

Міністерство освіти і науки України

**Поліграфічні, мультимедійні та web-технології.
Сучасні тренди**

Том 2

Колективна монографія

Харків 2025

УДК 004.9

П50

Рекомендовано до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету радіоелектроніки (протокол № 4 від 22 травня 2025 р.)

Рецензенти:

О.І. Пушкар, доктор економічних наук, професор, ХНЕУ ім. Семе́на Кузне́ця;

О.А. Левтеров, доктор технічних наук, с.н.с., НУЦЗУ

Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасні тренди:
П50 колективна монографія (для спеціальностей G20 Видавництво та поліграфія, F3 Комп'ютерні науки) / редкол.: О.В. Вовк, І.Б. Чеботарьова, Ж.В. Дейнеко. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2025. Т. 2. 260 с.

ISBN 978-617-8254-34-6

В монографії розглянуті питання, присвячені технічним і технологічним інноваціям у виробництві друкованої продукції і в пакувальному виробництві, інформаційним, мультимедійним та web-технологіям, розробці інтелектуальних систем, використанню штучного інтелекту у видавничій діяльності, обробці графіки та управлінню кольором. Розглянуто також питання маркетингу і реклами в поліграфії, особливості медіакомунікацій та використання нових методів навчання фахівців для видавничо-поліграфічної галузі, зв'язок навчального процесу з виробництвом.

Рекомендується викладачам, науковцям, бізнесменам, фахівцям видавничо-поліграфічної та рекламної галузі, розробникам мультимедійних інформаційних продуктів, аспірантам і студентам.

УДК 004.9

ISBN 978-617-8254-34-6
DOI: 10.30837/PMW.2025.T2

© Вовк О.В., Чеботарьова І.Б.,
Дейнеко Ж.В.
© ТОВ «Друкарня Мадрид», 2025

ЗМІСТ

	ВСТУП	4
1	<i>Azarenkov V.I., Deineko Zh.V.</i> A STUDY ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUILDING DIGITAL PROFILES OF PRINTING EQUIPMENT	5
2	<i>Левикін І.В., Шимко Д.І.</i> МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОНВЕРСІЇ ВІДЕОКОНТЕНТУ В СТРУКТУРОВАНІЙ МЕДІАМАТЕРІАЛ	27
3	<i>Челомбітько В.Ф.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИТЯЧОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ІСТОРІЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ	49
4	<i>Савченко О.М.</i> ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ	62
5	<i>Дейнеко Ж.В., Зелений О.П., Криворучко М.О.</i> ТЕХНІЧНІ ТА ТВОРЧІ АСПЕКТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АНІМАЦІЇ	71
6	<i>Андрющенко Т.Ю.</i> ІНТЕГРАЦІЯ STEAM-ЕЛЕМЕНТІВ У МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ КУРСОВИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ПЕРШОГО (БАКАЛАВРСЬКОГО) РІВНЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G20 «ВИДАВНИЦТВО ТА ПОЛІГРАФІЯ»	95
7	<i>Чеботарьова І.Б., Григор'єв О.В., Манаков В.П., Яценко Л.О.</i> ОСОБЛИВОСТІ ШИРОКОФОРМАТНОГО ДРУКУ НА ТКАНИНІ, ОЦІНКА ЯКОСТІ ДРУКУ ТА КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ НА РІЗНИХ МАТЕРІАЛАХ	124
8	<i>Король А.Л., Манаков В.П.</i> МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА	164
9	<i>Зацерковна Р.С., Слоцька Л.С.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЛАМІНУВАННЯ ТА ЛАКУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ	186
10	<i>Сікора Л.С., Лиса Н.К., Федевич О.Ю., Федина Б.І., Хиляк Н.А.</i> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО СУШІННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ	197
11	<i>Огірко І.В., Пляцко М.М.</i> ЯКІСТЬ ПЛОСКОГО ДРУКУ ДЛЯ ГРАФІЧНОГО МИСТЕЦТВА	209
12	<i>Сабат В.І., Кузот В.О.</i> ВИБІР МОДЕЛЕЙ СТРАТЕГІЇ ДІЙ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ	219
13	<i>Лиса Н.К., Шамановський Б.В., Щербина А.Е.</i> МОБІЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ХВОРОБ РОСЛИН НА ОСНОВІ ЗОБРАЖЕНЬ	230
14	<i>Маїк Л.Я, Маїк В.З., Лотошинська Н.Д.</i> АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОЛІГРАФІЧНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ PRINTBOOST АНОТАЦІЇ АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	241 253 260

ВСТУП

Монографію підготовлено за матеріалами міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології», організатором проведення якої є кафедра «Медіасистем та технології» Харківського національного університету радіоелектроніки.

Основні наукові напрямки кафедри:

- технології розробки електронних та друкованих видань;
- системи автоматизації управління поліграфічним виробництвом;
- проблеми обробки цифрових зображень та відтворення кольору в поліграфії.

Мета конференції – розширення міжнародного співробітництва та поглиблення спільної діяльності у науковій, дослідницькій, викладацькій, та інших областях в галузі мультимедійних технологій, видавничої справи й поліграфії, економіки друкарських виробництв та підвищення ефективності навчального процесу підготовки професійних кадрів для поліграфічної галузі, впровадження в навчальний процес інноваційних форм і методів навчання.

Основні питання, що розглядаються в рамках конференції.

1. Технічні й технологічні інновації у виробництві друкованої продукції та пакувальному виробництві.
2. Інформаційні системи та технології в поліграфії. Інтелектуальні системи.
3. Мультимедійні та web-технології. Розробка додатків для мобільних пристроїв. UI/UX інтерфейси.
4. 2D та 3D-графіка, графічний дизайн, управління кольором.
5. Медіакомунікації, книжкова справа, маркетинг і реклама в поліграфії.
6. Використання нових методів навчання у видавничо-поліграфічній галузі, зв'язок навчального процесу з виробництвом.

