дійсно стався, і побачити лан-

цюжок фактів, які призвели до його появи. На рис. 3 наведена ланка з відображенням одного з можливих варіантів виникнення браку продукції.

В режимі прогнозування оператор може обрати наявний факт та подивитися, до яких наслідків призведе його поява. На рис. 4 наведена ланка з відображенням одного з можливих наслідків факту «Порушення співвідношення витрат адсорбент : сировина = 1:1,5», в результаті чого існує ймовірність браку продукції.

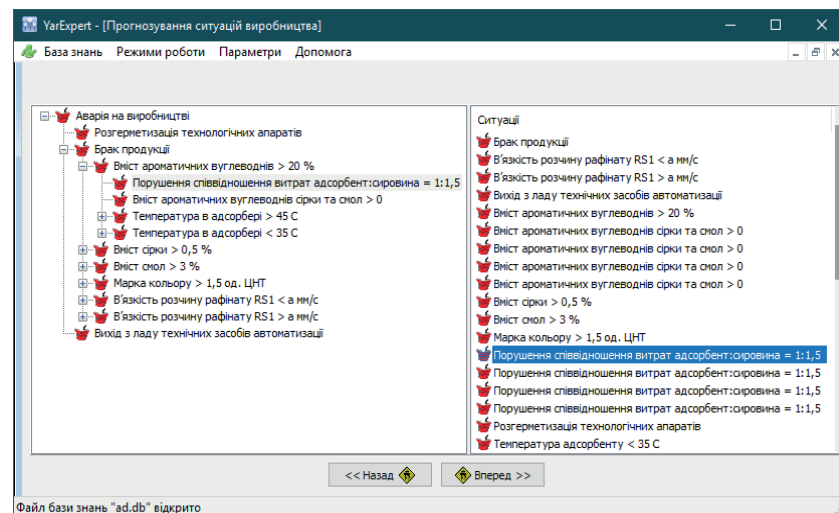


Рис. 4. Режим прогнозування аварій виробництва з очищення олив та мастил

З наведених результатів дослідження зрозуміло, що експертні системи дозволяють передбачати та запобігати виникненню аварійних ситуацій, що, у свою чергу, знижує ймовірність отримання бракованого продукту і викидів шкідливих речовин в атмосферу. Такий граф доцільно використовувати під час створення систем керування при виборі найбільш інформативних технологічних змінних залежно від способу вимірювання (він повинен бути автоматичним), від ймовірності аварії, яка може статися в результаті виходу змінної за припущеними межами, та від суттєвості її наслідків.

Запропонований граф дуже ефективний для перевірки логіки поведінки майбутньої ЕС та алгоритмів функціонування системи автоматизації в цілому, а також для навчання персоналу.

Табличні та графічні засоби формалізації думок експертів дозволять прискорити виконання етапів отримання знань та програмування ЕС.

Подальша робота над створенням ЕС полягає у верифікації створеного програмного засобу та у пошуку можливостей коригування апіорних імовірностей появи фактів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тюріна Є. О., Ярошук Л. Д. Задачі моделювання процесу адсорбції олив та мастил. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології—2019*: VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студ. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 57–58.
2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер, 2000.
3. Козлов А. Н. Интеллектуальные информационные системы. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013.
4. Муромцев Д. И. Введение в технологию экспертных систем [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: СПб ГУ ИТМО, 2005. Режим доступа: <http://csd.faculty.ifmo.ru/dimour/ES/ExpertSystems.pdf>. Дата обращения: 19.11.2020.
5. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы [Электронный ресурс]. Новосибирск: НГТУ, 2003. Режим доступа: <http://bookzooka.com/book/716-gibridnye-intellektualnye-sistemy-uchebnoe-posobie-av-gavrilov/62-literatura.html>. Дата обращения: 19.11.2020.
6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. 2-е изд. Москва: И. Д. Вильямс, 2016.
7. Шевченко А. И., Ященко В. А. Может ли компьютер мыслить? *Искусственный интеллект*. 2005. № 4. С. 48–63.
8. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: пер. с англ. Москва: Финансы и статистика, 1990.
9. Скопина Л. В., Шубников Н. Е. Построение экспертной системы для геолого-экономической оценки нефтяных месторождений в условиях неопределенности и рисков. *Наука и образование*. 2014. № 4. С. 11–15.
10. Ярошук Л. Д. Интеллектуальные системы управления: Экспертные системы — основы проектирования та застосування в системах автоматизації. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

**GENERAL TECHNICAL STRUCTURE OF THE AUTOMATED
CONTROL SYSTEM OF THE COURSES TIMETABLE
CREATION PROCESS**

O. Sakaliuk, F. Trishyn

Сучасний етап розвитку освіти характеризується пошуком шляхів удосконалення та оновлення освітнього середовища, підвищення його ефективності та зміни парадигми саморозвитку, самоактуалізації, самовиховання та самоосвіти творчої конкурентоспроможної особистості. Сучасна освіта має формувати людину, яка здатна змінювати себе та наявне буття і водночас таку людину, яка розуміє і приймає завдання наявного буття, здатна жити і спілкуватися в ньому.

В роботі розглядається загальна технічна структура системи автоматизованого керування (САК) процесом формування розкладу навчальних занять (ФРНЗ), оскільки від технічної структури залежить, якою мірою буде реалізовано функціональну та алгоритмічну структуру системи автоматизованого керування. Розглянуто динаміку росту інтернет-аудиторії, велика кількість людей користується Інтернетом через мобільні пристрої. Смартфони і планшети дають нові можливості для бізнесу, освітніх установ тощо, для роботи в реальному часі з даними інформації.

The current stage of educational development is characterized by the search for ways to improve and update the educational environment, increase its effectiveness and change the paradigm of self-development, self-actualization, self-education and self-education of creative competitive personality. Modern education should form a person who is able to change himself and the existing being and at the same time a person who understands and accepts the tasks of the existing being, is able to live and communicate in it.

The paper considers the general technical structure of the automated control system (ACS) of the courses timetable creation (CTC) process, because the technical structure depends on the extent to which the functional and algorithmic structure of the automated control system will be implemented. The dynamics of growth of the Internet audience is considered, numerous people use the Internet through mobile devices. Smartphones and tablets provide new opportunities for business, educational institutions, etc., to work in real time with information data.

The organization of training of students is carried out in accordance with the schedule. The class schedule should ensure the effective implementation of the curriculum in full.

The issue of the schedule creation of courses given sufficient attention in the past decades. But even today, the courses timetable creation process requires a fairly large part of human management. A typical problem with class schedules is to schedule a set of meetings between teachers and students over a period of time that requires certain resources and must meet some additional requirements. Essential requirements for scheduling are those in which the teacher, student or classroom is not used more than once in one-time interval. Scheduling of timetable in higher education institutions is performed every semester. Schedule preparation is a time-consuming, tedious process that requires a significant amount of human resources and time [2].

The staff of the training department, which is engaged in scheduling, usually does not have much time. And it is taken away by performing routine tasks that need to be done manually. Automation will help with solving such problems and improve the quality of scheduling courses.

To solve the problems of automated creation of the schedule of educational classes it is necessary to develop a program with the following capabilities:

- making changes to the schedule in manual mode — a mode of performing software functions, in which a set of automation tools makes recommendations for management, and the decision to use them is made and implemented by the subject;
- introduction of constraints based on educational needs, wishes of teachers and students — introduction of optional but desirable conditions that will improve the quality of the created schedule and the efficiency of the educational process of higher education institution;
- compliance specified mandatory constraints — compliance with the conditions that provide for compliance with these mandatory constraints, otherwise the main purpose of the schedule will be violated, ie the curriculum will not be implemented;
- selection of schedule display options (output of the data required by the user, as a result of the request created by him), for example:
 - o display the schedule by groups;
 - o display the schedule by departments;
 - o display the schedule by classrooms;
 - o display the schedule by teachers.

The system of automated scheduling of training courses should allow:

- manual modification of the schedule with observance of requirements — operative control of own schedule of educational employment by participants of educational process with recommendations to possible changes and without violation of obligatory requirements to the schedule of educational employment;
 - creation of several schedule options and selection of the best — generation of the nth number of schedules courses and selection of the schedule with the best assessment of the quality of the schedule among the generated schedules courses;
 - creation of the schedule of session — formation of the schedule of examination session for the period of final examination control with performance of all obligatory conditions to it;
 - see the schedule on the web-interface — dynamic generation of web-pages that allow the user to interact with the schedule of courses using the HTTP protocol and web-browser;
 - e-mail schedule change notification for students and teachers — automated sending of information letters by e-mail to a specific recipient or group of recipients;
 - generation of reports (creation of information from the data, which is information in an easy-to-read structured form and then can be printed or saved in various electronic formats), for example, «Lessons», «Load», «Classroom occupancy», etc.;
 - delimitation of access — the establishment of authority, in other words the set of rights, the user to further control the authorized use of software functions;
 - the ability to view and export data (display and download information about specified variables in the process of forming a schedule of training sessions) by:
 - o audiences;
 - o teachers;
 - o disciplines;
 - o curricula;
 - o students.
- The main stages of scheduling courses are:
- input of primary information: students, disciplines, teachers, audiences;
 - introduction of the curriculum for the semester, which indicates who, for whom, what class and to what extent should;
 - development and introduction of the schedule of educational process;

- introduction of mandatory and desirable requirements;
- generate and optimization of the educational schedule.

In the software like a living creature has its own life cycle. The software life cycle is the stage that a software product goes through from the appearance of an idea to its implementation in code, implementation in business and subsequent support [3]. Usually the stages of the life cycle include:

- requirements analysis;
- designing;
- programming;
- testing and debugging;
- operation, maintenance and support.

To perform these stages of the life cycle, it is necessary to determine the hardware component of the system, so that the algorithms are executed smoothly, quickly and reliably. An important feature of this management system is that any user should be able to use the system of scheduling courses from any device that has access to the Internet and a browser through which you can open web pages.

Connected devices in one form or another appeared with the first computer networks and consumer electronics. Today, every connected device receives an IP address, and this address allows you to connect it to other devices, including smartphones, tablets, and so on. A typical computing device, such as a tablet or smartphone, has convenient functionality on board, they are easy to use and do not require auxiliary equipment. Commands, functions and coding, which were once used by large numbers of developers with perfect knowledge of programming languages, are now performed with a single touch or pronunciation of the desired word [4].

Figure 1 shows population growth, unique Internet users, etc.

Figure 2 shows the growth dynamics of the Internet audience over the past six years. Every day since January 2018, an average of one million people has discovered the global network for the first time, which is 11 newcomers per second. Compared to 2014, the number of Internet users worldwide has increased by more than 1.9 billion, or 75 % in 5 years.

As of 2019, more than half of the world's population used mobile Internet — 57 % of unique users, which is about 4.388 billion people [5]. Today's figure of 4.39 billion Internet users is twice as high as in 2012, which was 2.08 billion. According to the International Telecommunication Union, it took 16 years to reach the first billion Internet users. The second billion joined the network in just 6 years. Today, the Internet is growing at a rate of 1 billion new users in 2.7 years.

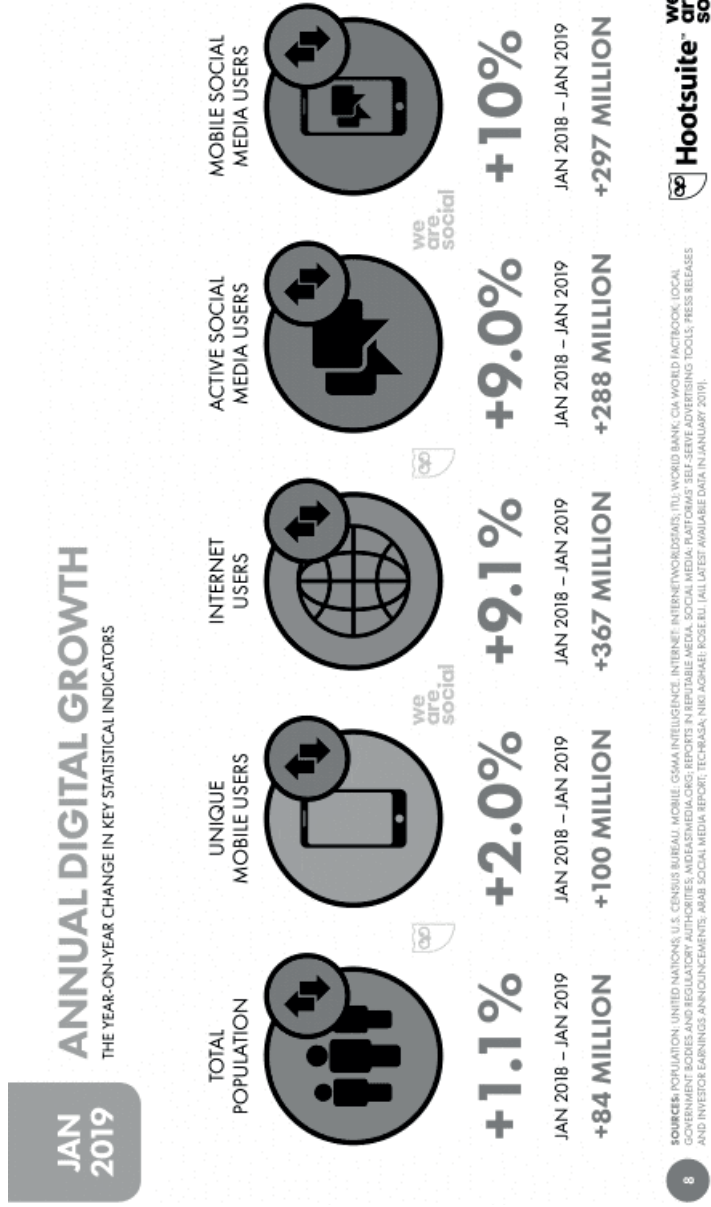


Fig. 1. Internet users in 2019

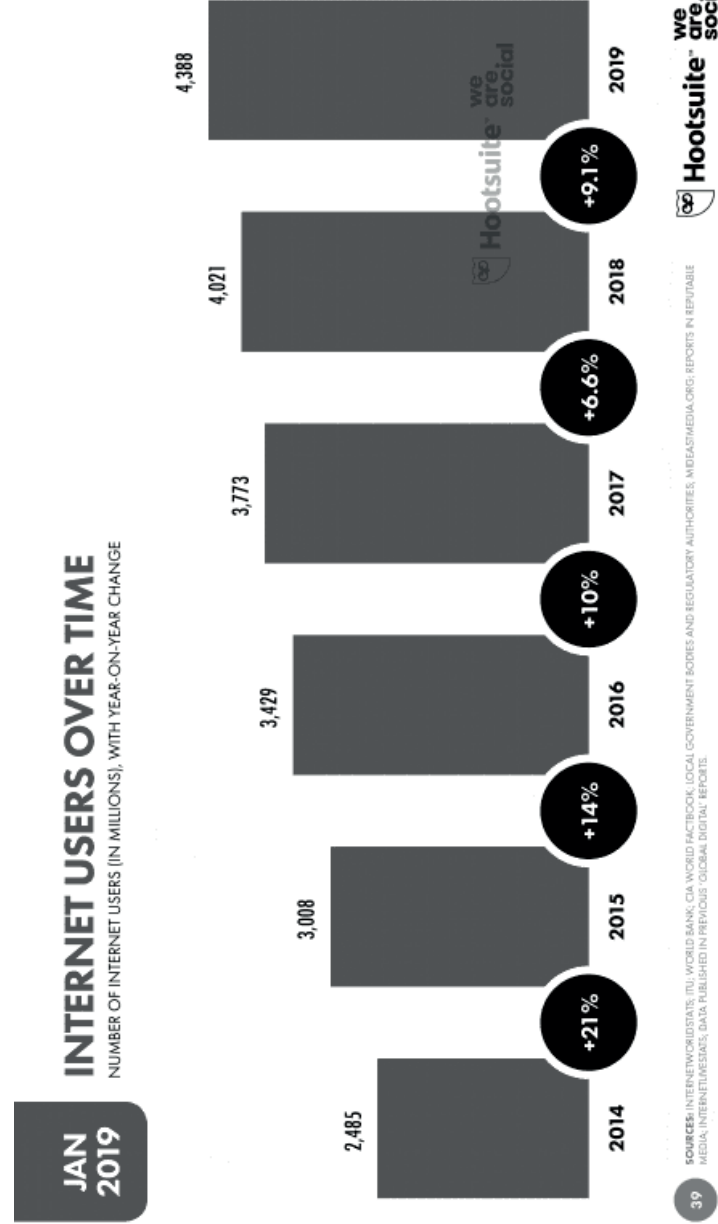


Fig. 2. Dynamics of growth of the Internet audience in the period from 2012 to 2019

- Today, the world has 5.11 billion unique mobile users, which is 100 million (2 %) more than last year.
- In 2019, the Internet audience is 4.39 billion people, which is 366 million (9 %) more than in January 2018.
- 3.48 billion users are registered on social networks. Compared to the beginning of last year, this figure increased by 288 million (9 %).
- Today, 3.26 billion people access social networks from mobile devices. This is 10 % more than last year, when 297 million fewer mobile people sat on social networks.

Today, thanks to common computing and networking, bits and bytes of data reach all corners of the planet in real time. An increasing variety of devices — desktops, laptops, tablets, smartphones — are a guide for collecting, sharing and accessing more and more data.

Experts from science introduced a new term «value of perfect information», which means the ability to manage data points, collect and analyze information for its optimization. This is an extremely complex process, as it is surprisingly difficult to gather all the data needed for perfect information and write an algorithm that takes all the variables into account. Too many variables today prevent a perfect picture of a complex event, so instead of creating perfect models, experts focused on building optimal models using big data and analytics. The flow of data from connected machines and objects grows exponentially. Not surprisingly, information is becoming a valuable economic asset.

Mobile technology and cloud computing are introducing new ways to control connected devices. The network of connected and interconnected devices is much more powerful than ever before. This is the revolution of technology. New features and capabilities, which until recently were only in the concepts, have become a reality. Cloud technologies have improved the synchronization and exchange of documents and data between different devices.

Over the last decade, digital technologies have changed the world. They have created new ways of communicating, collaborating, reading, gathering information, and so on. Smartphones and tablets are changing the way people go online and share data. They also create new challenges and opportunities for businesses, educational institutions, etc. that seek to use social media and real-time input data.

Automation and artificial intelligence, rules and analytics make the world much smarter. Broadband Internet fills major niches on the planet, and this quickly eliminates deviations in the collection, exchange and use of data. One thing is for sure: in the coming months and years, mobile devices

will become even smarter. Smartphones already «hear» and «feel» at a basic level. They have built-in microphones, cameras, GPS chips and other sensors that respond to various environmental factors and conditions.

The sensors are at the heart of the industrial Internet. Nowadays, the list of data entry and connected systems includes such things as geolocation and GPS devices, barcode scanners, cameras, audio and video monitors, and more. Sensors collect data, but they require computers, storage systems, and software to process them. An application programming interface is required so that applications can use this data at the right time and in the right place, providing server power for data mining.

One of the components of the automated control system is its technical structure. The extent to which and to what extent the functional and algorithmic component of the automated control system will be implemented depends on the technical structure and equipment. Therefore, it is advisable to improve existing automated control system for creation of the courses timetable [6].

Internet architecture — this is the Client-Server model, so communication between the client and the server is the first thing that should worry us. The client/server system increasingly minimizes application development time by separating information exchange functions into both client and server. The client is the requester and the server is the service provider. In most client-server environments, the server processes the data, and the results are returned to the clients, which is done to speed up the work (Fig. 3). Client-server model diagram showed on Fig. 4.

In today's computing world, the client-server system has become so popular because it is used almost daily for various applications. Some standardized protocols that the client and servers use to communicate with each other include: File Transfer Protocol (FTP), Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), and Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Thus, the client-server system can be defined as a software architecture consisting of both the client and the server, so that clients always send requests, while the server responds to send requests [7].