Кафедра «Медіасистеми та технології» підтримує тісні зв'язки з підприємствами видавничо-поліграфічної галузі не тільки Харкова, а й всього Південно-Східного регіону України, спеціалістами-освітянами Києва, Львова, інших країн – Польщі, Німеччини, Великобританії, Мексики, Узбекистану. Головні напрямки співробітництва: спільна робота в галузі техніки засобів друкарства та економіки друкарських виробництв з метою подальшого поглиблення спільної діяльності у дослідницькій, викладацькій та інших наукових областях; підготовка магістрів; розвиток співробітництва в сфері науки та освіти; спільна участь у реалізації взаємовигідних програм в області освітньої та наукової діяльності; створення умов для підготовки, перепідготовки й підвищення кваліфікації кадрів в області видавничої справи в поліграфії.

A STUDY ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUILDING DIGITAL PROFILES OF PRINTING EQUIPMENT

Azarenkov V.I.

Ph.D., Associate Professor, Department of System Analysis
and information and analytical technologies,
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Deineko Zh.V.

PhD, professor, department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *The issue of researching the possibilities and identifying effectiveness of the approximation application of measured data using artificial neural networks in constructing color profiles of printing equipment is raised. Problems and ways to solve them are highlighted. An analysis of the features of converting one color model into another based on the construction of ICC profiles was conducted.*

Key words: COLOR MANAGEMENT SYSTEM, COLOR PROFILE, NEURAL NETWORKS, CLUT TABLES, INPUT, OUTPUT AND DISPLAY DEVICES.

Introduction

Historically, color management has been a laborious and expensive process in the printing and prepress industries. There have been intense discussions over the years about how to address this issue.

In the traditional approach to a color management system, the characterization of the entire equipment chain, consisting of a scanner, image processing program, monitor, and output device, is possible only if the composition of such a chain is unchanged. Only when the composition of the chain is finally determined, it is possible to match the color characteristics of the selected pairs of devices. The problem of color management in such circumstances becomes more clear. Typically, color conversion occurs directly from the color gamut of one device to the gamut of another. Often, this conversion is established empirically.

In prepress and printing, there are two factors that make this approach less and less applicable. The first factor is the growth in the number of open systems (i.e. systems in which equipment from different manufacturers can be used and frequently reconfigured), which, actually, leads to the need to develop a concept of openness in color management. The second factor is the growth of distributed systems, in which document creation and reproduction often occur in locations many kilometers apart. This leads to the need for reliable coupling of individual parts of the system.

These problems can be solved by building a color management system based on a well-defined, neutral color-coding system, such as the color space CIE. If the

hardware-defined colors of a peripheral device can be translated into a hardware-independent color space, and if all computer and software manufacturers agree to use such a hardware-independent color space, it will become much easier to connect equipment from different manufacturers into a single system, as well as to maintain a single-color specification. Because the CIE color space is well-defined and reproducible, it is an excellent language for communicating color information between remote systems.

Therefore, in early 1993, several companies decided to join forces to develop a common approach to the problem of color management. They formed International Color Consortium (ICC) in order to solve user problems by creating a reliable color reproduction mechanism that ensures repeatable results at any stage of the reproduction process.

One of the first decisions made by ICC was to place the responsibility for color space conversion on the operating system, eliminating the need to embed a color management system into each application. On the other hand, each application can access the color management system. And device profiles, which contain information about the color behavior of various peripherals, provide the data necessary to perform color transformations.

Of course, ICC does not provide specific instructions on how to build an operating system and its architecture, but only general provisions. It is proposed to embed a Color Management Framework inside the operating system, which is responsible for the most important color management functions of the operating system, such as organizing profiles, supporting different color spaces, etc. This module provides an interface to various color conversion methods, which are the heart of a color management system, performing conversions of image color data into specific color spaces of output devices. The module supports both the CIE XYZ and CIE Lab color coordinate systems as standard. It is also possible to add other color coordinate systems. The possibility of using other systems is ensured by the well-defined specification and its openness. In addition, support is provided for color spaces of devices with different numbers of output channels. Profiles can be made for three channels (RGB, CMY, HSV), four channels (CMYK) or even for seven-color printing.

The ICC profile specification begins with a descriptive section that explains concepts such as device profiles, color spaces, profile docking space, profile structure elements, and embedded profiles. The content of device profiles is described from top to bottom. ICC profiles basically consist of a table of contents and the data that follows it. The document describing the profiles first defines the different types of device profiles and what tags should be in those profiles. Then comes the description of tags and their type. After that, the definition of the main types is given. The document contains examples and appendices. In particular, one of the most important appendices describes how to embed profile files in EPS, PICT and TIFF files. ICC defines different types of profiles:

- Input Device;
- Display Device;

- Output Device;
- Color Space Conversion;
- Device Linking;
- Abstract Profile.

A set of control tags is defined for each profile type. It is also possible to add any other tags.

One of the first steps in building a profile is to colorimetrically measure a set of color patches on some medium or display device. If the image medium or viewing environment differs from the reference one, it is necessary to adapt the measured colorimetric values, to bring them into line with the profile coupling space (PCS). Such adaptation is calculated based on the chromaticity of the white point, the relative luminance of an ideal reflector, viewing conditions, the viewing light source, and glare. Currently, the adaptation process is handled by the profile generation software.

For instance, when building a scanner profile, it is necessary to scan a reference image, the so-called color target, and match the resulting data to the reference data stored in the target's color measurement file. The colors contained in the reference image should be distributed as evenly as possible within the color space CIE. Comparison of reference data, i.e. colorimetric measurement data of the target supplied to the scanner, and data obtained during scanning of the reference image, provides good information about the reproduction properties of the scanner.

Printer profiling is the reverse process. In this case, a set of color patches evenly distributed over the printer's color gamut (CMY or CMYK model) is first generated, and then this set is printed. The printed patches are then colorimetrically measured. The conversion method that translates the CIE color space into the device's color gamut is more complex in this case.

Different manufacturers use different numbers of test color patches. Some vendors use the IT7.8 patch table, which contains 190 color patches, while other vendors use a test table of 4500 patches. Due to statistical noise, it is necessary to measure 15-20 samples and then average the results to obtain a reliable outcome. The question of how many samples should be measured to accurately characterize a device has not yet been resolved, despite its practical importance. This question is also unresolved because many color management systems are not so much aimed at the printing industry as at the desktop publishing market, and in this market segment it is unacceptable for a user to measure even 190 patches himself; these users would like to have profiles already built. Of course, this raises an obvious problem: the cost of such profiles intended for device characterization must be acceptable.

In a workflow that uses digital image processing, this data is combined with a profile that characterizes the device itself. When an image is required on an output device, the color data is converted, using input and output profiles, into the form in which it will be presented to the output device.

The workflow built around the ICC standard uses a different data processing model. There are three reasons for this. First, the color management system must support a wide variety of devices. Second, an image may be created in one location

and displayed in another, geographically distant location. Finally, the same image must be reproduced in different media (e.g., printed, film, and video) using the same tools and processes.

For these reasons, colors cannot be adjusted to the output device immediately after scanning, for example. They cannot be adjusted at any other point in the image creation process. Color management only occurs at the output device. This means that at the time an image is created, it is necessary to know on which output device it will be rendered. But just as the creator of an image does not know on which device it will be rendered, the person rendering the image may not know the color characteristics of the device on which the image was created.

The solution to this problem can be divided into two parts. When a document is created, an ICC profile is embedded in it, which maps the device's color gamut to a well-known color space. When a document is output, the operating system uses input and output profiles to convert data from the source color gamut to the output device color gamut. Actually, the problem can be solved slightly better by applying only one transformation without converting the input image to the CIE color space. There are two reasons for this. First, in real-world production environments, the source image is often processed on the same monitor using several different software tools. In this case, converting the image to CIE color space and back is a waste of time. Second, there is some loss of color accuracy due to rounding errors when performing color space conversions. In order to minimize data manipulation, it is possible to construct device color space conversions directly between each other. Unlike earlier conversions of this type, the use of ICC profiles allows any devices to connect to each other, and the conversions themselves can be performed by any operating system.

In order to use ICC profiles in a color management workflow, minimal changes are required. If there is a set of equipment consisting of scanners, monitors, various output devices and software, then the actual workflow can be represented by the following operations:

- scanner characterization using a profile building tool;
- monitor characterization using a profile building tool;
- characterization of output devices using a profile building tool;
- scanning and opening the image with a software tool like Photoshop;
- converting a scanned image into the color space of a monitor or other output device;
- inserting images into other programs, and, if necessary, performing further conversion to the color space of the monitor or other output devices;
- output on the output device.

As can be seen from this scenario, the use of profiles, which enables the color management system's mathematical framework to perform color space conversions between different devices for image rendering, constitutes the essence of the described approach.

Purpose and objectives of the study

As is known, the profile itself does not change the numerical RGB or CMYK values – it simply assigns them a specific meaning, essentially indicating that this set of RGB or CMYK numerical values represents a specific color defined in the Lab color space. Since color coordinate systems are three-dimensional spaces, a profile cannot be defined using conventional algebraic functions but instead represents a one-to-one correspondence between sets of color coordinates, specified in tabular form.

The table must contain function values for all combinations of color coordinates to ensure accurate calculations. For example, in the RGB model with 8-bit color depth, this would require $256^3 = 16\,777\,216$ points, which would, accordingly, require measuring the same number of color samples and nearly 50 MB of memory to store the table. If there are not three but four color channels (when working with data in the CMYK color model), the table size may increase to almost 13 GB. Therefore, in practice, tables usually contain no more than a few thousand points, and the missing values are calculated by interpolation based on the available points in the table.

However, even these few thousand points cannot be practically measured. Color targets do not contain such a number of measurement fields, and even if they did, measuring all of them would become a very labor-intensive and unjustified process. Therefore, during profile creation, there arises a need to approximate the measured data in order to obtain the missing points for the tables.

There are specialized software tools that allow performing such operations. However, all of them have their own drawbacks. The aim of this work is to address these issues:

- to investigate the possibility of carrying out such an approximation using artificial neural networks;
- compare the proposed developed method with existing ones.

Main part

In this study, artificial neural networks were used to approximate experimental points during the construction of an input profile.

The experiment was conducted using the MATLAB R2006b mathematical software package. MATLAB is a high-performance language for engineering and scientific computing. It supports mathematical calculations, scientific graphics visualization, and programming within an interactive environment that is easy to learn, especially when tasks and their solutions can be expressed in a notation close to mathematical form.

The most well-known application areas of MATLAB include mathematics and computations; algorithm development; computational experiments, simulation modeling, prototyping; data analysis, exploration, and visualization of results; scientific and engineering graphics; and application development, including the creation of graphical user interfaces.

The Neural Network Toolbox extension in MATLAB provides tools for designing, modeling, training, and utilizing a wide range of well-known artificial neural network paradigms, from basic perceptron models to the latest associative and self-organizing networks. The toolbox can be used to solve a variety of tasks, such as signal processing, nonlinear control, financial modeling, and more.

For each type of architecture and training ANN algorithm, there are functions for initialization, training, adaptation, creation, simulation, demonstration, and application examples. Artificial multilayer neural networks are constructed based on the principles of their biological counterparts. They are already capable of solving a wide range of tasks such as pattern recognition, identification, control of complex nonlinear objects, robotics, and more.

As the output data for solving the problem, a second-order polynomial was used, with an added random component ε , normally distributed with zero expected value and a variance of σ^2 . The polynomial has the following form:

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \varepsilon, \quad (1)$$

where $Y = \{Y_i\}_{i=0}^n$ – output data vector;

$x = \{i * 0.01\}_{i=0}^n$ – input data vector; n – sample size;

$a = (a_0, a_1, a_2)$ – constant coefficients vector.