Often the server is used in the local network of the company: with its help employees store and share files, provide hosting — that is, the work of sites: respond to requests from users, store site content, process the execution of scripts.

Usually the server is located in the data center or in the server, all the time connected to electricity and the Internet. Servers never shut down — that's why reliability is so important.

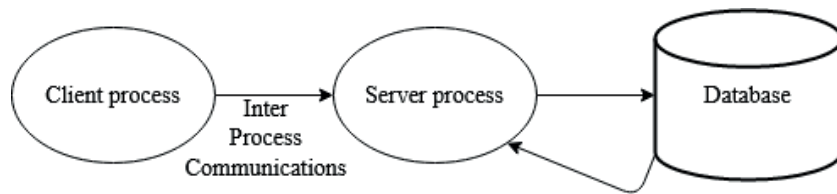


Fig. 3. Client-server system

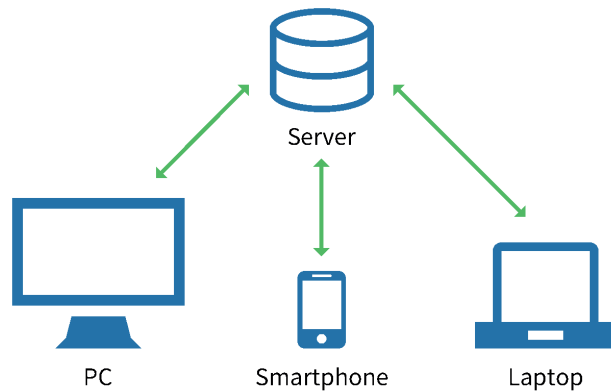


Fig. 4. Client-server model diagram

The main characteristics of the servers are:

- **Reliability.** The server equipment must ensure uninterrupted operation 24/7 (round the clock). System downtime should not exceed 6 minutes per year.
- **Resource specialization.** Depending on the purposes of use, you can choose one of two ways to organize server equipment — increase resources to increase productivity and reduce resources to reduce energy consumption, equipment size.
- **Scalability.** Ability to increase the computing power of servers by installing additional/advanced processors, RAM modules, increase RAID-arrays. There are vertical (increasing the performance of a given server) and horizontal (combining servers, including remote, into a single system).
- **Dimensions and standardization.** Servers should be installed on standard racks and cabinets, which implies standardization of equipment size.
- **Server case protection.** The server case is dust- and moisture-proof. The design must provide protection against vibration, accidental pressure.

A database is used to store, change and process interdependent information, mostly in large volumes. The database is an integrated information system that meets a number of requirements:

- reducing redundancy in data storage;
- elimination of contradictions in them;
- shared to solve a wide range of problems, including new ones;
- ease of data access;
- security of data storage in the database, data protection;
- independence of data from changing external conditions as a result of the development of information support;
- reducing the cost not only of creating and storing data, but also of keeping them up to date;
- availability of flexible organizational forms of operation.

In the context of databases, the concept of DBMS should be considered. Database management system (DBMS) is a set of software tools needed to create the structure of a new database, its content, edit content and display information. The most common databases are MySQL, PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server.

In turn, for the convenience of working with DBMS, special web applications are used, which allow using the graphical interface to administer the database server, run special commands, as well as work with the content of tables and databases — actions that in the absence of web applications are subject to execution by means of the console. Examples: phpMyAdmin is used to administer the MySQL database, pgAdmin is used for PostgreSQL.

Backing up information or backup is an important component of information security, which many neglect and do not attach much importance to. Only when data is lost without the ability to recover it do people regret not backing up. And then you have to pay a lot of money to specialists for partial recovery of information.

There are two basic principles in backup. The first is the regularity of redundancy. The user must determine how often his data changes, and how often you need to save backup files.

The second principle is the separate storage of basic files and their backups. The principle of separation will help to save your information more likely. If the files and their copies are stored on a single hard drive, then in the event of its failure or theft of the computer, you can get rid of everything at once.

You need to choose reliable media to back up your information. It is best to have an external hard drive and write them to it. If the amount of informa-

tion is not large, a simple flash drive will do. But its reliability leaves much to be desired, as flash drives have limits on the number of rewrite cycles.

Cloud storage is also a good option. You can access your documents from anywhere in the world, which is very good for people who like to travel. Under the generalized concept of «clouds» understand many services that are designed to solve a variety of problems.

Cloud technologies are a set of software and hardware resources in the form of Internet services to solve user problems. The main purpose of the technology is to unload users' computers, taking on part of the cost of computing and providing memory for data storage.

Using cloud services, you can access the necessary information or programs from anywhere in the world from several devices. It doesn't matter what operating system you use. Expensive licensed programs can be available in the form of web services, you do not need to follow updates, you always have the latest version. You cannot worry about saving data, as in the case of storage on hard drives. The main advantage is that it is not necessary to have a powerful device to perform complex operations, it is only important to have a fast connection to the Internet.

The main available cloud capabilities are:

- SaaS (Storage as a Service) — the most common service that provides storage for user data;
- PaaS (Platform as a Service) — virtual platform with OS and basic set of programs;
- IaaS (Infrastructure as a Service) — software deployed on remote servers (users do not need to purchase licenses);
- DaaS (Database as a Service) — providing access and the ability to manage databases without the need for their availability on the local resource;
- Security as a Service — a set of tools designed to save users on deploying their own security system;
- Infrastructure as a Service — the user is provided with a whole infrastructure of networked virtual platforms.

According to the method of using clouds, the following types are distinguished:

- private;
- public;
- hybrid.

In the schedule of courses lays the organizational basis for implementation of curriculum. Qualitatively developed, methodically substantiated

schedule of courses determines the normal course of the entire educational process, the correct organization of work at the university. The complexity of the task of scheduling is due to the participation of many representatives of various levels of management, planning and ensuring the educational process in the preparation, processing and use of a large number of normative educational methodological documentation and other information. Therefore, large time costs, errors and subjectivity is not a complete list of shortcomings, which forces to turn to science-intensive information technology, which is able to minimize existing problems by automating of the courses timetable creation process [8].

In modern conditions of development of higher education the necessity of use of the automated means of planning and drawing up of the schedule of courses becomes obvious. The courses timetable creation process is based on the analysis of a significant amount of information and requires significant labor costs. Effective resource management is a complex and one of the priority tasks facing educational institutions in the process of providing educational services. [9].

Technical prerequisites for the emergence of computer-integrated production are based on the creation and widespread use of control computing on microelectronic, personal computers, software control systems, programmable controllers, local area networks and related software [10].

The integrated control system of automated multi-item production is implemented as a set of automated jobs. To control of the courses timetable creation process, a set of the following automated jobs is usually provided:

- employee of the timetable department;
- teaching staff;
- students.

The promising system will have the function of control the schedule of classes in real time. Therefore, in addition to the known means of implementing the technical structure, it is necessary to make connect via the Internet of the courses timetable creation system with mobile devices, tablets or personal computers of participants in the educational process. The general technical structure will look like, the representation in Figure 5.

Personal computers and automated workstations are usually installed in the workplaces of specific users. Ensuring the physical storage of data in the event of a hardware failure occurs through backups, file servers, as well as boards for constant power supply of computers and automated workstations.

The functioning of the complex of hardware is provided by software, including: system-wide and application programs.

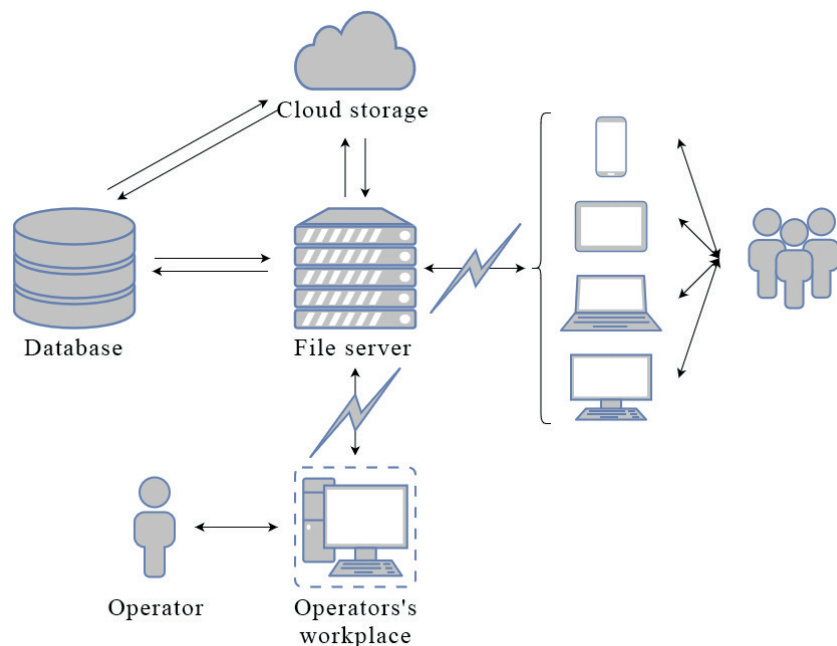


Fig. 5. The general technical structure of the ACS of the CTC process [11]

Summarizing, we can say that mobile technology and cloud computing have created new ways of processing data and how people go online. As a result, the general technical structure of the ACS was developed by the CTC process using mobile technologies and cloud storage.

The method of scheduling is significantly influenced by the specifics of the organization of the educational process, its structure and traditions, experience, style of work of persons responsible for planning and other factors. The courses timetable creation process requires a deep understanding of the scientific basis of training, current curricula and programs, solid knowledge of numerous information on all issues that affect the quality of lesson planning.

Automation of the courses timetable creation process is an urgent problem for the management of educational institutions. Correctly constructed system of automation of drawing up and maintenance of the schedule allows to save time and human resources.

REFERENCES

1. Меркулова Н. В. Інноваційний освітній процес в Україні [Електронний ресурс]. *Наука і освіта*. 2011. Т. 5, № 11. С. 37–38. Режим доступу: https://scienceandeducation.pdpu.edu.ua/doc/2011/5_2011/10.pdf. (Дата звернення: 29 лип. 2020).
2. Sakaliuk O., Trishyn F. Analysis of Proctss creation of the Courses Timetabling. *Automation of technological and business processes*. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 30–35. DOI:10.15673/atbp.v11i2.1370.
3. Розробка ПЗ: моделі життєвого циклу, методи та принципи [Електронний ресурс]. *Evergreens.com.ua*, 2020. Режим доступу: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/software-development-metodologies.html>. (Дата звернення: 15 жовт. 2020).
4. Грінгарт С. Інтернет речей. Харків: Клуб сімейного дозвілля, 2018.
5. Вся статистика Інтернету на 2019 год [Електронний ресурс]. *WebCanape — решения для бизнеса*. 2020. Режим доступу: <https://www.web-canape.ru/business/vsya-statistika-interneta-na-2019-god-v-mire-i-v-rossii/>. (Дата звернення: 25 верес. 2020).
6. Бондаренко З. В., Борисова Н. В., Бурдейна О. В. та ін. Інформаційні технології та автоматизація: монографія. Одеса: Астропринт, 2020.
7. Oluwatosin H. Client-Server Model. *IOSR Journal of Computer Engineering*. 2014. Vol. 16, no. 1. P. 67–71. Available: 10.9790/0661–16195771. DOI: 10.9790/0661–16195771.
8. Рубан І., Дуденко С., Бусигін Ю., Колмиков М., Трублін О. Аналіз сучасного програмного забезпечення для автоматизації процесу складання розкладу навчальних занять. *Системи обробки інформації*. 2013. Т. 115, № 8. С. 305–310.
9. Ячменев Е. Ф. Анализ проблемы составления расписания занятий в вузе [Електронний ресурс]. *Проблемы материальной культуры — экономические науки*. С. 193–197. Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/94816/49-Jachmenev.pdf>. (Дата звернення: 7 серп. 2020).
10. Файловый архив для студентов. StudFiles [Електронний ресурс]. *Техническая структура и программное обеспечение автоматизированных систем управления производством*. Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/6330506/page:16/>.
11. Інформаційні технології та автоматизація: монографія / З. В. Бондаренко, Н. В. Борисова, О. В. Бурдейна та ін.; за заг. ред. С. В. Котлика; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : Астропринт, 2020. 248 с.

ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ КОРИСТУВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ МООС

Артеменко В. Б., Артеменко Л. В., Артеменко О. В.

Розглядаються інноваційні підходи до навчання користувачів інформаційно-аналітичних систем на прикладі системи моніторингу зведених індикаторів ефективності розвитку регіонів у контексті критеріїв якості життя. Ці підходи ґрунтуються на використанні концепції безперервного навчання (Lifelong Learning — LLL) і масових відкритих онлайн-курсів (Massive Open Online Courses — MOOCs). На засадах аналізу застосування цих онлайн-курсів в академічному та корпоративному секторах висвітлюються сутнісні характеристики і сучасна типологія МООС.

Запропонована гібридна модель МООС для підтримки розробки контенту і технології навчання цільових користувачів інформаційно-аналітичної системи моніторингу регіональних синтетичних індикаторів якості життя.

Innovative approaches to learning users of information and analytical systems on the example of the system for monitoring consolidated indicators of regional development efficiency in the context of quality of life criteria are considered. These approaches are based on the use of the concept of Lifelong Learning (LLL) and Massive Open Online Courses (MOOCs). Based on the analysis of the use of these online courses in the academic and corporate sectors, the essential characteristics and modern typology of MOOC are highlighted.

A hybrid MOOC model has been proposed to support the development of content and learning technology for target users of the information-analytical monitoring system of regional synthetic indicators of quality of life.

В сучасних умовах концепція безперервного навчання або навчання впродовж усього життя *Lifelong Learning (LLL)* є повсякденною практикою для більшості населення розвинених країн. Потреба в її практичній реалізації призвела до розуміння безперервності навчання як освітнього процесу, який сприяє розвитку особистості протягом усього життя, підвищуючи рівень вже наявної кваліфікації та забезпечуючи перенавчання. Ця концепція відіграє важливу роль у будь-якій сфері діяльності, у т. ч. і в ІТ-галузі, зокрема для користувачів інформаційно-аналітичних систем (ІАС).

Обґрунтування інноваційних підходів до підтримки надбань знань і навичок користувачами ІАС на основі концепції безперервного навчання є актуальним завданням. Його розв'язання слід проводити з урахуванням факторів, які можуть стримувати впрова-

дження конкретних ІАС. Серед них є фактори, що обумовлені неготовністю користувачів використовувати інструментарій впроваджуваних ІАС. За таких умов політика застосування цих систем може не дати бажаного ефекту. Тому важливо залучати користувачів ІАС до навчання.

На наш погляд, навчання та підвищення кваліфікації користувачів ІАС доцільно проводити на основі концепції безперервного навчання, сучасних соціальних сервісів Web 2.0 (веб-інструментів) і персональних навчальних середовищ.

Персональне навчальне середовище (ПНС) або в англomовній транскрипції Personal Learning Environment (PLE) — це термін, який з'явився в західній літературі [1] та отримав широке застосування у масових відкритих онлайн-курсах (Massive Open Online Courses — MOOCs) [2; 3]. Однак сьогодні цей інноваційний підхід не має широкого застосування в практиці навчання користувачів інформаційно-аналітичних систем.

Ми маємо на меті розглянути інноваційні підходи до навчання цільових користувачів створюваної інформаційно-аналітичної системи моніторингу регіональних синтетичних індикаторів якості життя (ІАСМ-РСІЯЖ). Для навчання її користувачів пропонується використовувати гібридну модель МООС. За допомогою цієї моделі користувачі системи моніторингу зможуть ознайомитися з основними можливостями ІАСМ-РСІЯЖ і набути необхідні знання та навички для вдосконалення управління ефективністю розвитку регіонів України.

Підходи до розроблення інформаційно-аналітичної системи моніторингу РСІЯЖ висвітлюються в роботах [4; 5]. Тут зазначається, що, по-перше, важливою науковою задачею впровадження системи моніторингу є побудова зведених індикаторів, які забезпечуватимуть адекватність оцінок ефективності розвитку регіонів [6]. Актуальність цієї задачі пов'язана зі складністю спостереження та аналізу великої кількості факторів і показників ефективності розвитку регіонів. У той же час існує «порог складності», відповідно до якого особа, що приймає рішення, здатна адекватно оцінювати проблемну ситуацію на засадах одночасного аналізу не більше 5–7 параметрів.

На наш погляд, зведені індикатори ефективності регіонального розвитку повинні відображати на державному та регіональному рівні ступінь досягнення такої стратегічної мети розвитку регіонів, як забезпечення послідовного підвищення якості життя їх населення.

Система моніторингу ефективності розвитку регіонів має забезпечувати аналіз і комплексне оцінювання зведених індикаторів якості життя населення. Розроблення таких індикаторів засноване на використанні статистичних даних і результатів опитування з урахуванням як думок керівників і спеціалістів органів регіонального управління, так і населення, підприємців, інвесторів, інших агентів.

По-друге, в [4; 5] зазначається, що для використання системи моніторингу РСІЯЖ необхідною вимогою є залучення до навчання її цільових користувачів. Така необхідність обумовлюється тим, що користувачі ІАСМ-РСІЯЖ мають добре розбиратися в можливостях системи, методах побудови та практичного застосування РСІЯЖ. Отож важливою вимогою є їх залучення до навчання з допомогою МООС.

Зараз тематика масових відкритих онлайн-курсів — одна з найбільш обговорюваних в освітньому Інтернеті. Слід зазначити, що активна участь провідних американських і європейських університетів у впровадженні МООС сприяла розширенню сфери наукових досліджень цієї тематики.

Термін «масовий відкритий онлайн курс» — МООС — ввели два дослідники Брайан Олександр і Дейв Корм'є в результаті роботи над курсом «Connectivism and Connective knowledge», який у 2008 р. проводили Джордж Сіменс і Стівен Даунс. Курс присвячувався новій теорії (концепції) навчання — коннективізму [7]. Вона трактує навчання як процес створення мережі, вузлами якої є такі зовнішні сутності, як люди, організації, бібліотеки, сайти, книги, бази даних або ж будь-яке інше джерело інформації.

Загальна назва МООС утворюється з чотирьох окремих термінів:

- massive (масовий) — для проведення курсів цього типу потрібна велика кількість учасників;
- open (відкритий) — курс безкоштовний, тому будь-яка людина може приєднатися до нього; як правило, в цих курсах використовується відкрите програмне забезпечення та безкоштовні соціальні сервіси Web 2.0 (ВЕБ-інструменти);
- online (онлайн — електронний або дистанційний) означає, що матеріали курсу та результати спільної роботи знаходяться в Інтернеті у відкритому для всіх учасників доступі;
- course (курс) — має на увазі, що він має відповідну структуру, правила роботи та загальні цілі, які згодом для кожного учасника можуть трансформуватися.

Основні принципи участі в МООС зводяться до такого [8; 9]:

- ✓ на курс завжди відкрита реєстрація, незалежно від часу його початку і завершення;
- ✓ найбільша активність учасників відбувається за межами основного сайту, на інших вузлах мережі, наприклад, в особистих блогах, інших сайтах, соціальних мережах, відео-хостингах;
- ✓ ролі викладача і слухача в курсах майже стираються, викладач виступає скоріше колегою або посередником;
- ✓ є кілька видів участі в курсі: активний учасник, учасник кількох тем (дискусій) та спостерігач (читає); при цьому чим більший внесок і ширша участь слухача в курсі, тим більше користі для інших учасників;
- ✓ для роботи у таких курсах учаснику необхідно мати високий рівень мотивації і самоконтролю;
- ✓ учасники МООС самостійно формують свої навчальні цілі і траєкторію навчання.