Output data generation was performed at values of $n = 1000$, $a_0 = 2$; $a_1, a_2 = 1$; $\sigma = 4$.

From this sample, 100 points were randomly selected using the rand function and used to train the network. For the reproducibility of the experiment, the state = 20 parameter of this function was fixed, so that the same points would always be selected when the program was run. To test the network performance based on the rand function, another sample of 100 values was taken. The state parameter value was 10. It should also be noted that points that were the same for these two samples were excluded.

The approximation was performed using three functions of the package Neural Network Toolbox: newgrnn, newrb, newrbe.

The newgrnn function implements the creation of a generalized regression neural network. It designs a two-layer network where the first layer, consisting of radial basis elements, calculates the input weights using the Euclidean distance weighting function, and the network outputs using the input multiplication function. The second layer contains neurons that apply a linear activation function. It computes the input weights based on the normalized dot product, and the network outputs are returned using the input summation function. Only the first layer has biases.

Newgrnn assigns the input weights to the first layer, with all biases set to a value equal to $0.8326/\text{spread}$, where spread is the spread parameter of the function. The second layer assigns weights according to the target output values.

Figure 1 shows the approximation of experimental data using the newgrnn function (smoothing parameter = 0.5).

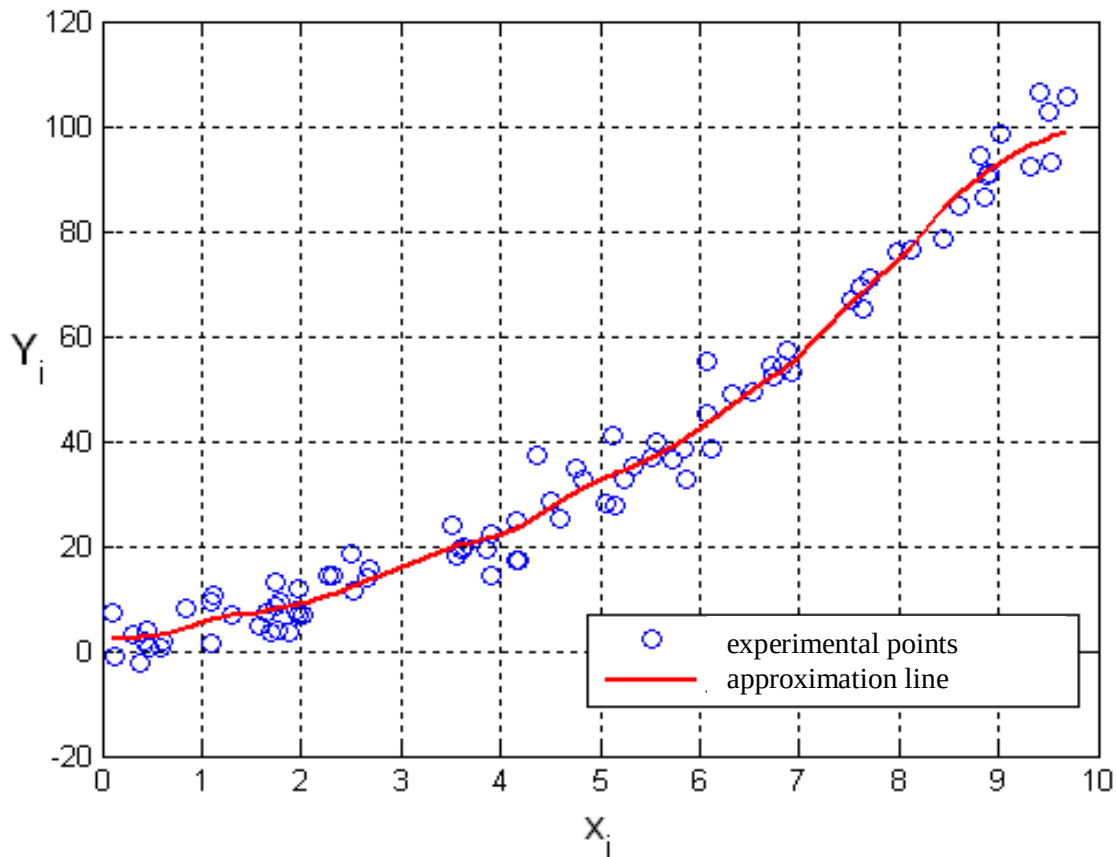


Figure 1 – Approximation using a function newgrnn

The newrbe function constructs an exact radial basis function (RBF) network. The created two-layer network uses a weight assignment principle similar to the network designed with the newgrnn function. The difference is that for weight assignment in the second layer, a dot product weighting function is used. Also, in this network, both layers can have biases assigned.

Figure 2 illustrates the approximation of the output data by a network built using the newrbe function (smoothing parameter = 8).

The newrb function implements the construction of a radial basis network. It is fully analogous to the newrbe function but includes an additional parameter – goal, which sets the threshold value for the training criterion. Initially, the radial layer of the network contains no neurons. Neurons are added during the network construction process until the squared deviation reaches the value specified by the goal parameter. Until this value is achieved, the following steps are repeated during the network construction process:

- network modeling;
- finding the input vector with the largest error;
- adding to the first layer a neuron with weights equal to this vector;
- redefining the weights of the second layer in such a way as to minimize the error.

The approximation based on the use of the newrb function is depicted in fig. 3 (smoothing parameter = 8).

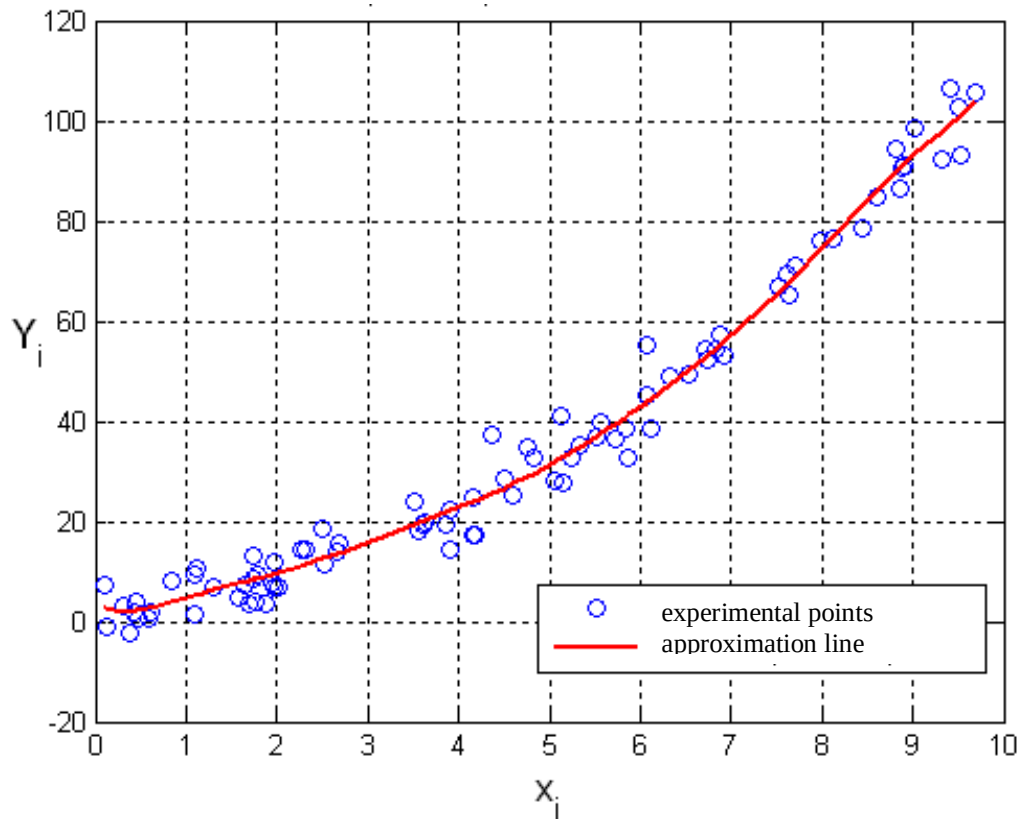


Figure 2 – Approximation using a function newrbf

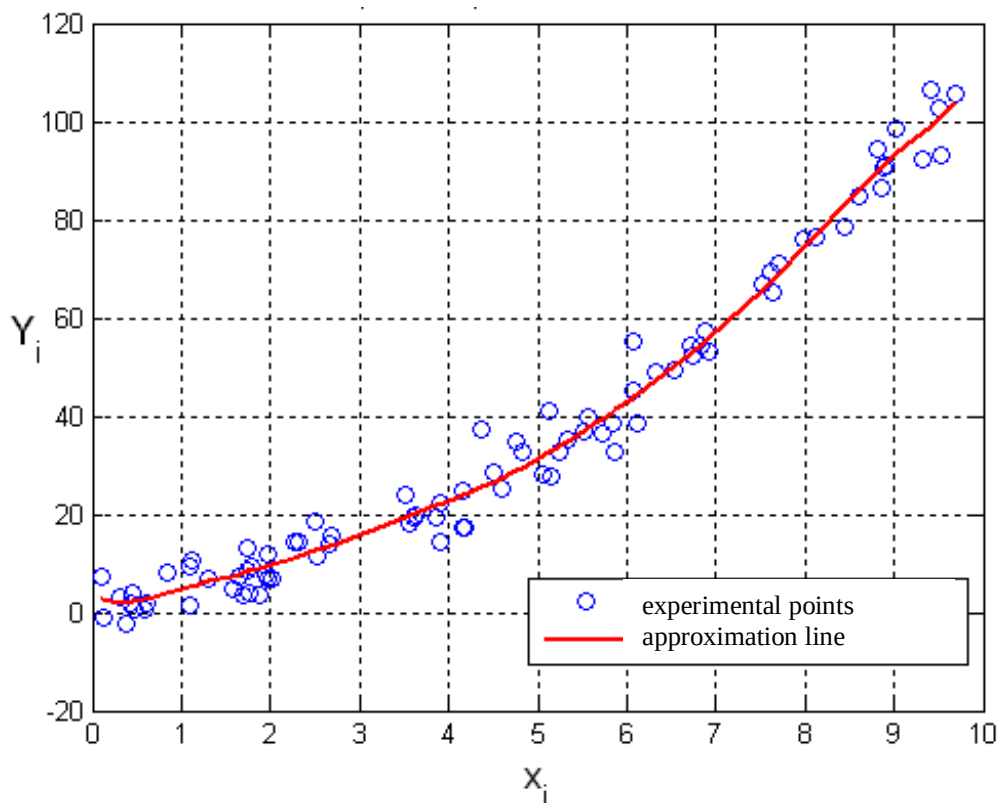


Figure 3 – Approximation using a function newrb

As the criterion for evaluating the use of Neural Network Toolbox functions, the squared deviation of experimental points from the approximation line was chosen. Ideally, this value should approach zero.

For each of the functions used, the dependence of the squared deviation on the smoothing parameter was studied. The results are presented in the form of graphs (fig. 4-5). It is important to note that for each function, the range of the smoothing parameter was selected to be the most optimal for use. Thus, for the newgrnn function, the most acceptable interval was [0.1, 1.5], and for newrb and newrb – [5.9, 9.5].