Використання МООС в онлайн-освіті пропонують провідні університети світу: МТІ, Гарвард, Стенфорд та ін. Сьогодні в Інтернеті активна низка освітніх проектів, що використовують МООС. Найвідоміші з них: Coursera [10], EdX [11], Udacity [12]. Варто відзначити також проект OpenupEd [13], який ініційований та координується Європейською асоціацією університетів електронного навчання (EADTU). До складу цієї асоціативної мережі входять 10 відкритих, онлайн-університетів та 14 асоціацій традиційних університетів, які розвивають онлайн-освіту для студентів, і 2 університети, що суміщають як очну, так і електронну форму навчання [13]. Діяльність асоціації EADTU підтримується програмою безперервної освіти ЄС.

Слід відзначити і вітчизняний освітній проект Prometheus, який використовує найкращі онлайн курси України та світу [14]. Цей проект невпинно розвивається та зростає, збільшує кількість онлайн-курсів і впроваджує нові інформаційні технології в освіті для всіх.

Проте деякі автори досліджень онлайн-освіти стверджують, що МООС не вдалося підвищити рівень свого використання в академічному і корпоративному секторі, вказуючи на три зразки досвіду Гарварду та МІТ [15–17]:

- переважна більшість студентів, які навчаються в МООС, ніколи не повертаються після першого курсу;
- зростання участі у МООС майже повністю зосереджено в найбільш заможних країнах світу;

• низькі показники щодо завершення MOOC не покращилися впродовж останніх шести років дослідження.

На підставі аналізу сучасних закордонних наукових публікацій з цієї тематики можна зробити такі висновки щодо трендів і нових підходів до використання MOOC.

1. За останні роки крива ажіотажу MOOC мала негативний нахил, який можна пояснюється тим, що впливові корпорації не хочуть брати участь у відкритому обміні знаннями, що містяться в MOOC. Тому пік завищених очікувань в електронному (дистанційному) навчанні припадає нині на навчальну аналітику, віртуальну реальність, штучний інтелект, мобільне навчання, моделювання [18].

2. Новий напрямок розвитку MOOC спрямований на використання менеджерів онлайн-програм (online program managers — OPMs). OPMs — це приватні компанії, яких наймають установи для розробки й управління їхніми онлайн-програмами. Вони мають різні фінансові домовленості з коледжами або університетами (від плати за послугу до розподілу доходу). Такі постачальники MOOC, як Coursera і Udacity, включаються іноді до складу OPMs [19].

3. Обґрунтована доцільність нового напрямку розвитку MOOC — гібридної педагогічної моделі xMOOC/cMOOC (Hybrid pedagogical model: xMOOC/cMOOC) [20].

На підставі аналізу застосування вказаних освітніх проектів і сучасних наукових публікацій з цієї тематики можна зробити висновки про те, що різні педагогічні підходи до масового онлайн-навчання трансформувалися в типологію MOOC, яка представлена в табл. 1.

xMOOC — модель, орієнтована на академічний підхід до навчання та підтримується в класичних університетах. Зміст таких онлайн-курсів розробляється викладачами й експертами в певній предметній галузі, курси проходять за чітким графіком навчання і містять конкретні завдання, що передбачають атестацію учасників та оцінювання їх знань. Прикладами такої моделі є проекти Coursera, EdX, Udacity, які успішно діють з 2012 року та продовжують свій розвиток нині.

cMOOC — модель, заснована на коннективістському підході (c — connective). Модель передбачає використання концепції зв'язаних знань (connective knowledge) та спілкування учасників і обговорення конкретних тем. Особливістю курсів cMOOC є те, що навчання відбувається у зв'язаній мережею групі людей, які активно спілкуються та використовують блоги, вікі, форуми, соціальні мережі та інші

ВЕБ-інструменти для пошуку знань. Основне завдання учасників cMOOC — пошук і подання навчального матеріалу за допомогою різних форм та засобів. Отже зміст коннективістського курсу пропонують і створюють як викладачі, так і учасники курсу.

Таблиця 1

Основні моделі MOOC

<i>xMOOC</i> — модель, орієнтована на академічний підхід в класичних університетах	<i>cMOOC</i> — модель, орієнтована на концепцію зв'язаних знань на основі соціальних сервісів	<i>xMOOC/cMOOC</i> — модель, яка поєднує платформу <i>x</i> (<i>LMS</i>) і платформу <i>c</i> (соціальні мережі)
когнітивно-біхевіористський і конструктивістський підходи	коннективістський підхід	когнітивно-біхевіористський, конструктивістський і коннективістський підходи
цілі навчання визначаються викладачем	цілі навчання визначаються учасниками	цілі навчання визначаються всіма учасниками
вивчення комп'ютерних наук та інженерних дисциплін	вивчення педагогічних теорій і гуманітарних дисциплін	вивчення комп'ютерних наук, інженерних і гуманітарних курсів
спостерегаців практично немає	величезна кількість учасників	цільові учасники, спостерегаців немає
викладачі виконують різні ролі	викладачі виконують різні ролі	викладачі й експерти виконують різні ролі
курси відкриті для всіх	відкритість для персоналізації навчання, діалогу, дискусій, бесід	відкритість для персоналізації навчання, діалогу, дискусій, бесід

Одним зі способів взаємодії або встановлення зв'язків між учасниками cMOOC є створення та обмін «артефактами розуміння». Артефактами є ресурси, які створюються учасниками курсу: пости в блогах, вікі-сторінки, діаграми, ментальні карти, конспекти, підкасти, відео та ін. Завдяки практиці виробництва та обміну «артефактами розуміння» кожен учасник курсу грає одночасно роль учня та вчителя. При цьому окремо взятий артефакт можна розглядати як елемент персональної навчальної мережі (ПНМ) зв'язків між поняттями та ідеями, які автор зміг встановити під час вивчення теми курсу. Це фактично мережа, яку він побудував у своїй свідомості та представив на розгляд іншим учасникам відкритого онлайн курсу.

xMOOC/cMOOC — модель, заснована на використанні платформи *x*, створеної на основі будь-якої системи управління навчанням (Learning Management Systems — LMS) та платформи *c*, особливостями якої є навчання учасників у зв'язаній мережею груп людей, які активно спілкуються і застосовують для пошуку знань конкретні соціальні сервіси (веб-інструменти): блоги, вікі, форуми, соціальні мережі тощо. Модель поєднує формальну і неформальну навчальну діяльність (на платформі *x*) з неофіційним навчанням (на *c* платформі), забезпечуючи співпрацю учасників курсу для створення безперервного потоку знань між платформами. При цьому співпраця інтерпретується як педагогічний ресурс, який безпосередньо залучає учасників та знижує рівень відмови від MOOC, зосереджуючись на таких трьох аспектах:

- вимірюване досягнення: кількість учасників, які успішно проходять курс та досягають своїх цілей;
- соціальна інтеграція або соціальний компонент MOOC: сприяння відносинам через участь у соціальній мережі;
- особистий розвиток: досягнення цілей навчання шляхом поєднання змісту курсу і взаємодії спільної роботи, структурованої та визначеної викладачами.

На рис. 1 представлено потік створення навчальних ресурсів для гібридної педагогічної моделі xMOOC/cMOOC [20].

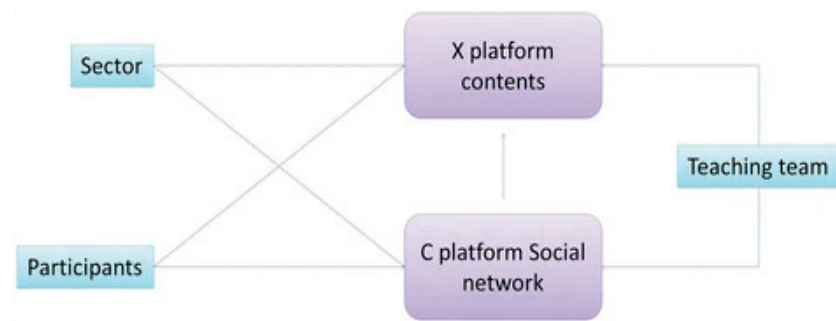


Рис. 1. Потік створення ресурсів для гібридної моделі xMOOC/cMOOC

Як видно з рис. 1, учасники гібридної моделі MOOC додають навчальні ресурси до платформи *x*, наприклад, системи управління навчанням — LMS або до платформи *c*, наприклад, соціальної мережі. Ці ресурси можуть надаватися і фахівцями предметного сектора. Далі

учасники MOOC генерують нові ресурси та додають їх до платформи *c*, як завдяки діяльності, запланованій викладацькою командою на платформі *x*, так і під час використання соціальної мережі. Педагогічна команда може вирішувати, чи включити їх контент для збагачення наявних ресурсів на *x* платформі, перш ніж розпочати MOOC.

Отож співпраця створює постійний потік знань між платформами *x* і *c*. Чим різноманітнішими є генеровані ресурси, тим ефективнішими вони стають, посилюючись масовізацією та неоднорідністю учасників MOOC.

Два приклади, що використовують цю модель, описані в роботі [20]. Ці приклади базуються на тематичних дослідженнях двох онлайн-курсів, які впроваджені на платформі MiriadaX [21]. Коротко розглянемо сутність цих прикладів із урахуванням застосовуваних освітніх технологій.

Приклад 1. MOOC Free Software and Open Knowledge (вільне програмне забезпечення та відкриті знання). Цілі: вивчення понять і основних компонентів вільного програмного забезпечення і відкритих знань; участь у вільному русі програмного забезпечення (навчання створенню відкритих знань у блогах і вікі); надання критеріїв і практичних рекомендацій щодо застосування тем курсу в різних контекстах. Тривалість: 6 тижнів. Склад: 5 модулів, перший з яких — презентація.

Приклад 2. MOOC Applied Educational Innovation (прикладні освітні інновації). Цілі: виявлення та співвідношення компонентів освітніх інновацій; ознайомлення з новітніми методами та прийомами освітніх інновацій у щоденному навчанні. Тривалість: 6 тижнів. Склад: 6 модулів, перший з яких — презентація.

Щодо освітніх технологій, то MiriadaX використовувалася як платформа *x* в обох прикладах; платформа *c* відрізнялася в кожному конкретному прикладі.

У *прикладі 1* чотири соціальні мережі (LinkedIn, Elgg, Identi.ca, Twitter) та вікі були використані для організації та інтеграції результатів навчальної спільноти з навчальними ресурсами курсу.

У *прикладі 2* на підставі соціальної мережі Google+ були інтегровані та організовані такі ресурси: результати навчальної спільноти, деякі навчальні ресурси з онлайн-курсу і блог для надання результату роздумів.

Застосовувана методологія навчання була ідентичною в обох прикладах: інтеграція формальної навчальної діяльності (регламенто-

ваних курсів) у MiriadaX з неформальною навчальною діяльністю в соціальній мережі, що генерує потік знань серед учасників, викладачів і фахівців предметного сектора. В обох прикладах дослідження запропонована гібридна методологія дала дуже схожі результати (тобто коефіцієнти участі та завершення) та вдвічі збільшила ступінь заповнення для MOOC MiriadaX.

Описані два приклади дослідження показують, що найвища швидкість відсіву настає після 1-го модуля, а потім стабілізується до кінця курсу (незалежно від кількості модулів). Це говорить про те, що кількість відсіву зменшується зі збільшенням рівня співпраці. Тобто це відбувається завдяки взаємодії та інтеграції навчальних ресурсів між платформами x та c, суттєво впливаючи на рівень співпраці та завершення курсів.

Розглянемо підходи до створення гібридної моделі MOOC для підтримки безперервного навчання цільових користувачів ІАСМ-РСІЯЖ [22–24].

На рис. 2 представлена головна ВЕБ-сторінка сайту ІАСМ-РСІЯЖ. З рис. 2 видно, що зареєстровані цільові користувачі на підставі «Категорії підтримки» можуть ознайомитися з можливостями інформаційно-аналітичної системи моніторингу РСІЯЖ і застосовувати її інструментарій для розв’язання таких основних завдань:

- оцінювання ефективності розвитку регіонів у контексті критеріїв якості життя;
- вдосконалення управління ефективністю регіонального розвитку.

Для розв’язання вказаних завдань користувачам ІАСМ-РСІЯЖ слід знати: можливості системи, методи та технології побудови регіональних синтетичних індикаторів якості життя, інформаційні ресурси, підходи до вироблення і практичного застосування регіональної аналітики. Тому важливою вимогою є їх 100 % залучення до навчання.

На наш погляд, безперервне навчання цільових користувачів ІАСМ-РСІЯЖ доцільно проводити за допомогою гібридної моделі MOOC «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя».

Мета MOOC — ознайомити цільових користувачів з інструментарієм інформаційно-аналітичної системи моніторингу РСІЯЖ і забезпечити стримання користувачами нових знань і практичних навичок для використання цього інструментарію в управлінні ефективністю розвитку регіонів України.

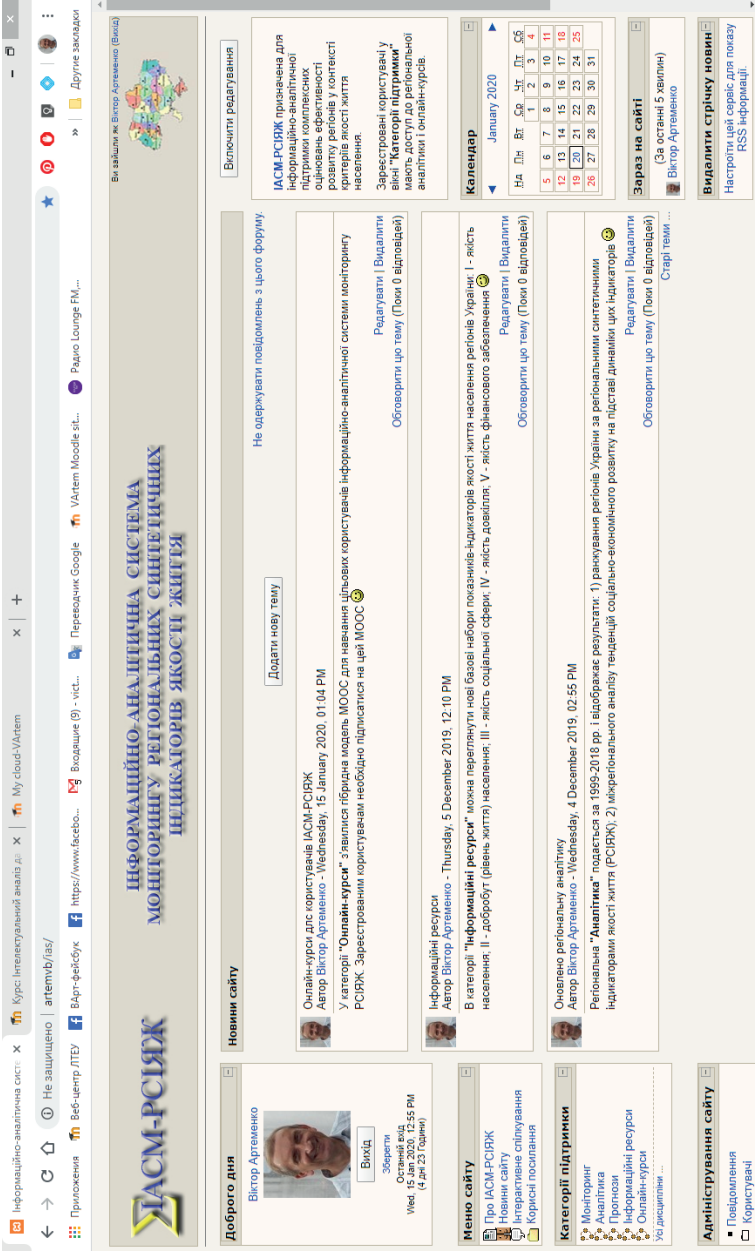


Рис. 2. Головна ВЕБ-сторінка сайту ІАСМ-РСІЯЖ

Цільова аудиторія — фахівці державних та місцевих органів управління регіональним розвитком, експерти предметної області, інші агенти. Учасникам онлайн-курсу бажано мати навички роботи в Інтернеті, соціальних мережах, застосування сучасних синхронних та асинхронних ВЕБ-комунікацій для підтримки спілкування, співпраці й обміну інформацією. Якщо ж такі навички відсутні, необхідно провести додаткове навчання.

На рис. 3 представлена гібридна модель МООС для онлайн-навчання користувачів ІАСМ-РСІЯЖ.

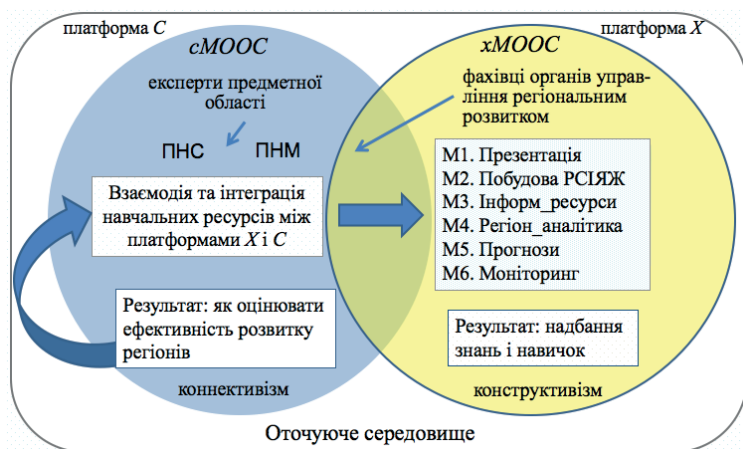


Рис. 3. Гібридна модель МООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя»

З рис. 3 видно, що гібридна модель створюваного курсу матиме дві платформи. На платформі *c* передбачається широке використання соціальних мереж Facebook (рис. 4) і Twitter (рис. 5), а також інструментів для формування персональних навчальних середовищ (ПНС) і персональних навчальних мереж (ПНМ) [22].

Основні навчальні ресурси онлайн-курсу розміщуються в LMS Moodle, яка використовується як платформа *x*. Вони орієнтовані на фахівців державних та місцевих органів управління регіональним розвитком. Курс складається з шести модулів:

- ✓ M1: презентація можливостей ІАСМ-РСІЯЖ.
- ✓ M2: побудова регіональних синтетичних індикаторів якості життя.



Рис. 4. Сторінка тьютора МООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя» в соціальній мережі Facebook

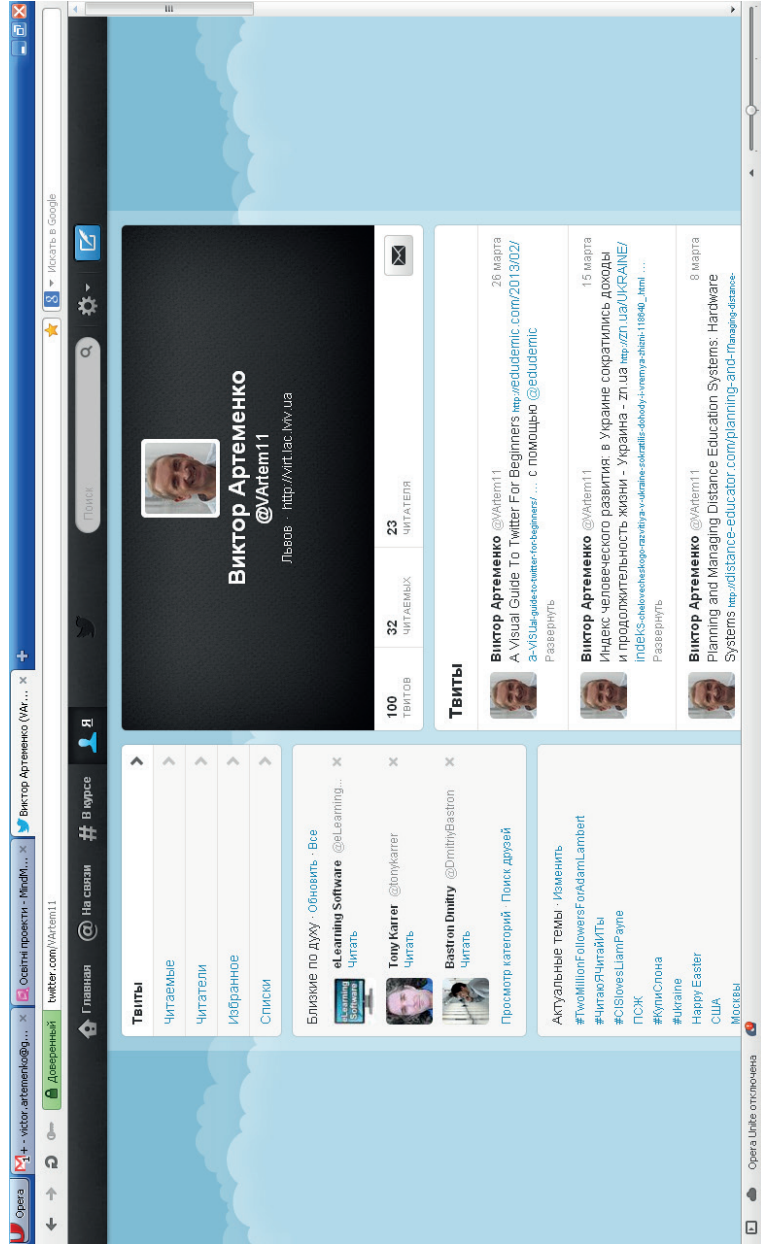


Рис. 5. Сторінка публікації MOOC «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя» в соціальній мережі Twitter

- ✓ M3: інформаційні ресурси.
- ✓ M4: регіональна аналітика.
- ✓ M5: прогнози.
- ✓ M6: моніторинг РСІЯЖ.