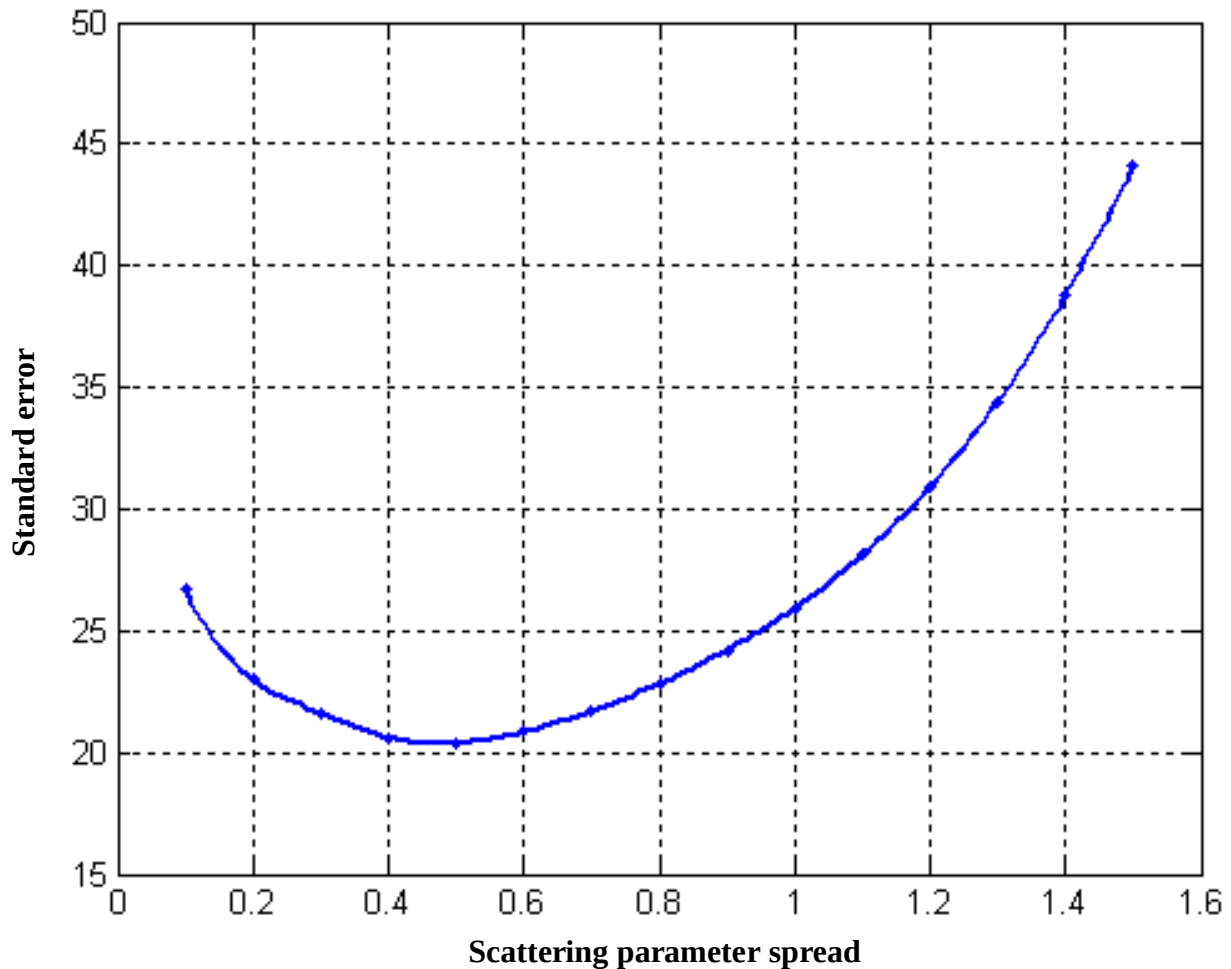


Figure 4 – Dependence of the squared deviation on the smoothing parameter when using the function newgrnn

When using the newgrnn function, the minimum value of the squared deviation corresponds to a spread of 0.5. $\text{spread} = 0.5$. Further on the graph, a monotonically increasing dependence can be observed, meaning that as the smoothing parameter increases, the network error also increases. This indicates that the network begins to retrain – it starts approximating the available data too closely.

During the study of the newrb function, it was found that the dependence line has an uneven character. In the range close to $\text{spread} = 9$, a sudden jump is observed: initially, the squared deviation becomes minimal at $\text{spread} = 8.85$, and then the error value increases by several tenths before the graph stabilizes again. The problematic area was investigated with a finer step, and it was found that there is no algorithm convergence within this interval.