Кінцевим результатом навчання цільових користувачів на засадах освітньої моделі xMOOC є отримання знань та навичок з метою використання регіональної аналітики в управлінні ефективністю регіонального розвитку.

Платформа с із коннективістською моделлю sMOOC спрямована, в свою чергу, на забезпечення співпраці учасників онлайн курсу для створення безперервного потоку знань між платформами x і c. Експерти предметної області вивчають альтернативні напрями використання інформаційних ресурсів, соціологічних опитувань населення регіонів, збору, оброблення та подання змістовних результатів опитування, необхідних для побудови та аналізу регіональних синтетичних індикаторів якості життя. Експерти можуть розробляти методики і надавати учасникам гібридної моделі MOOC консультації з питань: як на базі регіональних синтетичних індикаторів якості життя слід оцінювати ефективність розвитку регіонів як органами державного управління і місцевого самоврядування, так і населенням, інвесторами та іншими агентами. Кінцевим результатом навчання користувачів sMOOC є нові знання з оцінювання ефективності розвитку регіонів України.

Таким чином, особливість створюваного масового відкритого онлайн курсу полягає в тому, що на платформі с (у моделі sMOOC) навчання буде відбуватися в пов'язаній мережею групі користувачів, які активно використовують соціальні сервіси (ВЕБ-інструменти) для створення нових знань і розвитку модулів у моделі xMOOC.

Висновки. Розглянувши сутнісні характеристики і типологію MOOC, інноваційні підходи до їх застосування в онлайн-навчанні користувачів інформаційно-аналітичної системи моніторингу РСІЯЖ, можна зробити такі висновки та узагальнення.

1. Сьогодні застосування масових відкритих онлайн-курсів пов'язане з ініціативами педагогів-дослідників і провідних американських та європейських університетів, заснованих на принципах відкритості й доступності освітніх ресурсів, рівності учасників онлайн-курсів, інтернаціоналізації освітніх систем.

2. MOOC є новим, недостатньо дослідженим інноваційним підходом до організації навчання цільових користувачів інформаційно-

аналітичних систем на основі нових концепцій (коннективізму і конструктивізму) та сучасних соціальних сервісів (ВЕБ-інструментів).

3. Запропоновано гібридну модель МООС для розробки контенту і технології навчання цільових користувачів інформаційно-аналітичної системи моніторингу регіональних синтетичних індикаторів якості життя. З допомогою цієї моделі МООС можна забезпечити цільовим учасникам онлайнкурсу «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя» підвищення кваліфікації, залучити їх до спільних проектів, сформувати стійкі співтовариства практиків і сприяти таким чином їхньому професійному розвитку.

4. В останніх версіях LMS Moodle, на засадах якої розробляється ІАСМ-РСІЯЖ і класична модель хМООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя», можна вбудовувати веб-інструменти для створення ПНС та ПНМ. Це створює умови на платформі с (сМООС) для кращого вироблення нових знань і розвитку модулів у моделі хМООС.

5. Розроблення та застосування гібридної моделі МООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя» є доцільним підходом. Це сприятиме безперервному навчанню користувачів ІАСМ-РСІЯЖ і вдосконаленню управління ефективністю регіонального розвитку.

Перспективами щодо подальших досліджень і розробок нових підходів до навчання користувачів інформаційно-аналітичної системи моніторингу регіональних синтетичних індикаторів якості життя є формування ПНМ. Йдеться про використання соціальної мережі Classroom20.com [25]. У цьому класі можна формувати стійкі співтовариства практиків (експертів), які беруть участь у МООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя», і сприяти таким чином підвищенню кваліфікації слухачів курсу за участю зацікавлених колег із різних країн і регіонів.

Варто відзначити і такий перспективний напрямок, як застосування різних засобів мобільного зв'язку з метою дистанційної підтримки отримання знань у користувачів системи моніторингу РСІЯЖ. Це стосується, насамперед, смартфонів і планшетів, що мають серед користувачів мобільного зв'язку чітку тенденцію до зростання.

Забезпечити мобільний доступ до ІАСМ-РСІЯЖ можна з використанням спеціальних додатків для LMS Moodle, які можна скачати з сайту MLE — Mobile Learning Engine [26]. Тут же знаходяться інструкції з інсталяції цих Open Source програмних продуктів.

Відносно новим напрямком дослідження у сфері МООС є розроблення різних типів аналітики, проблематика якої зараз активно обговорюється в академічних колах та науковій літературі. Ми пропонуємо підходи, засновані на створенні навчальної аналітики на засадах агент-орієнтованого моделювання і штучних нейронних мереж [27; 28].

На наш погляд, розробка зазначених напрямів дослідження дозволить у перспективі покращити запропоновану гібридну модель хМООС/сМООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя». В результаті можна буде покращити розробку контенту і технології навчання цільових користувачів інформаційно-аналітичної системи моніторингу регіональних синтетичних індикаторів якості життя і як наслідок — забезпечити належну підтримку розв'язання таких управлінських задач:

- ✓ оцінювання ефективності розвитку регіонів у контексті критеріїв якості життя;
- ✓ вдосконалення управління ефективністю регіональних соціально-економічних систем.

Отже розробка і застосування гібридної моделі МООС «Моніторинг регіональних синтетичних індикаторів якості життя» сприятиме, на нашу думку, безперервному онлайн-навчанню і підвищенню кваліфікації цільових користувачів ІАСМ-РСІЯЖ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Personal Learning Environment. Wikipedia [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_Learning_Environment
2. Massive open online course. Wikipedia [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Massive_open_online_course
3. Тимкин С. Л. Лихорадка МООСs. Как национальные образовательные системы реагируют на американские проекты [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://timkin-blog.blogspot.com/search?updated-max=2013-06-01T06:07:00-07:00&max-results=7&start=7&by-date=false>
4. Артеменко В. Б. Методологічні та інструментальні основи моніторингових оцінювань ефективності соціально-економічного розвитку регіонів // Економічні системи: монографія. Т. 2 / за ред. Г. І. Башнянина. — Львів: Вид-во комерційної академії, 2011. — С. 434–443.
5. Артеменко В. Б. Дистанционная поддержка приобретения знаний в системе мониторинга эффективности управления социально-эко-

- номическим развитием регионов [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/distsionnaya-podderzhka-priobreteniya-znaniy-v-sisteme-monitoringa-effektivnosti-upravleniya-sotsialno-ekonomicheskim-razvitiem/viewer>
6. Артеменко В. Б. Комплексне оцінювання ефективності соціально-економічного розвитку регіонів на основі критеріїв якості життя населення // Регіональна економіка. — 2005. — № 3. — С. 84–93.
 7. Downes S. Connectivism and Connective Knowledge [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://www.downes.ca/post/54540>
 8. Кухаренко В. Н. Инновации в e-Learning: массовый открытый дистанционный курс [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://vovr.ru/upload/Educa1011.pdf>
 9. Бугайчук К. Л. Массовые открытые дистанционные курсы: история, типология, перспективы [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: http://bugaychuk.blogspot.com/2013/06/blog-post_22.html
 10. Coursera [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://www.coursera.org/>
 11. EdX [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://www.edx.org/>
 12. Udacity [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://www.udacity.com/>
 13. OpenupEd [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://www.openuped.eu/>
 14. Prometheus [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://prometheus.org.ua/>
 15. Shaw J. Can MOOCs Predict the Future of Online Education? [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://harvardmagazine.com/2019/01/mooc?fbclid=IwAR0oYpitnpk2rXJ7VrWco4sgSYaNjC-7beiBS0Gk0tTPy6YoBh-uR62ObgAM>
 16. Apostolos K. 2019: The year MOOC platforms start to die? Adieu Open2Study [Електронний ресурс] / електронні дані. — <https://idstuff.blogspot.com/2019/01/2019-year-mooc-platforms-start-to-die.html>
 17. Hill P. US Higher Education Enrollment Trends by Distance Education Type, 2012–2018 [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://philonedtech.com/us-higher-education-enrollment-trends-by-distance-education-type-2012-2018/>
 18. Hicken A. eLearning Hype Curve: Our Predictions for 2019 [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://webcourseworks.com/elearning-predictions-hype-curve/>
 19. Bates T. Advice requested on 'Teaching in a Digital Age' [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://www.tonybates.ca/2019/01/07/advice-requested-on-teaching-in-a-digital-age/>
 20. Fidalgo-Blanco B., Sein-Echaluce M. L., Garsna-Pecalvo F. J. From massive access to cooperation: lessons learned and proven results of a hybrid xMOOC/cMOOC pedagogical approach to MOOCs // International Journal of Educational Technology in Higher Education 13, 24 (2016) [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-016-0024-z>
 21. MirnadaX [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://www.miriadax.net/>
 22. Артеменко В. Б. Персональные учебные среды в управлении региональным развитием [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/personalnye-uchebnye-sredy-v-upravlenii-regionalnym-razvitiem/viewer>
 23. Артеменко В. Б., Артеменко Л. В. Подходы к использованию информационно-коммуникационных технологий в кооперативном образовании и региональном управлении (опыт Львовской коммерческой академии) [Електронний ресурс] // УСиМ. — 2011. — № 4. — С. 20–27 / електронні дані. — Режим доступу: <http://usim.org.ua/arch/2011/4/4.pdf>
 24. Артеменко В. Б., Артеменко Е. В., Артеменко Л. В. Интеграция веб-инструментов организации вебинаров и создания скринкастов в LMS Moodle [Електронний ресурс] // УСиМ. — 2015. — № 1. — С. 32–38 / електронні дані. — Режим доступу: <http://usim.org.ua/arch/2015/1/5.pdf>
 25. Classroom20.com [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://www.classroom20.com/>
 26. MLE — Mobile Learning Engine [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://mle.sourceforge.net/old/download.php>
 27. Artemenko V. Agent-Based Modeling of the E-Learning Users' Behavior [Електронний ресурс] // International Journal of Computing. — 2014. — Vol. 13, Issue 1. — P. 61–69 / електронні дані. — Режим доступу: <http://computingonline.net/computing/article/view/622/584>
 28. Артеменко В. Б., Артищук І. В., Гудзовата О. О. Моделирование веб-аналитики в системах управления дистанционным обучением [Електронний ресурс] // Індуктивне моделювання складних систем: зб. наук. праць / Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України. — К., 2018. — Вип. 10. — С. 5–13 / електронні дані. — Режим доступу: http://www.mgua.irtc.org.ua/attach/IMCS/2018_10/3_Artemenko.pdf

ДО ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ

Воїнова С. О.

У сфері вищої освіти для формування професійних і загальнокультурних компетенцій майбутніх бакалаврів і магістрів потрібні нові умови навчання. Активне впровадження сучасних інформаційних технологій докорінно змінило підхід до освітнього процесу, зокрема набуло поширення дистанційне навчання. Поряд з класичними формами дистанційна форма навчання набула великої популярності серед українських абітурієнтів. Історія дистанційної освіти сягає своїм корінням далекого минулого. Нові інформаційні технології дозволили в умовах карантину, викликаного пандемією коронавірусу, організувати віддалене навчання без зниження якості. Ці технології, використовувані в дистанційному навчанні, забезпечують нові можливості здобувачам вищої освіти та висувають нові завдання викладачам. При дистанційному навчанні до організації процесу навчання висуваються додаткові вимоги. Ефективність дистанційного навчання може знизитися через відсутність живого контакту між педагогом і здобувачем вищої освіти, а також живого спілкування між самими здобувачами. Організація освітнього процесу шляхом об'єднання дистанційних і очних форм навчання є найкращим варіантом навчання в закладі вищої освіти.

In the field of higher education, for the formation of professional and general cultural competencies of future bachelors and masters, new learning conditions are needed. The active introduction of modern information technologies has radically changed the approach to the educational process, in particular, distance learning has become widespread. Distance learning has become very popular among Ukrainian applicants, along with classical forms of education. The history of distance education is rooted in the distant past. New information technologies have made it possible, in the quarantine conditions caused by the coronavirus pandemic, to organize remote learning without compromising quality. These technologies used in distance learning provide new opportunities for applicants for higher education and present new challenges for teachers. With distance learning, additional requirements are put forward to the organization of the learning process. The effectiveness of distance learning may decrease due to the lack of live contact between the teacher and the applicant for higher education, as well as live communication between the applicants themselves. Organization of the educational process by combining distance and full-time forms of education is the best option for training in a higher education institution.

Сьогодні у сфері вищої освіти для формування професійних і загальнокультурних компетенцій майбутніх бакалаврів і магістрів потрібні принципово нові умови навчання, а саме надання здобувачам

вищої освіти можливості побудови індивідуальних освітніх траєкторій, заснованих на використанні мережевої взаємодії з іншими закладами вищої освіти, використання електронного навчання і дистанційних освітніх технологій.

Активне впровадження сучасних інформаційних технологій в систему вищої освіти докорінно змінило підхід до освітнього процесу в багатьох країнах світу, включаючи Україну. У вітчизняній освітній практиці набули поширення нові форми навчання, одна з яких — дистанційне навчання — освітня система, побудована із застосуванням комп'ютерних телекомунікацій і використанням сучасних інформаційних і педагогічних технологій, що дозволяє надавати освітні послуги при віддаленій взаємодії здобувачів вищої освіти і викладачів.

Історія дистанційної освіти починається ще з 1700-х років. У 1728 році Калейб Філіпс подав у бостонську газету оголошення про набір студентів для вивчення стенографії в будь-якій точці країни шляхом обміну листами. Це послужило початком освіти на відстані [1].

У кінці XVIII століття з появою доступного поштового зв'язку в Європі виникло так зване кореспондентське навчання. Студенти отримували навчальні матеріали поштою, вели тісне листування з педагогами. Іспити здавали як наукову роботу. В 1892 році університет Чикаго створив першу дистанційну програму, ставши першим дистанційним навчальним закладом США. З 1899 року в Канаді Королівський університет став навчати студентів на відстані.

Створення радіо в 20-ті роки XX століття привело до появи радіокурсів, що склалися з серій бесід. Такі курси доповнювалися друкованими матеріалами та аудиторними заняттями. Державний університет Пенсільванії першим впровадив радіо в навчання в 1922 році. У 1925 році державний університет Айови почав пропонувати кредити для навчання протягом п'яти курсів радіомовлення. У 1934 році цей же університет запустив перший у світі освітній канал, який працює і донині.

У 50-ті роки активний розвиток отримали телевізійні курси, які поєднувалися з випуском посібників, аудиторними заняттями і час від часу екзаменаційним контролем.

У 1960-ті роки дистанційна освіта отримала міжнародне визнання і стала активно розвиватися за підтримки ЮНЕСКО. Компанія IBM розробила унікальну програму дистанційного навчання Coursewriter. У 1963 році прем'єр-міністр Англії Г. Вільсон оголосив про створення

«ефірного університету», який передбачав об'єднання всіх навчальних закладів, що використовують дистанційну освіту. У 1969 році з'явився Відкритий університет у Великобританії. З цього моменту в дистанційній освіті вперше почав застосовуватися комплексний підхід до навчання з використанням усього розмаїття засобів при домінуванні друкованих матеріалів. Одностороння взаємодія університету зі студентами здійснювалася через друкований матеріал, що доповнювався радіо- та телепередачами (аудіокасети набули поширення пізніше). Двостороння взаємодія між наставниками і студентами здійснювалася за допомогою листування, очних консультацій і короткострокових курсів за місцем проживання.

Наступним кроком розвитку дистанційної освіти стало активне використання інформаційних і комунікаційних технологій з двостороннім зв'язком в різних формах (текст, графіка, звук, анімація) як в синхронному («одночасно» — у вигляді відео- або аудіографічних конференцій, однаково популярних в північноамериканських навчальних закладах), так і в асинхронному режимі («не одночасно» — з використанням електронної пошти, Інтернету або телеконференцій).

У 1997 році компанія Blackboard розробила стандартну платформу для управління та надання курсів. Нині компанія є світовим лідером у сфері дистанційних технологій, продукти якої використовують більше 10000 організацій по всьому світу.

У 2000-х роках дистанційне навчання стало домінуючим. Система Інтернету удосконалювалася, ставала більш доступною, також розвивалися і технології дистанційної освіти. В результаті кількість університетів, які використовують Інтернет-технології, зросла.

Як і в усьому світі, сьогодні велику популярність серед українських абітурієнтів набула поряд з класичними формами навчання (денна, заочна) дистанційна форма навчання. Доказом цього є популярність у нас таких проєктів, як Khan Academy, Coursera, EdX, Canvas.net, Open2study, FutureLearn тощо. Спочатку в Україні дистанційна форма навчання розглядалася як альтернатива заочної. Але через те, що в Інтернеті з'являється все більше онлайн-курсів від кращих світових вишів, наші навчальні заклади змушені не відставати, щоб не втратити конкурентоспроможність у сфері освіти. Створено нормативну базу для впровадження повноцінної дистанційної освіти. Навесні 2013 року прийнято Положення про дистанційну освіту, з'явилися вимоги до вишів, які хочуть впровадити дистанційну форму навчання. При

вступі на дистанційну форму навчання абітурієнт надає сертифікат ЗНО або складає вступні іспити. Він забезпечується необхідним навчальним матеріалом — відео-, аудіозаписами лекцій та семінарів, практичними завданнями з методичними рекомендаціями, має доступ до електронної бібліотеки тощо — та самостійно його вивчає у зручний для себе час. Викладачі постійно взаємодіють зі здобувачами вищої освіти через електронну пошту, Skype, телефон. Складання екзаменаційної сесії відбувається дистанційно — виконання контрольної роботи, співбесіда через Skype, або явкою здобувача вищої освіти до навчального закладу (як правило, один день). По закінченні навчання здобувач вищої освіти отримує диплом державного зразка, який не відрізняється від диплому, отриманого при навчанні на інших формах. Строк навчання за дистанційною формою, як і при денній: бакалавр — 4 роки, магістр — 1–2 роки. Вартість навчання, як правило, в кілька раз менше. Поки що в українських закладах вищої освіти дистанційна форма навчання не дуже поширена. Це обумовлено тим, що потрібні величезна кадрова, технічна, організаційна підготовка та серйозні фінансові вкладення. Якщо заклад вищої освіти набирає майбутніх здобувачів вищої освіти на дистанційне навчання, він не може зійти з дистанції, оскільки бере на себе серйозну відповідальність за підготовку нових фахівців. Щоб організувати повноцінну дистанційну освіту в закладах вищої освіти, потрібна серйозна державна підтримка — фінансова, законодавча, кадрова. На даному етапі закладам вищої освіти легше впроваджувати дистанційні технології в навчання, ніж пропонувати повноцінну дистанційну освіту, хоча впровадження цієї форми неминуче.

З 12 березня 2020 року в Україні почався період, який вплинув на життя кожного громадянина країни, — карантин у зв'язку з пандемією коронавірусу. В цей час всі установи освіти повинні були змінити традиційну (очну) форму навчання на дистанційну, вперше організувавши для своїх учнів або здобувачів вищої освіти можливість продовжити навчання, не виходячи з дому. На тлі карантину сфера вищої освіти була змушена практично повністю перейти в онлайн-формат. Нові інформаційні технології дозволили організувати віддалене навчання таким чином, щоб цей перехід не позначився на якості навчання.

Нові вимоги до знань, стрімкий розвиток інформаційних технологій, поява нових методик навчання, стандартизація програм вищої освіти в різних країнах світу — все це вимагає ретельного перегляду

підходу до системи навчання, яка повинна максимально використувати доступні телекомунікаційні, інформаційні та педагогічні технології.

Дистанційне навчання надає викладачам унікальні можливості з підвищення кваліфікації, адже через Інтернет можна обмінюватися досвідом з колегами, брати участь в онлайн-заходах.

Перевагами дистанційного навчання є такі:

- економія часу;
- можливість навчати одночасно велику аудиторію;
- зниження витрат на проведення навчання;
- підвищення якості навчання у зв'язку з використанням сучасних інформаційних технологій;
- створення загальних середовищ освіти і методик навчання;
- миттєвий доступ здобувачів вищої освіти до електронних бібліотек і баз даних;
- можливість здобувати освіту усім бажаним, незважаючи на стан здоров'я і соціальне становище в суспільстві;
- зручність зв'язку викладача і здобувача вищої освіти, в залежності від побажань обох [2].

Спектр дій для реалізації дистанційного навчання включає такі компоненти:

- технічна і програмна підтримка процесу навчання;
- канали зв'язку, що забезпечують доступ до електронних освітніх ресурсів;
- можливість пошуку, збору, обробки, перетворення і зберігання інформації з метою створення нового інформаційного продукту;
- методичний супровід.

Для організації дистанційної освіти необхідний певний набір засобів:

- персональний комп'ютер (ноутбук);
- пристрій звукопередачі (навушники, колонки);
- відеокамера і мікрофон;
- програмне забезпечення (інтернет-браузер, Adobe Flash Player та інші);
- стабільне інтернет-з'єднання не менше 256 кбіт / с;
- стороннє програмне забезпечення.

Нові інформаційні технології, використовувані в дистанційному навчанні, дозволяють здобувачу вищої освіти:

- самостійно визначати для себе час і форму навчання;

- самостійно вибирати послідовність вивчення матеріалу.

При цьому здобувач вищої освіти повинен:

- досягти запланованих результатів навчання;
- вивчити весь матеріал відповідно до освітньої програми.

Завдання викладача:

- організація освітнього процесу з застосуванням дистанційних освітніх технологій;
- розробка системи і проведення підсумкового оцінювання здобувача вищої освіти;
- надання консультаційної підтримки [3].

Крім того, викладач є відповідальним за досягнення здобувачами вищої освіти запланованих результатів навчання.

Важливий аспект дистанційного навчання — збереження комунікації між учасниками навчального процесу. Для забезпечення цього завдання використовують сучасні телекомунікаційні технології. Якщо використовують методику синхронного дистанційного навчання, викладач і здобувачі вищої освіти спілкуються онлайн. Якщо ж застосовують методику асинхронного дистанційного навчання, то спілкування між здобувачем вищої освіти і викладачем відбувається офлайн — за допомогою електронних листів.

Асинхронна методика навчання передбачає більшу відповідальність здобувача вищої освіти за підсумковий результат. На перший план виходить вже самонавчання і самостійне визначення темпу вивчення нового матеріалу. Викладачеві в цьому випадку вже належить роль консультанта. Однак найбільшого освітнього ефекту вдається домогтися при одночасному використанні двох методик.

Основними формами дистанційного навчання є:

- WEB-заняття — відеолекції, конференції, семінари, лабораторні роботи, практичні заняття, які проводяться за допомогою телекомунікаційних систем та інших можливостей Інтернету. Для таких занять використовують спеціальні освітні форуми. У них є можливість тривалої роботи й асинхронної взаємодії викладача та слухача. Для проведення використовують зокрема програми Skype, Youtube;
- відеоконференції, форуми і дискусії на платформах Zoom, Viber, WhatsApp;
- чат-заняття з використанням чат-технологій, всім учасникам синхронно надають доступ до чату в Facebook, Telegram, Google;
- телеприсутність — це заняття, в ході яких слухач присутній на заняттях шляхом телекомунікаційних систем або відеозв'язку. Існу-

ють роботи, керуючи якими дистанційно, можна повноцінно взаємодіяти з навколишнім середовищем, досягаючи цим відчуття повної присутності на заняттях в закладі вищої освіти;

- вебінари — дистанційні уроки, ділові ігри, семінари, конференції, лабораторні роботи, які проводяться із застосуванням засобів телекомунікацій та інших можливостей мережі Інтернет. Вебінари відрізняються більшою тривалістю роботи (кілька днів або навіть місяців), а також застосуванням асинхронного методу взаємодії.

- системи електронного навчання і тестування Moodle та інші [4].

З метою реалізації дистанційних освітніх технологій необхідно мати в розпорядженні такі засоби:

- система управління. Зазвичай для цього використовується сайт закладу вищої освіти, де ведуть електронні журнали;
- розроблений і затверджений навчальний контент;
- забезпечення можливості спільного зберігання і редагування документів;
- блог або сайт викладача;
- мережеві інтерактивні дошки, ресурси для створення карт знань.

Всі форми дистанційного навчання можна задіяти для реалізації різних освітніх програм:

- участь (онлайн, офлайн) в різноманітних інтернет-заходах (інтернет-олімпіади, конкурси, конференції і т. ін.);
- підготовка до іспитів;
- участь в різноманітних телекомунікаційних заходах;
- здійснення проектної та дослідницької діяльності, а також ведення мережевих проектів;
- організація додаткового навчання за інтересами.

При використанні дистанційного навчання до організації процесу самого навчання висуваються певні вимоги:

- наявність спеціального мультимедійного інтерактивного навчального курсу;
- застосування апаратно-програмного забезпечення для управління навчальним процесом;
- забезпечення технічної підтримки, що передбачає залучення до роботи мережевих адміністраторів, інженерів, програмістів, лаборантів для обслуговування програмного середовища, навчального процесу і техніки;
- розробка відповідного комплексу нормативних правових документів.

Педагогічні принципи побудови дистанційного курсу:

- У центрі навчання має перебувати самостійна пізнавальна діяльність здобувача вищої освіти, а не сама дисципліна або способи її викладання.

- Застосування новітніх педагогічних технологій, які відповідають специфіці дистанційної форми навчання і максимально сприяють розкриттю внутрішніх резервів кожного здобувача вищої освіти.

- Забезпечення активної взаємодії здобувача вищої освіти не тільки з викладачем, але й з іншими учасниками навчального процесу.

- Система контролю повинна мати систематичний характер і будуватися на основі оперативного зворотного зв'язку (надання здобувачеві вищої освіти консультацій в зручний для нього час) і відстроченого контролю (наприклад, при проведенні тестування).

- Процес створення дистанційних навчальних курсів має починатися з проведення глибокого аналізу цілей навчання, наявних дидактичних можливостей, а також вимог до технологій дистанційного навчання.

Основна проблема в цьому випадку полягає в створенні концептуально нового методичного матеріалу, який ґрунтується на поетапному сприйнятті інформації та повному контролю знань здобувача вищої освіти [5].

Для того щоб дистанційний курс став більш ефективним, він повинен мати такі характеристики:

- детальне і ретельно продумане планування діяльності здобувачів вищої освіти, включаючи чітку постановку завдань і цілей навчання, надання всіх необхідних навчальних матеріалів;

- забезпечення оперативного й ефективного зворотного зв'язку, який дозволяє здобувачеві вищої освіти отримувати достовірну інформацію про правильність його просування;

- забезпечення зворотного зв'язку між здобувачем вищої освіти і викладачем;

- постійна підтримка мотивації здобувача вищої освіти;

- врахування особливостей технологічної бази, на якій планується розгорнути той чи інший курс дистанційного навчання.

Основними цілями впровадження дистанційної форми навчання є:

- здійснення повноцінного розвитку особистості здобувача вищої освіти за рахунок зменшення частки репродуктивної діяльності в рамках освітнього процесу;

- організація більш ефективного використання навчального часу;
- підвищення якості освіти;
- забезпечення доступності навчання за рахунок активного використання можливостей відкритої самоосвіти;
 - розвиток таких якостей особистості, як відповідальність, організованість, самостійність;
 - збереження і поліпшення психічного і фізичного здоров'я здобувачів вищої освіти [6].

У той же час ефективність дистанційного навчання може знизитися через ряд недоліків, які мають місце, а саме:

- необхідність спеціального обладнання на робочому місці (часом дорогого);
- слабе відпрацювання практичних та лабораторних занять;
- обмежена можливість викладу думок в усній формі;
- неповноцінність емоційної складової через відсутність живого контакту здобувачів вищої освіти з викладачем, а також живого спілкування між самими здобувачами вищої освіти.
- висока трудомісткість на етапі створення навчального матеріалу;
- відносно слабка методична організація навчання;
- необхідність надання здобувачам вищої освіти доступу до технічних засобів навчання (технічних засобів передачі навчальної інформації, контролю знань, тренажерних, засобів навчання і самонавчання, допоміжних засобів).

І найголовніший методичний недолік — неможливість забезпечення 100 % контролю над засвоєнням знань здобувачами вищої освіти.

Організація освітнього процесу шляхом об'єднання дистанційних і очних форм навчання є найкращим варіантом навчання у вітчизняних закладах вищої освіти.

Висновки: У сфері вищої освіти для формування професійних і загальнокультурних компетенцій майбутніх бакалаврів і магістрів у сучасних умовах потрібні принципово нові умови навчання. Активне впровадження сучасних інформаційних технологій в систему вищої освіти докорінно змінило підхід до освітнього процесу, зокрема набуло поширення дистанційне навчання. Нові інформаційні технології дозволили в умовах карантину, викликаного пандемією коронавірусу, організувати віддалене навчання без зниження його якості. Нові інформаційні технології, використовувані в дистанційному навчанні, забезпечують нові можливості здобувачам вищої освіти та висувають

нові завдання викладачам. При використанні дистанційного навчання до організації процесу самого навчання висуваються нові вимоги. Організація освітнього процесу шляхом об'єднання дистанційних і очних форм навчання є найкращим варіантом навчання у вітчизняних закладах вищої освіти. Ефективність дистанційного навчання може знизитися через відсутність живого контакту між педагогом і здобувачем вищої освіти, а також живого спілкування між самими здобувачами вищої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петькова Ю. Р. История развития дистанционного образования. *Успехи современного естествознания*. 2015. № 3. С. 199–204.
2. Шевченко О. И., Ивко В. И. Формы дистанционного обучения в вузе. *Инновационная наука*. 2018. № 12. С. 175–178.
3. Нісімчук А. С., Падалка О. С., Шпак О. Т. Сучасні педагогічні технології. Київ: Просвіта, 2010.
4. Падалка О. С., Нісімчук А. С. Дидактично-технологічна підготовка магістрів: прикладний аспект. Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2014.
5. Пехота О. М. Освітні технології. Київ: АСК, 2012.
6. Прокопенко І. Ф., Євдокимов В. І. Педагогічна технологія. Харків: Колегіум, 2015.

КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ

Іванова Л. В., Скорнякова О. В.

Розглянута автоматизована комп'ютерна система діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій, що складається з набору тестів на визначення психологічних, творчих і особистісних якостей слухача. Визначено, що застосування комплексного підходу з системного діагностування з використанням різноспрямованих тестів дозволяє отримати системну оцінку складових конкурентоспроможності майбутніх фахівців у динаміці. Обґрунтовано застосування автоматизованої комп'ютерної системи діагностики особистості студента для оцінки та атестації психологічного стану студентів закладів освіти різного рівня акредитації, виявлення особистісно-професійних особливостей, що дозволить кількісно визначити рівень конкурентоспроможності майбутніх фахів-

ців з інформаційних технологій та значно спрощує фіксацію та обробку відповідей респондента при одночасному зниженні ймовірності помилок на даному етапі діагностики. Розглянуто функції автоматизованої комп'ютерної системи діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій. Представлена структура блоків автоматизованої комп'ютерної системи діагностики конкурентоспроможності. Представлені результати експериментального дослідження конкурентоспроможності студентів Одеського технічного коледжу Одеської національної академії харчових технологій з використанням автоматизованої комп'ютерної системи діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій. Запропоновано використання автоматизованої системи для діагностики й оцінки творчих, психологічних та особистісних складових конкурентоспроможності студентів для роботи структурних підрозділів навчального, психологічного та виховного напрямку в закладах освіти різного рівня акредитації для визначення рівня сформованості ключових особистісних якостей здобувачів освіти.

The article presents an automated computer system for diagnosing the competitiveness of future IT-specialists, which consists of a set of tests for determining the psychological, creative and personal qualities of a student. It is definitely that the use of an integrated approach to system diagnostics, using multidirectional tests, allows us to obtain a systematic assessment of the components of the competitiveness of the future specialists in dynamics. The use of an automated computerized system for diagnosing a student's personality is justified for assessing and certifying the psychological state of students of educational institutions of different accreditation levels, identifying personality-professional features, which will quantitatively determine the level of competitiveness of future IT-specialists and greatly simplify the fixation and processing of respondent's answers while reducing the probability of errors at this stage of diagnosis. The functions of an automated computer system for diagnosing the competitiveness of future IT-specialists are considered. The structure of the automated computer system for diagnosing competitiveness is presented. The results of an experimental study of the competitiveness of students of the Odessa Technical College of the Odessa National Academy of Food Technologies using an automated computer system for diagnosing the competitiveness of future IT-specialists are presented. The use of an automated system for diagnosing and evaluating creative, psychological and personal components of competitiveness and determining the level of formation of key personal qualities of students in the work of structural units of educational, psychological and educational areas in educational institutions of different levels of accreditation is proposed.

В умовах різнопланового розвитку нашої держави відбувається незворотний процес модернізації всієї системи освіти, основною метою якого є підготовка конкурентоспроможного фахівця відповідного рівня та профілю, який вільно володіє своїм фахом та орієнтується в

суміжних галузях діяльності, здатний до ефективної діяльності за фахом на рівні світових стандартів, готовий до постійного професійного розвитку. Конкурентоспроможність сьогодні розглядається як ознака сучасного фахівця.

За даними дослідження Exploring Ukraine IT Outsourcing Industry, українські заклади освіти щорічно випускають близько 16 тис. фахівців у сфері інформаційних технологій [1]. Однак попит та пропозиції на ринку в галузі інформаційних технологій залишаються не збалансованими. І щомісяця українські IT-компанії оприлюднюють близько трьох тисяч нових вакансій. На жаль, наразі все частіше йдеться про невідповідність існуючої системи підготовки фахівців реальним вимогам ринку та, зокрема, і у галузі інформаційних технологій. А. Яворський, віце-президент компанії GlobalLogic, стверджує, що «кількість молодих фахівців, здатних займатися IT, на сьогоднішній день достатня, але їх якість грає не менш важливу роль. На жаль, сучасна система освіти в Україні не встигає за трендами в галузі IT-технологій» [2]. З такою думкою згоден і Я. Любинець, голова ради директорів компанії SoftServe. Керуючий директор Luxoft Ukraine О. Альхімович зазначає, що заклади освіти через застарілі програми навчання не дають молодим фахівцям розуміння вимог бізнесу, «ринку потрібні фахівці, які працюють на краю інноваційних рішень, вміють думати, творити, створювати складні креативні рішення».

На «Порталі професійного консультування» представлено професіограму фахівця з інформаційних технологій. По суті, це документ, у якому подано комплексний, систематизований і всебічний опис об'єктивних характеристик професії та вимог до індивідуальних психологічних особливостей людини. В переліку особистісних якостей, що забезпечують успішність виконання професійної діяльності в IT-галузі, зазначені такі як: відповідальність, уважність, терплячість, старанність, систематичність у роботі, акуратність, логічне мислення, завзятість, наполегливість, гнучкість і динамічність мислення, уміння самостійно приймати рішення, цілеспрямованість, технічні здібності, математичні здібності, аналітичне мислення.

Проведений аналіз показав, що сьогодні роботодавці потребують фахівців з досвідом роботи та наявним спектром професійних знань, з розвинутими особистісними навичками, які суттєво підвищують ефективність праці. Така позиція підтверджується результатами вивчення резюме та вакансій на спеціалізованих ресурсах та сайтах провідних роботодавців IT-галузі.

Дослідження конкурентоспроможності як інтегральної властивості особистості, динаміка її розвитку в процесі професійного становлення, можливість виявити нові резерви особистості набуває актуальності та потребує поглибленого вивчення.

Вивченню конкурентоспроможності як показника якості підготовки фахівців присвячені роботи Р. Фатхутдінова, Д. Чернілевського, С. Широкова, Д. Богині, Н. Глевацької, О. Грішної, М. Кримова, О. Кримова, Л. Лісогора, М. Семикіної, С. Сотнікової, Н. Шульги. У зарубіжній педагогіці проблема конкурентоспроможності фахівця стала предметом досліджень Р. Квасниці, В. Ландшеєра, М. Леннона, П. Мерсера, М. Робінсона та ін. У дослідженнях О. Душкіної, М. Князевої, М. Машнікова, В. Оганесова, М. Семенової розглядалися проблеми розвитку особистості фахівця. Структуру та характеристики конкурентоспроможних якостей особистості розглянуто у працях І. Драч, Г. Дмитренко, В. Андрєєва, Н. Борисова, Є. Климова, А. Маркової, Л. Мітіної. У дослідженні Л. Мітіної представлений психологічний аспект розвитку конкурентоспроможної особистості.

Слід зазначити, що у різних країнах триває діалог між роботодавцями та закладами освіти щодо визначення особистісних та професійних навичок, які можуть стати ключовими для фахівця. Досліджується це питання і в Україні. Дослідження Світового банку «Навички для сучасної України» (2015) показали, що в Україні існує значний попит на розвинуті когнітивні уміння, самоорганізацію, стійкість, командну роботу та бажання вчитися. За останні роки суттєвих змін даний перелік не зазнав. Так, згідно з дослідженням, проведеним Центром «Розвиток КСВ» протягом липня-серпня 2016 року, найбільший попит серед українських роботодавців мають такі навички: вміння працювати в команді, комунікабельність, аналітичне мислення, здатність швидко навчатися, гнучкість, відповідальність, ініціативність, грамотна письмова та усна мова, емоційний інтелект. Разом з тим, у перспективі 2030 року, на думку всіх тих же респондентів, найбільший попит матимуть критичне мислення та проектний підхід до вирішення завдань. Важливе місце в системі вимог до підготовки майбутнього фахівця займають відповідні психологічні характеристики, особистісні та професійні якості, які могли б забезпечити високий рівень конкурентоспроможності на сучасному ринку праці.

Визначення особистісних якостей та характеристик, які необхідні майбутньому ІТ-фахівцеві для ефективного вирішення виробни-

чих задач, враховуючи вимоги усіх зацікавлених сторін — роботодавців, державних та приватних установ, освітніх закладів, — потребує комплексного підходу з системного діагностування з використанням різноспрямованих тестів, що дозволить отримати системну оцінку складових конкурентоспроможності майбутніх фахівців у динаміці.