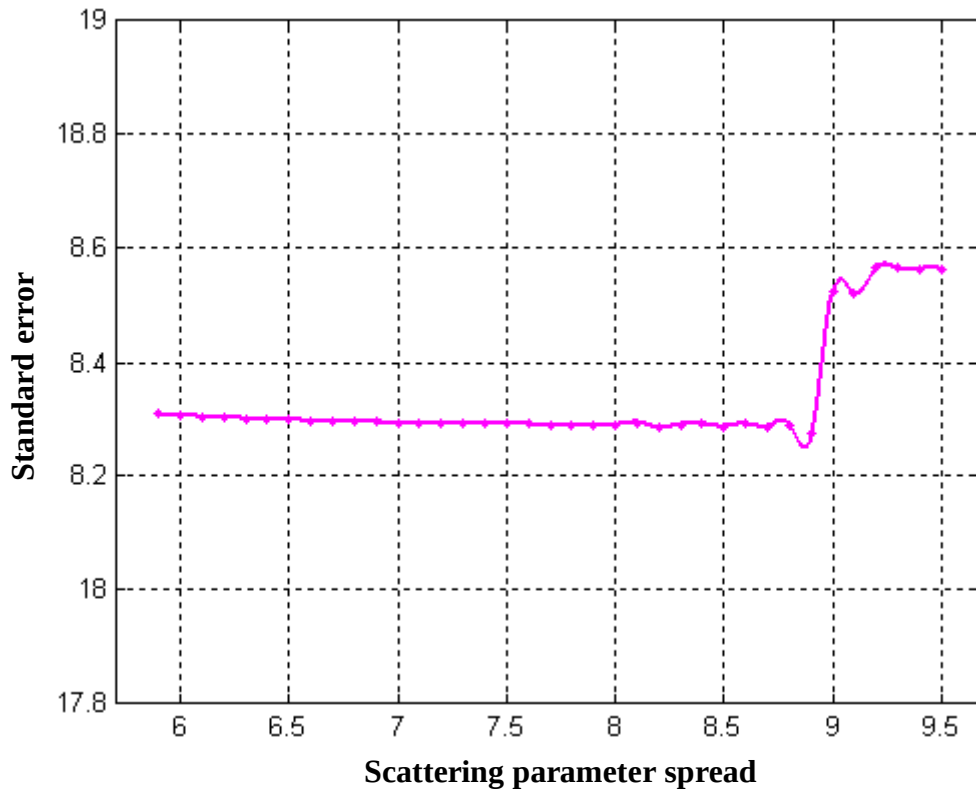


Figure 5 – Dependence of the squared deviation on the smoothing parameter when using the function newgrnn

The dependence of the squared deviation on the smoothing parameter when using the newrbe function practically coincides with the values obtained for the newrb function.

The Neural Network Toolbox package provides the capability to create a "classic" multilayer neural network using the newff function. In multilayer networks, neurons are grouped into layers. A layer consists of a collection of neurons that share the same input signals. The number of neurons in each layer can be arbitrary and is not predetermined by the number of neurons in other layers. In general, the network consists of Q layers, numbered from left to right. External input signals are fed to the input neurons of the first layer (the input layer is often numbered as zero), and the outputs of the network are the output signals of the last layer. The network input can be considered as the output of a "zero layer" consisting of degenerate neurons that serve only as distribution points, where no signal summation or transformation occurs. Besides the input and output layers, a multilayer neural network has one or more intermediate (hidden) layers. The connections from the outputs of the neurons in a given layer q to the inputs of neurons in the next layer ($q+1$) are called sequential connections.

In the newff function, the training of such a network is performed using the back propagation method. This is an iterative gradient-based training algorithm used to minimize the squared deviation between the current output and the desired output in multilayer neural networks. In this algorithm, the error function is defined as the sum of squared discrepancies (errors) between the desired and actual outputs of the network.

When calculating the elements of the gradient vector, a specific form of the derivative of the sigmoid activation functions is used. The algorithm operates cyclically, and these cycles are conventionally called epochs. During each epoch, all training samples are fed sequentially to the network input, the network's output values are compared to the target values, and the error is computed. The error value, along with the gradient of the error surface, is used to adjust the weights, after which all actions are repeated. The initial configuration of the network is chosen randomly, and the training process is stopped either when a set number of epochs is completed, when the error reaches a predefined low level, or when the error ceases to decrease (the user can select the desired stopping condition).

The classical back propagation method belongs to algorithms with linear convergence. Its well-known drawbacks include: relatively low convergence speed (a large number of iterations needed to reach the minimum of the error function), possibility of converging to local solutions (local minima of the error function rather than the global minimum). A network paralysis is also possible, when most neurons operate at very large argument values of the activation function, i.e., on its flat region (since the error is proportional to the derivative, and the derivative is small in these regions, the training process virtually stagnates).

To eliminate these drawbacks, numerous modifications of the back propagation algorithm have been proposed, involving the use of various error functions, different procedures for determining the direction and magnitude of the learning step, and so forth.

The network used for this work applies the most efficient variant of the backpropagation algorithm, namely the Levenberg-Marquardt method, which assumes that the function modeled by the neural network is linear. Under this assumption, the minimum can be determined in a single computation step. The found minimum is then verified, and if the error has decreased, the weights are updated with the new values. The entire procedure is repeated sequentially. Since the assumption of linearity is generally not fully justified, it may happen that one would need to check points lying far (sometimes very far) from the current point. In the Levenberg-Marquardt method, the location of the new point is a compromise between moving in the direction of steepest descent and making a large jump based on the linearity assumption. Successful steps are accepted, shifting the balance towards the linearity assumption (which is approximately valid near the minimum point), while unsuccessful steps are rejected, and the algorithm moves more cautiously downhill. Consequently, the Levenberg-Marquardt algorithm constantly adapts its behavior and can operate very quickly.

To make rational use of the network's ability to find the minimum mean squared error, an approach implemented in the Group Method of Data Handling (GMDH) algorithms is used. In this method, all optimization issues are solved by selecting options based on the available training and validation data sequences.

For the experiment, the complex `nftool` function from the Neural Network Toolbox package was used (fig. 6). This application guides the user through solving the task in dialog mode, implementing it through a feedforward network trained using

the Levenberg-Marquardt method. Nftool requires loading data into the MATLAB workspace. This is done using the load command, which imports data from the specified file into MATLAB's workspace, making them ready for processing. Next, it is necessary to set the number of neurons in the hidden layer and define the percentage split between the training and validation sequences. Data normalization, sequence splitting, network creation, training, and result visualization are all performed automatically by the application.