Діагностика повинна будуватися на яasnих і точних уявленнях про сутність цього процесу. Психологи, одностайно визнаючи, що феномен особистості існує і належить в психологічній науці до числа базових об'єктів дослідження, так само одностайно вважають, що проблема об'єктивного визначення сутності особистості, її інтерпретації є однією з найважливіших.

Діагностику сформованості конкурентоспроможності можливо реалізувати за допомогою комплексу взаємодоповнюючих методів та методик:

- опитування та інтерв'ювання, у процесі якого було виявлено думки студентів, викладачів та фахівців на проблему конкурентоспроможності та визначення переліку пріоритетних професійно важливих та особистісних якостей конкурентоспроможного фахівця з інформаційних технологій;
- спостереження, метою якого було цілеспрямоване й систематичне сприйняття дій і поведінки майбутніх конкурентоспроможних ІТ-фахівців;
- самооцінювання, у процесі якого визначався рівень сформованості особистісних якостей конкурентоспроможного фахівця з інформаційних технологій;
- тестування, яке дозволило виявити рівень професійних знань, умінь і навичок майбутнього ІТ-фахівця.

Узагальнюючи результати теоретичного аналізу педагогічної та психологічної літератури, монографій, наукових статей та дисертацій (А. Андрєєва, Т. Андріяко, С. Безбородих, Л. Дудко, Л. Курзаєвої, О. Лісовської, В. Майковської, Д. Мустафіної, В. Медведь, Р. Фатхутдінова та ін.), нами визначена структура конкурентоспроможності фахівця як інтегрального особистісного утворення, що включає такі компоненти (рис. 1):

- мотиваційно-ціннісний;
- когнітивний;
- діяльнісний;
- особистісно-рефлексивний.

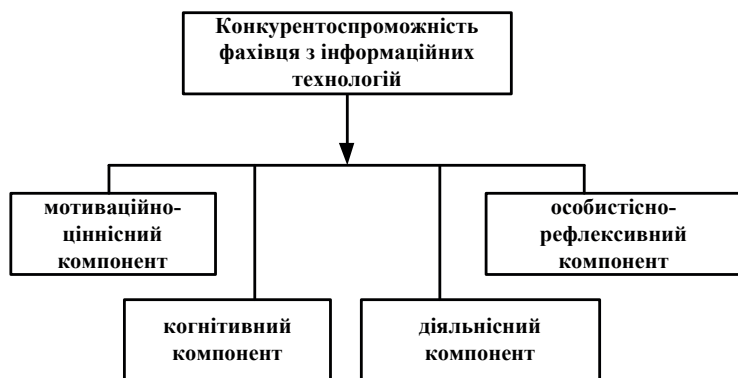


Рис. 1. Структура конкурентоспроможності фахівця з інформаційних технологій

Зазначені складові конкурентоспроможності є взаємозалежними та в цілості забезпечують успішну професійну діяльність та конкурентоспроможність майбутнього фахівця з інформаційних технологій на ринку праці.

Наша мета — представити автоматизовану комплексну систему діагностики особистості студента, що складається з набору тестів на визначення психологічних, творчих і особистісних якостей слухача; для оцінки та атестації психологічного стану студентів ЗВО, виявлення особистісно-професійних особливостей, що дозволить кількісно визначити рівень особистісної складової конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій.

Автоматизована система діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій — це десктопний додаток, що працює на операційній системі Windows, який реалізовано мовою програмування C# з підтримкою технології Windows Forms, яка є однією з найпопулярніших технологій для розробки віконних додатків Windows.

Комплексна автоматизована система діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій представляє собою комп'ютерну програму з 16 доступних для проходження тестів. За принципом проходження тести можна розділити на дві категорії: «питання — відповідь» і «визначення пріоритетів». За змістом питань тести діляться на: текстові та текстові із застосуванням графіки. Комплекс діагностичних засобів визначено на основі ана-

лізу наукових праць та дисертаційних досліджень психологічного та педагогічного спрямування з вивчення феномену «конкурентоспроможності».

У загальному виді структуру програми «Комп'ютерна діагностика особистості» можна поділити на три основних блоки: блок реєстрації, блок тестування, блок адміністрування.

Блок реєстрації являє собою перше вікно програми і складається з кількох тестових полів, у які людина, що тестується, вводить основні дані, такі як прізвище, ім'я, по батькові, групу та стать. Алгоритм програми перевіряє дані, які вводить студент. Наприклад, у поля прізвище, ім'я, по батькові та група не дозволено водити будь-які символи і букви, окрім кирилиці та знаку «-», і алгоритм це враховує.

Рис. 2. Вікно реєстрації

Після натискання на кнопку «Розпочати тестування» програма згідно з алгоритмом перевіряє, чи заповнені усі поля з прізвищем, ім'ям, по батькові та групою, якщо хоча б одне поле є пустим (не заповненим), програма виводить вікно з текстом помилки «Заповніть усі поля!». Якщо усі поля заповненні, вікно реєстрації закривається та робота з блоком вважається закінченою, і відкривається вікно вибору тестів, яке належить до блоку тестування.

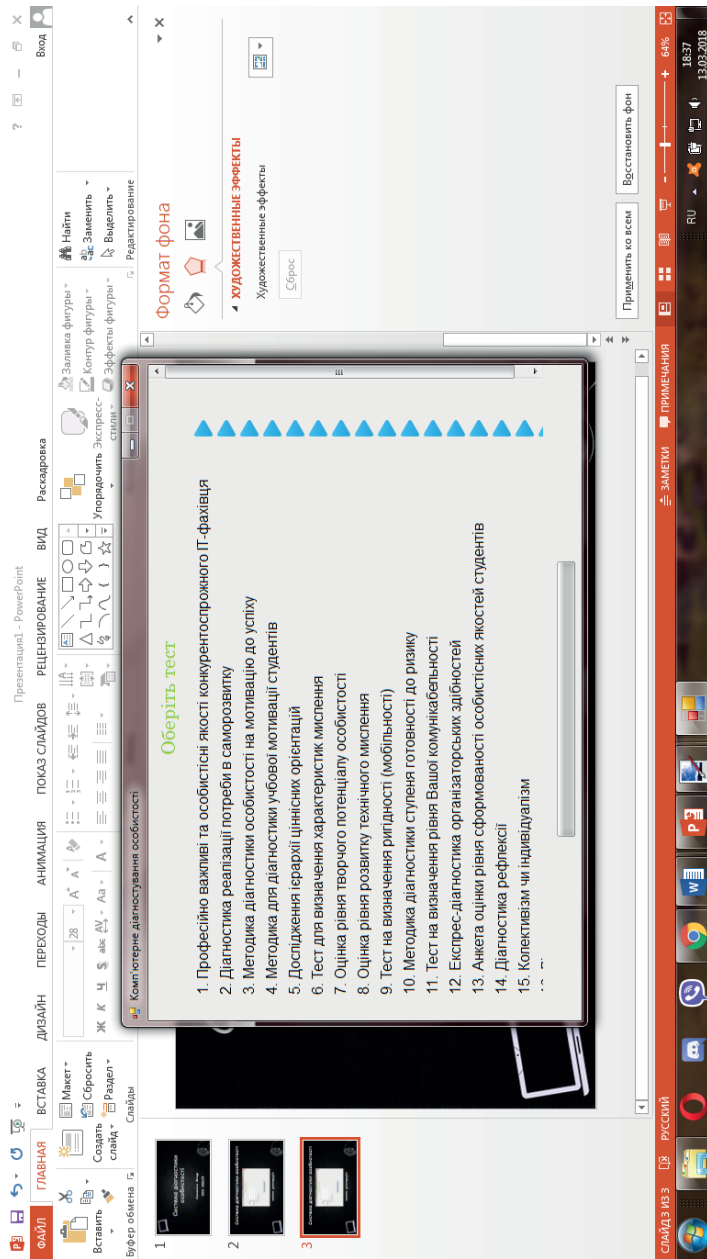


Рис. 3. Вікно вибору тесту

Блок тестування складається з вісімнадцяти вікон, з яких одне вікно для вибору тесту, одне вікно для відображення результатів тестування та шістнадцять вікон, які відображають безпосередньо кожен з шістнадцяти тестів.

Першим відображується вікно вибору тесту, на якому є шістнадцять кнопок. При натисканні на одну з кнопок відкривається вікно з відповідним за номером тестом. Усі тести поділяються на два види «питання — відповідь» та «визначення — пріоритетів».

У тестах зі структурою «питання — відповідь» у вікні відображається питання і список можливих відповідей поряд з ним. У списку користувач має можливість вибрати одну з відповідей.

У тестах зі структурою «визначення пріоритетів» у вікні відображається твердження і поряд з ним — список з місцем, на яке необхідно поставити це твердження. При виборі місця твердження у списку пріоритетів — це місце стає недоступним для інших тверджень.

При натисканні на кнопку «Далі», згідно з алгоритмом, програма перевіряє, чи в усіх списках обрано відповідь. Якщо хоч на одне питання відповідь не обрано, програма виводить вікно помилки з текстом «Заповніть усі відповіді!», інакше починається процес обробки результатів тестування.

Процес обробки результатів поділяється на декілька етапів. Перший етап — це безпосередньо підрахунок кількості балів за пройдений тест. Схема підрахунку балів для кожного тесту відрізняється. У тестах, де є одна вірна відповідь, — бали нараховуються за вибір цієї відповіді. Крім того, є тести, де немає вірної відповіді, а студент повинен просто оцінити те чи інше твердження, у цьому випадку бали нараховуються відповідно до виставленої студентом оцінки.

Другий етап обробки результатів — це визначення рівня результату тесту. Результати кожного тесту приводяться до тривірневої шкали, в залежності від набраної кількості балів (високий, середній і низький рівень), чим вище рівень, тим вище у студента розвинена якість, на виявлення якої був направлений тест. У тестах зі структурою «визначення пріоритетів» бали не підраховуються, процес обробки результатів полягає лише у збереженні обраного місця у списку пріоритетів для кожного з тверджень.

Етап збереження є третім етапом. Під час третього етапу результати зберігаються у базі даних. Цей процес складається з підключення до бази даних, формування тексту запиту до бази даних, виконання команди з текстом запиту до бази даних (етап безпосереднього

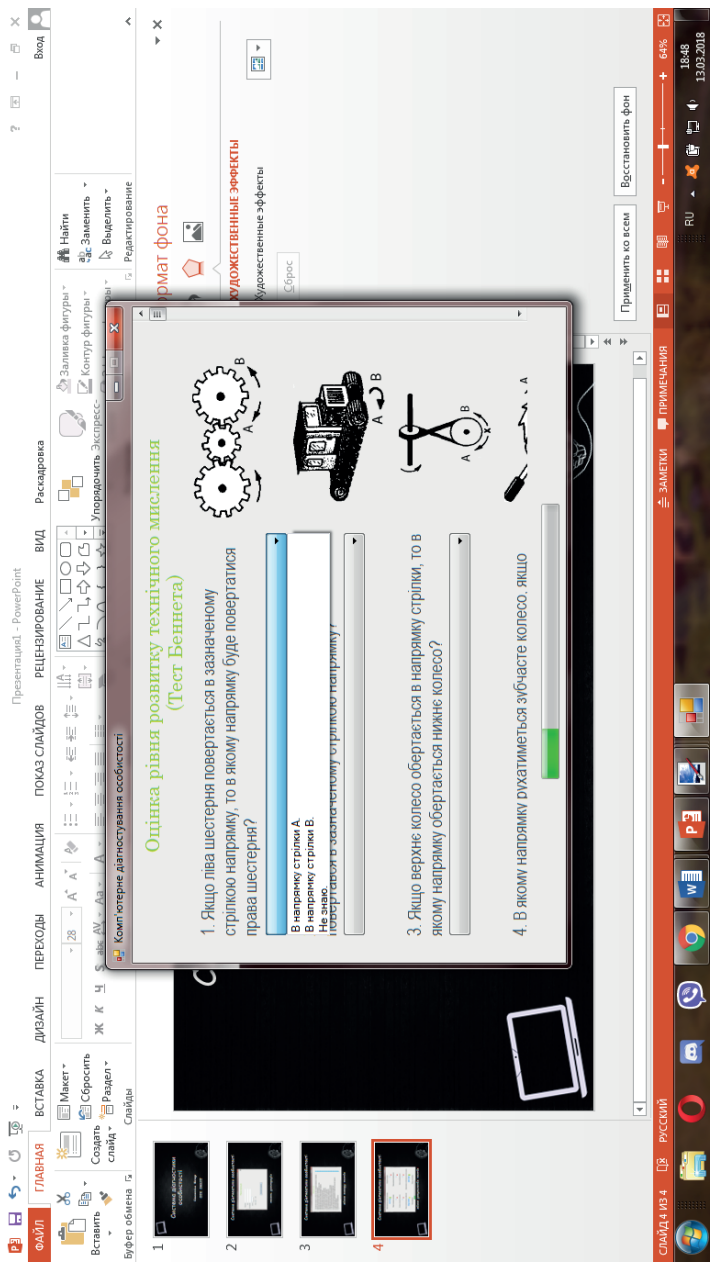


Рис. 4. Вікно тесту

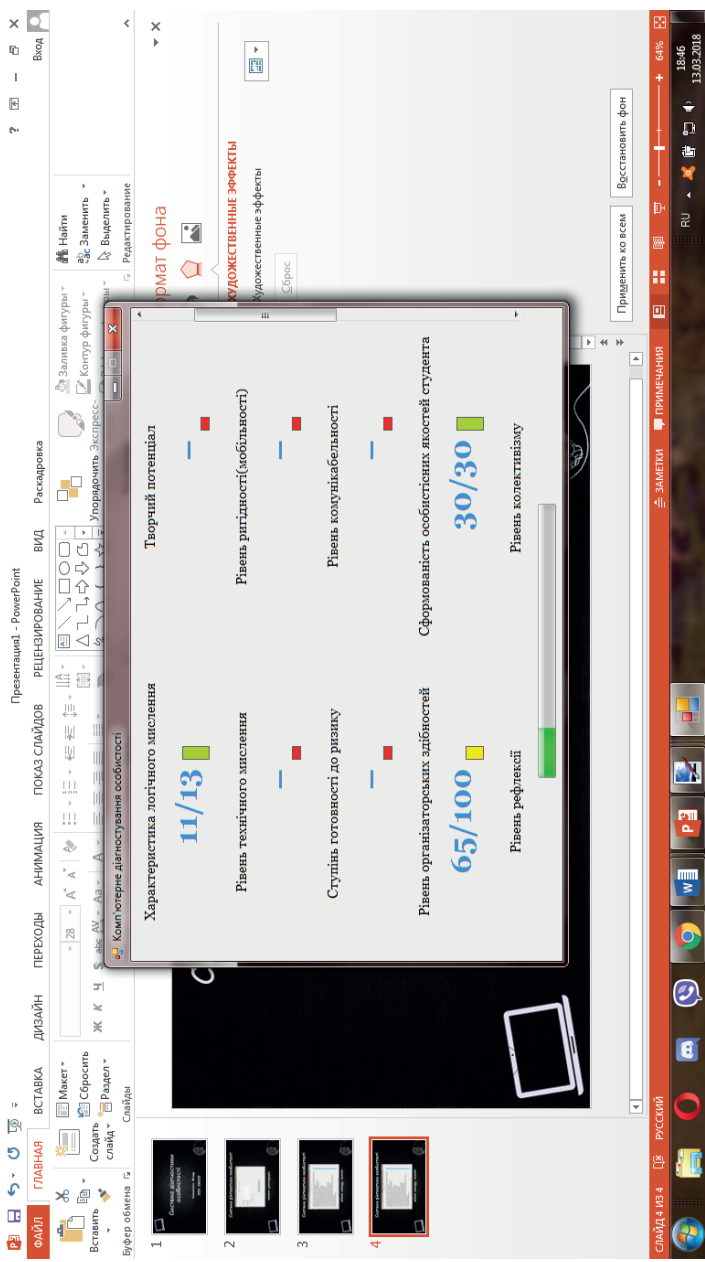


Рис. 5. Вікно результатів тестування

збереження результатів) і закриття підключення до бази даних. Якщо на одному з етапів виникла помилка (наприклад, немає з'єднання з Інтернетом або адміністратор ввів невірні дані для підключення до бази даних), — користувач побачить помилку з текстом: «Помилка підключення до бази даних. Перевірте підключення до мережі або зверніться до адміністратора», результати не зберігаються у базі даних, але можуть бути збережені пізніше при налагодженні зв'язку з базою даних. Етап збереження результатів у базі даних проходить паралельно виконанню програми, тож студент має можливість вільно користуватися програмою одночасно з процесом збереження результатів.

Після проходження тесту користувачу знову відкривається вікно вибору тестів. При цьому пройдений тест буде помічений як виконаний. Пройти один і той же тест за одну сесію не можливо. При натисканні на помітку про виконання тесту відкривається вікно результатів тестування, де користувач може переглянути свої результати за всі пройдені ним тести (кількість набраних балів та їх вираження у трирівневій шкалі). Результати тестів зі структурою «визначення пріоритетів» користувач побачити не може, бо цих результатів немає за визначенням. Кнопка «Назад» на панелі результатів повертає користувача на панель вибору тестування. Крім того, після проходження чергового тесту збільшується значення шкали прогресу, яка відображає ступінь проходження діагностики.

Якщо через проблеми зі з'єднанням програмі не вдалося зберегти усі результати діагностики, то при її закритті, згідно з алгоритмом, буде виведено вікно попередження з текстом: «Не усі результати були збережені, ви впевнені, що бажаєте закрити додаток?» з двома кнопками для відповіді «Так» і «Ні». Якщо користувач натисне кнопку «Ні» — скрипт спробує ще раз зберегти усі не збережені результати діагностики. Якщо ж користувач обере варіант «Так», — програма завершить виконання.

Блок адміністрування. Цей блок є технічною частиною програми, яка не є доступною для звичайного користувача (якого тестують), доступ до цієї частини програми має тільки адміністратор (людина, яка проводить діагностику), виходячи з цього, для забезпечення безпеки для доступу до панелі адміністрування потрібно ввести пароль. То ж перше, що бачить людина, яка відкриває панель адміністратора, — це поле для вводу пароля, кнопка для підтвердження вводу пароля і кнопка для зміни режиму вводу пароля (приховувати символи, які

вводяться, чи відображати). Якщо користувач правильно ввів пароль, то елементи для вводу пароля зникнуть, а з'явиться основна частина панелі адміністратора, якщо ж пароль був некоректний, — у доступі буде відмовлено доти, доки користувач не введе вірний пароль.

Панель адміністратора поділена на дві частини: блок налаштувань, блок вибірки результатів.

Блок налаштувань складається з декількох текстових полів, які служать для вводу такої інформації, як адреса серверу бази даних (host), ім'я користувача бази даних, ім'я бази даних, пароль для доступу до бази даних та пароль для доступу до панелі адміністратора. У програмі заданий пароль для доступу до панелі адміністратора за замовчуванням адміністратор, за бажанням, може змінити цей пароль, написавши новий пароль у текстове поле «пароль для доступу до панелі адміністратора».

Крім того, у цьому блоку є дві кнопки «Зберегти налаштування» та «Перевірити підключення до БД». Кнопка «Зберегти налаштування» зберігає введені дані для підключення до бази даних та пароль для доступу до панелі адміністратора у спеціальний службовий файл налаштування, який знаходиться у тій же папці, де і сама програма. Кнопка «Перевірити підключення до БД» запускає сценарій з перевірки доступу до бази даних згідно з введеним налаштуванням, якщо підключення пройшло успішно, програма створює в базі даних пусті таблиці, в яких будуть зберігатися результати діагностики та виводить вікно з повідомленням «Підключення до бази даних пройшло успішно!». Якщо ж підключитися до бази даних не вдалося, то програма виведе вікно помилки з текстом: «Помилка підключення до бази даних. Перевірте підключення до мережі або зверніться до адміністратора».

Блок вибірки результатів складається з одного списку і трьох текстових полів і служить для завдання параметрів для формування результатів діагностики. У списку адміністратор вибирає номер тесту, результати якого він хоче отримати, крім того, у текстові поля можна ввести ПІБ студента, якщо адміністратор хоче побачити результати по окремому студенту, номер групи, якщо адміністратор хоче побачити результати по окремій групі та стать (усі параметри можна комбінувати між собою). Після натискання кнопки «Відправити запит» формується запит до бази даних згідно з введеними параметрами, якщо дані, які відповідають заданим параметрам існують, починається процес формування результатів.

Процес формування результатів починається з показу вікна для вибору місця збереження та ім'я файлу, у якому будуть записані результати. Якщо файл, у якому користувач хоче зберегти файл результатів вже існує, буде виведено попередження про це, якщо користувач згоден, — файл буде перезаписаний. Далі створюється нова книга Excel, у яку записуються дані про студентів та їх результати діагностики, згідно з отриманими даними за заданими параметрами. Крім того, у файл записуються кількість студентів, які отримали високий, середній та низький рівень з обраного тесту, а також статистика розподілу по хлопцях та дівчатах. Згідно з цією статистикою будується гістограма, яка має дев'ять стовпчиків.

Після формування результатів файл зберігається і стає доступним для читання та редагування користувачем.

Автоматизована система діагностики була використана у ході дослідно-експериментальної роботи на тему «Формування конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій у технічних коледжах» [3].

В експериментальному дослідженні брали участь студенти Одеського технічного коледжу Одеської національної академії харчових технологій. Контрольна група (КГ) студентів навчалася за традиційною системою, для експериментальної групи (ЕГ) були застосовані педагогічні методики, що сприяють формуванню конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій у процесі професійної підготовки [4].

Після завершення формувального експерименту була проведена діагностика студентів контрольної та експериментальної груп за допомогою автоматизованої системи діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій за двома критеріями, що структурно визначаються через психологічні, творчі та особистісні якості майбутнього фахівця, а саме мотиваційно-ціннісним та особистісно-рефлексивним критеріями. Результати діагностики конкурентоспроможності за цими критеріями представлені на рисунках 6, 7.

За результатами роботи автоматизованої системи діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій, як свідчить аналіз загального результату, в експериментальній групі спостерігається покращення показників, яке характеризує кількість студентів з високим і середнім рівнями, та скорочення кількості студентів з низьким рівнем. Можемо констатувати зростання рівня

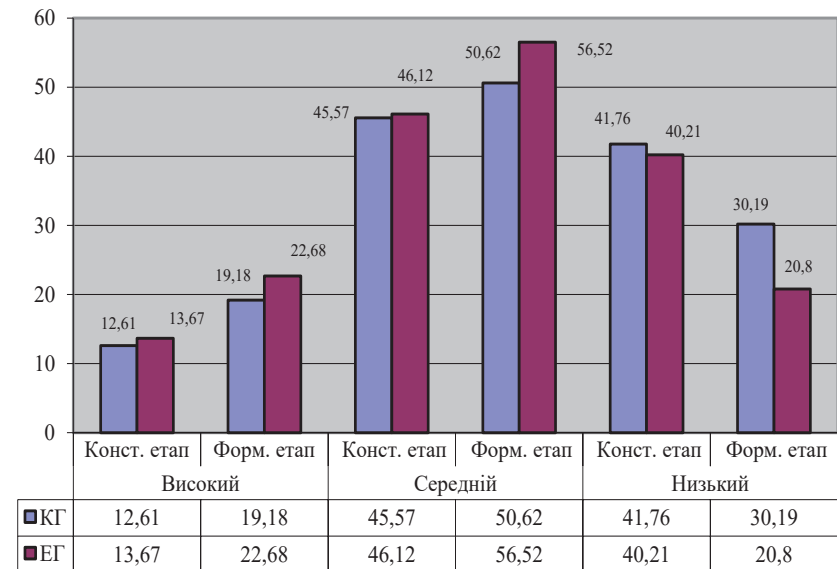


Рис. 6. Результати діагностики за мотиваційно-ціннісним критерієм

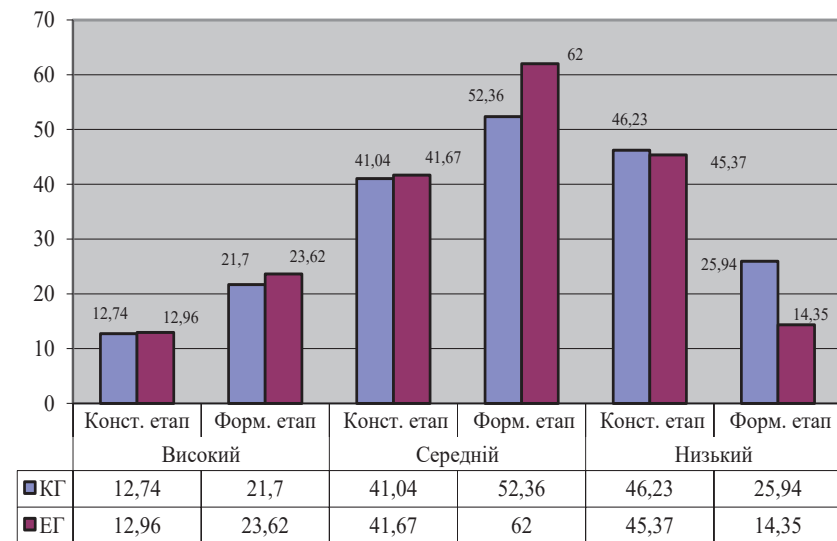


Рис. 7. Результати діагностики за особистісно-рефлексивним критерієм

сформованості конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій за мотиваційно-ціннісним та особистісно-рефлексивним критеріями, як в експериментальній, так і в контрольній групах. Однак невисокі результати свідчать про те, що необхідне подальше запровадження в освітній процес нових технологій навчання, пошук ефективних шляхів підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців.

Автоматизована система діагностики конкурентоспроможності майбутніх фахівців з інформаційних технологій може бути рекомендована для роботи структурних підрозділів психологічного та виховного напрямку у закладах вищої освіти для визначення рівня сформованості ключових особистісних якостей здобувачів освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мадди С. Теории личности: сравнительный анализ / пер. с англ. И. Авилона, А. Батустина, П. Румянцевой. СПб.: Речь, 2002. 539 с.
2. Скорнякова О. В. Структура, критерії та рівні сформованості конкурентоспроможності майбутнього ІТ-фахівця. *Психологія і педагогіка в системі гуманітарного знання XXI століття*: матер. Міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2016. С. 72–75.
3. Скорнякова О. В. Аналіз сформованості конкурентоспроможності майбутніх ІТ-фахівців у процесі вивчення фахових дисциплін в Одеському технічному коледжі ОНАХТ. *Український психолого-педагогічний науковий збірник*. 2016. № 9. С. 100–105.
4. Скорнякова О. В. Складові конкурентоспроможності фахівця з інформаційних технологій. *Наукові записки Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова*. Серія: Педагогічні науки. 2016. № 130. С. 249–259.

ПІЛОТНИЙ ПРОЄКТ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ НА БАЗІ GOOGLE CLOUD PLATFORM У ФАХОВОМУ КОЛЕДЖІ

Суліма Ю. Ю., Краснієнко Н. В., Суліма Ю. Є., Сологуб К. В.

На підставі аналізу наукових джерел з теоретичних проблем змішаного навчання, а також практичного досвіду використання Google Cloud Platform систематизовано шляхи запровадження середовища G Suite for Education у фаховому коледжі.

Створено докладний календарний план заходів на прикладі ВСП «ОТФК ОНАХТ», розглянуто особливості використання системи G Suite та її основні переваги, шляхи підвищення цифрової компетентності педагогічних працівників, а також труднощі, з якими може зіткнутися навчальний заклад при запровадженні змішаного навчання. Проведене дослідження може значно покращити якість освітнього процесу та систематизувати підхід до проведення такої форми навчання.

Based on the analysis of scientific sources on theoretical problems of blended learning, as well as practical experience of using the Google Cloud Platform, the ways of implementing the G Suite for Education environment in a professional college are systematized.

A detailed calendar of activities has been created on the example of SSU «OTFC ONAFT», the peculiarities of using the G Suite system and its main advantages, ways to increase the digital competence of teachers, as well as the difficulties that an educational institution may face in the implementation of blended learning, were considered. The conducted research can significantly improve the quality of the educational process and systematize the approach to this form of education.

У Міністерстві освіти і науки (МОН) України зазначають, що «карантинні обмеження посилили виклики, які стоять перед закладами освіти України. Потреба в нових підходах до навчання з обмеженням кількості аудиторних занять залишається проблемним питанням для значної частини освітянської спільноти» [1]. Це спричинило пошуки шляхів ефективного поєднання безпосередньої та опосередкованої форми взаємодії здобувачів освіти і викладачів у вигляді змішаного навчання.

На підставі аналізу наукових джерел з теоретичних проблем змішаного навчання ми спробуємо систематизувати шляхи запровадження середовища G Suite у фаховому коледжі.

Вікіпедія змішане навчання (англ. «blended learning») трактує як різновид гібридної методики, коли відбувається поєднання онлайн-навчання, традиційного та самостійного навчання [2].

Наразі визначення змішаного навчання в офіційних виданнях ще немає. В українському педагогічному словнику С. Гончаренка зокрема дається таке визначення навчання: це «цілеспрямований процес передачі і засвоєння знань, умінь, навичок і способів пізнавальної діяльності людини. Н. — процес двосторонній: діяльність учня — учіння, і діяльність учителя — викладання. Н. виконує центральну функцію в розумовому розвитку й підготовці учнів до праці та дистанційного навчання: форми навчання, коли спілкування між викладачем і студентом або вчителем і учнем відбувається за допомогою листування, магнітофонних, аудіо- та відеокaset, комп'ютерних мереж, кабельного та супутникового телебачення, телефону чи телефаксу тощо». Протягом останнього десятиріччя дистанційне навчання стало одним з найважливіших елементів системи вищої освіти промислово розвинених країн. З одного боку, це зумовлено бурхливим розвитком інформаційних технологій, з іншого — політикою урядів цих країн у галузі освіти, їхнім прагненням зробити навчання та освіту будь-якого рівня максимально доступними для всіх верств населення [4, с. 92, 223].

У педагогічному словнику-лексиконі А. В. Василюка [5, с. 37]: «Дистанційне навчання (ДН) — сучасна освітня технологія з використанням засобів передачі навчально-методичної інформації на відстань (телефони, телебачення, радіо, модемний та супутниковий зв'язок, комп'ютери, аудіовізуальні засоби навчання та ін.). Технологія ДН сприяє зростанню ефективності навчального процесу, активізації учнів, підвищенню інтересу до навчання, можливості використання унікального досвіду видатних педагогів різних країн, збагаченню вітчизняних освітніх технологій, формуванню більш гнучкої системи освітніх курсів та дисциплін, більш якісному контролю знань учнів та ін.». Це визначення дублюється у глосарії «Технології навчання» (укладач С. І. Пелимська) [6, с. 45].

Проблемами змішаного навчання займалися такі науковці як: А. Андрєєв, Д. Береснев, В. Биков, Є. Бутенкова, М. Бухаркіна, Ю. Духнич, Н. Корсунська, В. Кухаренко, О. Львова, С. Нестеренко, О. Рибалко, В. Солдаткін, О. Тіхомірова, Е. Тоффлер та ін. У педагогічній літературі разом із вживанням терміну «змішане навчання» також зустрічаються поняття «комбінованого» та «гібридного» навчання. Це пов'язано з особливостями перекладу з англійської мови слова «blend» — «змішувати», «комбінувати», «сполучати» [7]. Відповідно існують різні трактування цього поняття, зокрема його визначають, як:

1) процес навчання, за якого традиційні технології навчання поєднуються з інноваційними технологіями електронного, дистанційного та мобільного навчання [8];

2) система викладання, яка поєднує очне, дистанційне і самонавчання, що включає взаємодію між суб'єктами навчання та інтерактивними джерелами інформації, яка відображає всі притаманні навчальному процесу компоненти, функціонуючи в постійній взаємодії один з одним, створюючи єдине ціле [9];

3) цілеспрямований процес здобуття знань, набуття умінь і навичок, засвоєння способів пізнавальної діяльності суб'єктом навчання та розвитку його творчих здібностей на основі комплексного і систематичного використання традиційних, інноваційних педагогічних технологій та ІКТ-навчання за принципами взаємного доповнення з метою підвищення якості освіти [10] тощо.

У рекомендаціях МОН України щодо впровадження змішаного навчання у закладах фахової передвищої та вищої освіти у 2020 році чітко визначено, що є спільного та відмінного у поняттях «дистанційне навчання», «змішане навчання», «дистанційні технології» і «дистанційна форма». Дистанційні (або онлайн) технології є основою для взаємодії суб'єктів освітнього процесу як у змішаному навчанні, так і в дистанційному. В дистанційному навчанні опосередкована взаємодія суб'єктів засобами онлайн-технологій є визначальною. Такий вид навчання визначено Законом України «Про освіту» як окрему (дистанційну) форму здобуття освіти. Змішане навчання є підходом, педагогічною й технологічною моделлю, методикою, що поруч із онлайн-технологіями спирається також і на безпосередню взаємодію між студентами та викладачами в аудиторії [1].

Основними завданнями змішаного навчання є підготовка нового покоління здобувачів освіти до життя в сучасних умовах, до сприйняття і розуміння різної інформації, усвідомлення відповідальності за результати навчання.

У ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНАХТ», як й у всіх навчальних закладах України, минулий навчальний рік закінчувався дистанційно. Стало зрозуміло, що дистанційна складова навчання увійшла в наше життя надовго, і їй потрібно приділяти набагато більше уваги, шукати нові та ефективні інструменти.

Викладачі спільно зі здобувачами освіти використовували такі платформи як Zoom, Discord, Google Classroom, месенджери та електронну пошту, кому що було зручніше. Єдиною освітньою платформою

фаховий коледж не мав, що не найкращим чином відбивалося на якості освітнього процесу, тому були зроблені певні кроки в цьому напрямку. У серпні 2020 року четверо викладачів коледжу в складі команди з керівника (Суліма Ю. Ю.), адміністратора (Сологуб К. В.), викладача (Краснієнко Н. В.) і наставника (Суліма Ю. Є.) разом із трьома тисячами освітянських колег по всій Україні пройшли підвищення кваліфікації та отримали відповідні сертифікати в Академії цифрового розвитку за курсом «Розгортання та використання середовища G Suite в діяльності освітньої установи», який організований і реалізується в рамках партнерства Google з Міністерством освіти і науки України для комплексного впровадження дистанційного навчання в освітніх установах в умовах карантинних обмежень, пов'язаних із пандемією COVID-19.

G Suite for Education — це пакет хмарного програмного забезпечення та цифрових інструментів для спільної роботи від компанії Google, який дає змогу організовувати дистанційне навчання. Освітні заклади можуть отримати G Suite безкоштовно за умови виконання певних вимог. Робоча група викладачів коледжу виконала ці вимоги, і коледж отримав безкоштовний домен для розгортання цього середовища та дозвіл на безкоштовне використання системи G Suite.

Отже наразі у коледжі розпочато пілотний проєкт з розгортання та поступового впровадження системи G Suite у навчальний процес. Система G Suite дозволяє зокрема налагодити ефективну взаємодію між усіма учасниками освітнього процесу, організувати освітню діяльність через Google Клас, спілкуватися з батьками, проводити відеозустрічі через Google Meet, в якому (на поточний момент) немає обмеження на тривалість зустрічей, а кількість учасників може сягати 250 осіб. Система дозволить однозначно ідентифікувати всіх учасників, тобто кожен студент буде заходити в систему під своїм ім'ям та прізвищем з будь-якого пристрою і нести відповідальність за всі свої дії під час навчання.

Для користування перевагами цієї системи потрібно створити всім викладачам і здобувачам освіти облікові записи G Suite та створити творчу групу викладачів для розгортання та впровадження системи в освітній процес. Далі провести відповідне навчання працівників, тренінги й семінари, на яких розглядатимуться особливості використання системи, а потім вже почати повноцінно користуватися цим середовищем.

Пілотний проєкт із впровадження G Suite у навчальний процес планується виконувати впродовж навчального року (табл. 1).

Таблиця 1

**План заходів щодо впровадження G Suite for Education
у ВСП «ОТФК ОНАХТ»**

Назва фази впровадження заходів та її складові	Дата початку	Дата закінчення
Організаційна фаза		
Створення робочої групи. Оцінка готовності фахового коледжу до запровадження змішаного навчання	10.08.2020	12.08.2020
Навчання ініціативної групи за дистанційним курсом	12.08.2020	25.08.2020
Реєстрація закладу освіти у системі G Suite для розгортання змішаного навчання у фаховому коледжі	17.08.2020	23.08.2020
Забезпечення технічних умов для навчання, комунікації та взаємодії всіх учасників навчального процесу	23.08.2020	31.10.2020
Організація адміністрування та структурування домену	25.08.2020	01.12.2020
Налаштування прав доступу користувачам		
Комунікація та системна підтримка викладачів, працівників та студентів	25.08.2020	30.06.2021
Врегулювання реалізації змішаного навчання через нормативні документи закладу освіти	29.08.2020	29.12.2020
Підвищення кваліфікації учасників навчального процесу	30.08.2020	29.12.2020
Навчально-методична фаза		
Проведення вебінарів зі змішаного навчання в освітньому процесі фахового коледжу	07.09.2020	30.06.2021
Проведення навчання викладачів ВСП «ОТФК ОНАХТ»	07.10.2020	25.12.2020
Адаптація навчально-методичних комплексів для змішаного навчання у фаховому коледжі	01.09.2020	25.12.2020
Створення навчального контенту для запровадження змішаного навчання у фаховому коледжі	01.09.2020	29.12.2020
Організація та наповнення контентом Google Classroom	01.09.2020	25.12.2020
Розробка системи оцінювання результатів навчання за курсами у Google Classroom	01.09.2020	29.12.2020

Закінчення табл. 1

Назва фази впровадження заходів та її складові	Дата початку	Дата закінчення
Фаза реалізації та оцінки якості		
Моніторинг активності користувачів домену oftk.ukr.education	01.11.2020	30.06.2021
Забезпечення дотримання академічної доброчесності	01.09.2020	30.06.2021
Моніторинг якості реалізації змішаного навчання у фаховому коледжі шляхом проведення опитування	01.01.2021	30.06.2021
Невідкладне реагування на критичні ситуації	01.09.2020	30.06.2021

Докладний календарний план виконання проєкту запровадження змішаного навчання у ВСП «ОТФК ОНАХТ» у зазначенням поточно-го стану його виконання зображений на рис. 1

Використовуючи облікові записи G Suite, здобувачі освіти можуть отримати доступ до використання таких основних послуг, що пропонується Google: Gmail, Google+, Календар, Синхронізація Chrome, Клас, Пошук у хмарі, Контакти, Документи, Аркуші, Слайди, Форми, Диск, Групи, Hangouts, Google Talk, Jamboard, Сайти та Сховище. Крім того, надається можливість отримувати доступ до деяких інших служб Google за допомогою облікових записів G Suite for Education, зокрема YouTube, Blogger та Google Maps [11].

Згідно з рекомендаціями МОН України запровадження змішаного навчання у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНАХТ» від-повідляє таким вимогам:

1. Навчальна платформа встановлена з використанням хмарних сервісів G Suite for Education та використовує безкоштовний хостинг.
2. Навчальна платформа не прив'язана до будь-якої операційної системи або середовища.
3. Користувачі використовують стандартні засоби без завантаження додаткових модулів, програм та ін.
4. Наявність мобільного додатку та адаптивного інтерфейсу.
5. Високий ступінь стійкості роботи платформи до несанкціо-ваного втручання.
6. Технологія навчання є інтуїтивно зрозумілою.

Розгортання платформи здійснює викладач коледжу, якому деле-говані функції адміністратора хмарного сервісу G Suite.

Впровадження системи G Suite у навчальний процес дозволить організувати навчальний процес за такою моделлю (рис. 2).

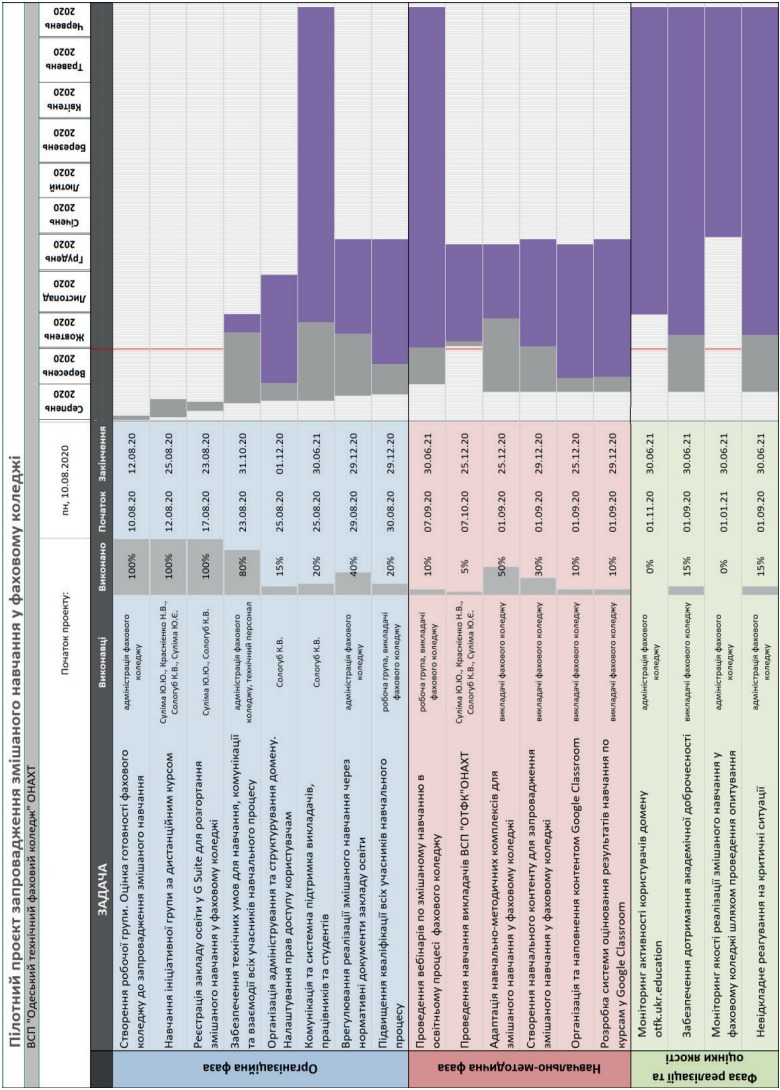


Рис. 1. Календарний план виконання проєкту запровадження змішаного навчання у ВСП «ОТФК ОНАХТ»

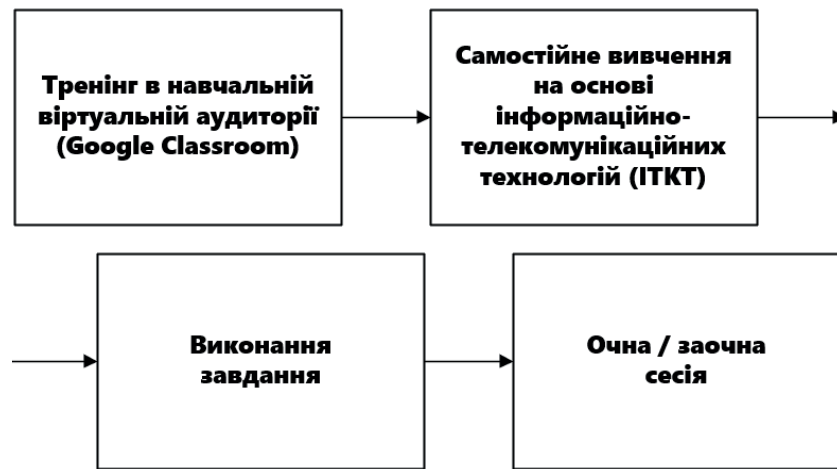


Рис. 2. Модель організації освітнього процесу у системі G Suite

Розглянемо складові цієї моделі. Під час проведення тренінгу в навчальній віртуальній аудиторії здійснюється відпрацювання певних ситуацій, які використовуються викладачем, або виконуються практичні завдання, проводяться семінари, ділові ігри тощо. Подальше навчання здійснюється самостійно в режимі онлайн на значно ширшому обсязі навчального матеріалу та при дистанційному виконанні практичних завдань. В цей період весь час здійснюється спілкування викладача (тренера, консультанта) зі здобувачами освіти.

У системі G Suite for education є багато переваг, проте імплементація цього сервісу у навчальний процес ВСП «ОТФК ОНАХТ» може мати певні труднощі.

По-перше, це все ще недостатня підготовка педагогічних кадрів для викладання у дистанційній формі. Для того, щоб використовувати сервіси G Suite for education, необхідно мати навички для роботи з інтернет-технологіями, засобами інтернет-комунікації тощо. Потрібен певний час, щоб якісно підготувати викладачів різного рівня цифрової компетентності для продуктивної роботи у системі.

По-друге, далеко не всі здобувачі освіти і викладачі мають необхідне технічне обладнання (сучасний смартфон та/або ноутбук (стаціонарний ПК) з камерою та мікрофоном) для користування G Suite for education. До того ж для користування системою потрібен постійний доступ до мережі інтернет. Нажаль, все ще існує низка на-

селених пунктів, в яких стан зв'язку залишає бажати кращого, і здобувачі, які проживають там, не зможуть користуватися системою у повному обсязі.

Висновки. Таким чином, наразі є підстави сподіватися, що впровадження технологій змішаного навчання у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНАХТ» дозволить оптимізувати взаємодію викладачів зі здобувачами освіти та розробити якісну модель успішного навчання в сучасних умовах. Використання системи G Suite в умовах змішаного навчання разом з підвищенням рівня цифрової компетентності викладачів може значно покращити якість освітнього процесу та систематизувати підхід до проведення такої форми занять.

Головними завданнями викладача в освітньому просторі G Suite є: методичне проектування цифрового забезпечення власної дисципліни як послідовності дій та досвіду, який здобувач отримає впродовж курсу, а також опанування на високому рівні та практичне застосування функцій системи у своїй професійній діяльності, причому у різних ролях — і як учителя, і як учня (бо викладач — не тільки той, хто навчає, але й той, хто постійно навчається сам). Адже інноваційні технології потребують ефективної та швидкої зміни цих ролей, для того щоб бути готовим до ефективної роботи у будь-яких непередбачуваних обставинах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рекомендації МОН України щодо впровадження змішаного навчання у закладах фахової передвищої та вищої освіти [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/rekomendacij-shodo-vprovadzhennya-zmishanogo-navchannya-u-zakladah-fahovoyi-peredvishoyi-ta-vishoyi-osviti> (дата звернення 01.10.2020).
2. Змішане навчання [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення 01.10.2020).
3. Про суть технології змішаного навчання [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: <http://aphd.ua/pro-sut-tekhnologhi-zmishanoho-navchannia/> (дата звернення 01.10.2020).
4. Український педагогічний словник (довідкове видання) / укладач Гончаренко С. У. — К.: Либідь, 1997.
5. Педагогічний словник-лексикон: англ.-укр., укр.-англ. / укладач Василюк А. В. — Ніжин: Вид-во НДПУ ім. М. Гоголя, 2004.
6. Технології навчання. Глосарій / укладач С. І. Пелімска; Бібліотека Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. — Вінниця, 2011.

7. Майборода Л. А. Змішане навчання як засіб реалізації дистанційної освіти. *Теорія і практика дистанційного навчання у професійній освіті*. — Київ, 2017.
8. Рашевська Н. В. Змішане навчання як психолого-педагогічна проблема. *Вісник Черкаського університету*. Серія: Педагогічні науки, 2010. — Випуск 191, частина IV. — С. 89—96.
9. Никитина М. С. Теоретико-методологические аспекты исследования проблемы смешанного обучения. *В мире научных открытий*. — 2012. № 1. — С. 167—176.
10. Триус Ю. В., Герасименко І. В. Комбіноване навчання як інноваційна освітня технологія у вищій школі. *Теорія та методика електронного навчання: збірник наукових праць*. — Кривий Ріг, 2012. — Випуск III. — С. 299—308.
11. G Suite. Стислий огляд сервісів [Електронний ресурс] / електронні дані. — Режим доступу: https://gsuite.google.com/terms/user_features.html (дата звернення 01.10.2020)

Список авторів

- Артеменко Віктор Борисович (Artemenko Viktor)**, к. е. н., доцент, Львівський торговельно-економічний університет (Львів)
- Артеменко Любов Вікторівна (Artemenko Lyubov)**, доктор філософії, директор ТОВ Ту-Ю (Варшава, Польща)
- Артеменко Олена Вікторівна (Artemenko Elena)**, директор, ТОВ Гоу Ту-Ю Україна (Львів)
- Бажан Вікторія Михайлівна (Bazhan Viktoriya)**, студентка, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Байцар Роман Іванович (Baitsar Roman)**, д. т. н., професор, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)
- Бевз Світлана Володимирівна (Svitlana Bevz)**, к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Бойко Анжела Петрівна (Boiko Anzhela)**, к. т. н., доцент, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили (Миколаїв)
- Бойко Наталія Іванівна (Boiko Nataliya)**, к. е. н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)
- Бойцова Марія Павлівна (Boitsova Maria)**, студентка, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)
- Бойцова Ольга Сергіївна (Boitsova Olga)**, асистент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)
- Борис Віталій Васильович (Boris Vitaly)**, аспірант, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)
- Борисова Наталя Володимирівна (Borysova Natalia)**, к. т. н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків)
- Борцов Владислав Вікторович (Bortsov Vladyslav)**, магістр, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили (Миколаїв)
- Бурбело Сергій Михайлович (Sergii Burbelo)**, к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Винар Анастасія Анатоліївна (Vynar Anastasiia)**, студентка, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили (Миколаїв)
- Войтко Вікторія Володимирівна (Voitko Viktoriia)**, к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Воїнова Світлана Олександрівна (Voinova Svetlana)**, к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Вяткін Сергій Іванович (Vyatkin Sergiy), к. т. н., с. н. с., Інститут автоматики та електрометрії (Новосибірськ, Росія)

Габуєв Костянтин Олександрович (Gabuev Kostyantyn), старший інженер лабораторії MiRONAFT, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Гончаренко Катерина Андріївна (Goncharenko Kateryna), аспірантка, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Гречанінов Віктор Федорович (Grechaninov Victor), к. т. н., зав. відділом, Інститут проблем математичних машин і систем (Київ)

Григоріук Дар'я Костянтинівна (Grigoryuk Daria), студентка, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Єгоров Віктор Богданович (Yehorov Viktor), к. т. н., науковий керівник лабораторії MiRONAFT, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Єршова Світлана Іванівна (Yershova Svitlana), старший викладач, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків)

Жигайло Олексій Михайлович (Zhygailo Oleksiy), к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Жуковецька Світлана Леонідівна (Zhukovetska Svitlana), старший викладач, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Журавська Ірина Миколаївна (Zhuravska Iryna), д. т. н., професор, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили (Миколаїв)

Журба Анна Олексіївна (Zhurba Anna), к. т. н., доцент, Національна металургійна академія України (Дніпро)

Завертайло Костянтин Сергійович (Zavertailo Kostiantyn), аспірант, Інститут проблем математичних машин і систем (Київ)

Зацерковна Роксолія Станіславівна (Zatserkovna Roksolyana), к. т. н., доцент, Українська академія друкарства (Львів)

Зацерковний Ростислав Григорович (Zatserkovnyi Rostyslav), аспірант, Українська академія друкарства (Львів)

Зимогляд Андрій Юрійович (Zimoglyad Andriy), к. т. н., асистент, Національна металургійна академія України (Дніпро)

Зуб Христина Віталіївна (Zub Khrystyna), аспірант, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Іванова Лілія Вікторівна (Ivanova Liliia), к. т. н., директор, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Іванова Ліна Олександрівна (Ivanova Lina), д. т. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Ізонін Іван Вікторович (Izonin Ivan), к. т. н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Князева Ніна Олексіївна (Kniazieva Nina), д. т. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Корнієнко Юрій Костянтинович (Korniienko Iurii), к. ф.-м. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Коробейнікова Тетяна Іванівна (Korobeinikova Tetiana), к. т. н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Костюк Марина Тимурівна (Kostyuk Maryna), магістр, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Котлик Сергій Валентинович (Kotlyk Sergii), к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Краснієнко Наталія Володимирівна (Krasniienko Nataliia), завідувач лабораторії аналітико-інформаційних технологій, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Кудряшова Альона Вадимівна (Kudriashova Alona), к. т. н., Українська академія друкарства (Львів)

Кулаковська Інесса Василівна (Kulakovska Inessa), к. ф.-м. н., доцент, Чорноморський національний університет ім. Петра Могили (Миколаїв)

Курінний Михайло Сергійович (Kurinny Mykhailo), к. т. н., Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Ларшин Василь Петрович (Larshin Vasil), д. т. н., професор, Одеський національний політехнічний університет (Одеса)

Лисенко Наталія Олексіївна (Lysenko Natalya), асистент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Ліщенко Наталя Володимирівна (Lishchenko Natalia), д. т. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Ліщинська Людмила Броніславівна (Lishchynska Lyudmyla), д. т. н., професор, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Лопушанський Анатолій Валентинович (Lopushansky Anatoliy), наук. співроб., Інститут проблем математичних машин і систем (Київ)

Мазур Олександр Васильович (Mazur Olexander), к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Маїк Володимир Зіновійович (Maik Volodymyr), к. т. н., професор, Українська академія друкарства (Львів)

Малахова Надія Георгіївна (Malakhova Nadiia), студентка, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Миколаїв)

Марущак Артем Володимирович (Marushchak Artem), студент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Мельник Каріна Володимирівна (Melnyk Karina), к. т. н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків)

Михайлов Павло Ігорович (Mykhaylov Pavlo), генеральний директор 3D Generation GmbH Märkische Straße 90-92 D-44141 (Дортмунд, Німеччина)

Мочурад Леся Ігорівна (Mochurad Lesia), к. т. н., доцент, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Ненов Олексій Леонідович (Nienov Oleksij), к. т. н., старший викладач, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Перун Іван Вікторович (Pegun Ivan), керівник проекту 3D Generation UA (Вінниця)

Піх Ірина Всеволодівна (Pikh Iryna), д. т. н., професор, Українська академія друкарства (Львів)

Потокий Мирослава Семенівна (Potokii Myroslava), магістр, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Похлебін Надія Олександрівна (Pokhlebina Nadiya), аспірант, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Пунченко Наталія Олегівна (Nataliia Punchenko), к. т. н., доцент, Одеська державна академія технічного регулювання та якості (Одеса)

Романюк Оксана Володимирівна (Romanyuk Oksana), к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Романюк Олександр Никифорович (Romanyuk Olexandr), д. т. н., професор, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Романюк Сергій Олександрович (Romanyuk Sergey), к. т. н., Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Сакалюк Олексій Юрійович (Sakaliuk Olexiy), аспірант, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Сеньківський Всеволод Миколайович (Senkivskyy Vsevolod), д. т. н., професор, Українська академія друкарства (Львів)

Сергєєва Олександра Євгенівна (Sergeeva Olexandra), д. ф.-м. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Сидорко Ігор Іванович (Sydorko Igor), провідний інженер, Державне підприємство «Львівський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації (ДП «Львівстандартметрологія» (Львів)

Скаковський Юрій Михайлович (Skakovsky Yury), к. т. н., с. н. с., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Скирський Ігор Васильович (Skyskyi Ihor), студент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Скорнякова Олена Володимирівна (Skorniakova Olena), голова циклової комісії, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Соколова Оксана Петрівна (Sokolova Oksana), старший викладач, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Сологуб Костянтин Валерійович (Solohub Kostiantyn), викладач, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Ставицький Павло Валерійович (Pavlo Stavitskiy), аспірант, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)

Степанов Михайло Тимофійович (Stepanov Mikhail), к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса);

Субботіна Олена Вадимівна (Subbotina Olena), н. с., Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (Київ)

Суліма Юліан Юрійович (Sulima Yulian), к. т. н., завідувач відділення, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Суліма Юлія Євгеніївна (Sulima Yuliia), викладач, Одеський технічний коледж Одеської національної академії харчових технологій (Одеса)

Ткаченко Роман Олексійович (Tkachenko Roman), д. т. н., професор, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)

Топор Микола Миколайович (Topor Mykola), аспірант, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Тришин Федір Анатолійович (Trishyn Feodir), к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Тюріна Євгенія Олександрівна (Tiurina Yevheniia), асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ)

Ушкаренко Олександр Олегович (Ushkarenko Olexandr), д. т. н., доцент, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова (Миколаїв)

Федосов Сергій Никифорович (Fedosov Sergiy), д. ф.-м. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

Хобін Віктор Андрійович (Khobin Victor), д. т. н., професор, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)

- Хошаба Олександр Мирославович (Khoshaba Oleksandr)**, к. т. н., доцент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Храмченков Дмитро Вікторович (Khramchenkov Dmytro)**, к. ф.-м. н., доцент, Національний дослідницький ядерний університет «МІФІ» (Росія)
- Чан Аліна Лє Ванівна (Chan Alina)**, студентка, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Чаплінський Юрій Петрович (Chaplinskyi Yuri)**, к. т. н., с. н. с., Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (Київ)
- Чехмєструк Роман Юрійович (Chekhmestruk Roman)**, к. т. н., технічний директор 3D Generation UA (Вінниця)
- Шаховська Наталія Богданівна (Shakhovska Nataliya)**, д. т. н., професор, Національний університет «Львівська політехніка» (Львів)
- Шестопалов Сергій Вікторович (Shestopalov Serhii)**, к. т. н., доцент, Одеська національна академія харчових технологій (Одеса)
- Шмалюх Владислав Анатолійович (Shmalyukh Vladyslav)**, студент, Вінницький національний технічний університет (Вінниця)
- Ярошук Людмила Дем'янівна (Yaroshchuk Liudmyla)**, к. т. н., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ)

Н37 На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація : монографія / кол. авт. : В. Б. Артеменко, Л. В. Артеменко, О. В. Артеменко [та ін.] ; за заг. ред. С. В. Котлика. — Одеса : Астропринт, 2021. — 544 с.. ISBN 978—966—927—702—2

У монографії узагальнено і проаналізовано рівень сучасного стану розвитку інформаційних технологій, комп'ютерного та математичного моделювання, автоматизації процесів управління, штучного інтелекту, робототехніки, розпізнавання образів, 3D-прототипування, електромеханіки, мехатроніки — практично всіх напрямків, які об'єднуються терміном Індустрія 4.0.

Монографія буде корисною як для фахівців і працівників фірм, зайнятих в області ІТ і автоматизації, так і для викладачів, магістрів, студентів і аспірантів вищих навчальних закладів, і всіх, хто цікавиться питаннями, пов'язаними з Індустрією 4.0.

УДК 004.01/08

Наукове видання

АРТЕМЕНКО В_____ Б_____,
АРТЕМЕНКО Л_____ В_____,
АРТЕМЕНКО О_____ В_____
та інші

**НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0:
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ
ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

Монографія

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Технічний редактор *М. М. Бушин*

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 31,62.
Тираж 300 прим. Зам. № 798 (12).

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-14-25, 37-07-17, (048) 7-855-855
e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua; www.stranichka.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.