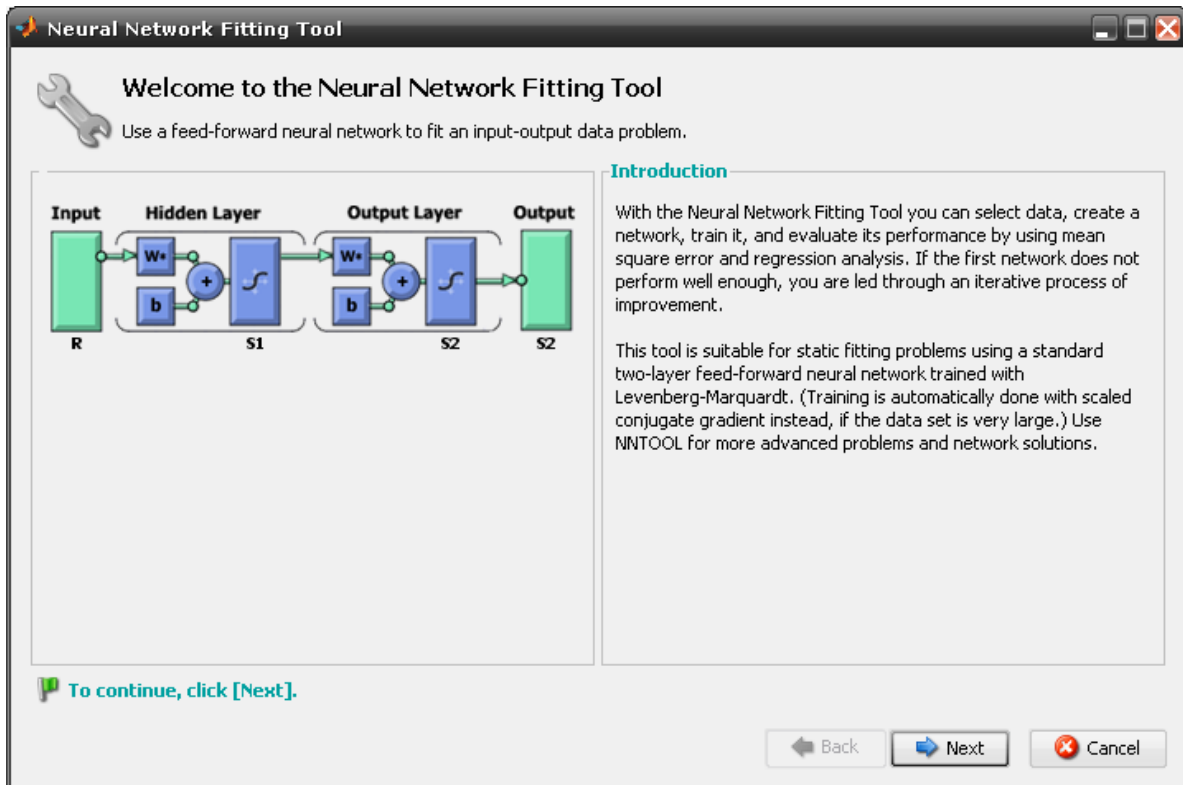


Figure 6 – Nftool program dialog box nftool

The output data used for the experiment consist of samples of input (RGB) and output (Lab) measured color values. These data were obtained by measuring a color target Eye One™ Scan Target 1.4 with Eye One Pro spectrophotometers.

The data is presented in the form of matrices of dimension 3×288 . However, the network uses only one output element in the work. Therefore, the experiment was performed three times for each row of the Lab matrix with the three input elements (RGB matrix) unchanged.

Initially, the input and output values are normalized to the range $[-1, 1]$. The normalization information is stored within the network to enable inverse transformation later. Then, the output data is split into three sequences: for training, validation, and testing. After that, the network is created and trained, and a reverse transition to denormalized data is performed, with results presented in the form of graphs. It is important to note that the initial weight values assigned to neurons depend on the initial point, which is chosen randomly. To ensure experiment reproducibility, this point was fixed. Thus, calculations are performed with the same initial weight values, making it possible to change all the other parameters.

After building a neural network using nftool for the output L^* , with the number of neurons in the hidden layer set to 20 and both the training and validation sequences comprising 20% each, the results were obtained in the form of two graphs shown below. The first graph illustrates the dependence of the squared deviation on the number of iterations for each sequence (fig. 7). It is evident that with each subsequent epoch, the network error decreases, approaching the default target value goal = 0. As can be seen from the graph, it took 14 iterations to reach a deviation equal to 0.00450785.

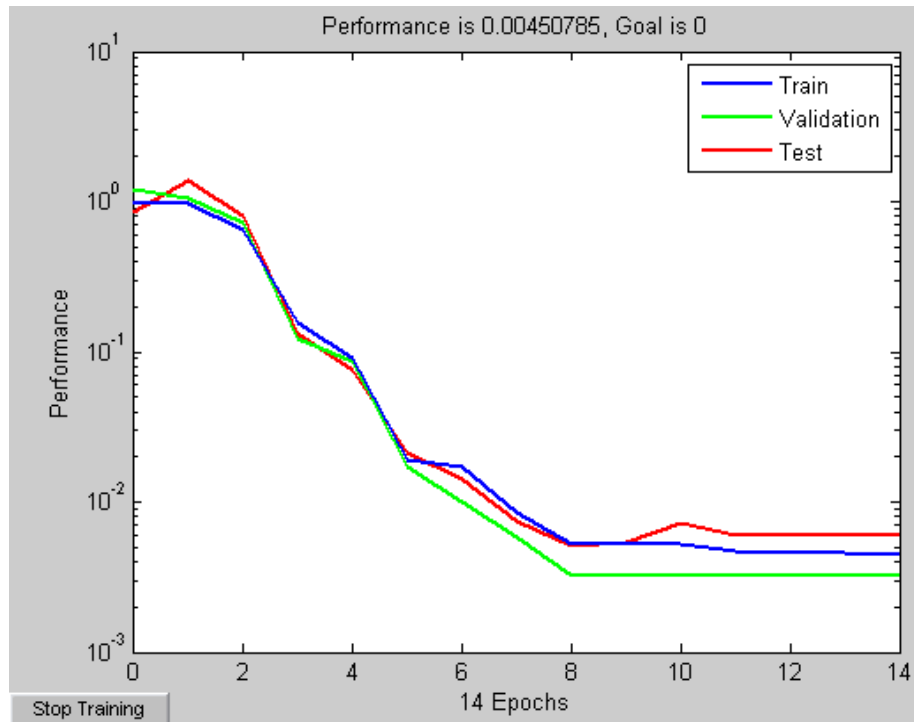


Figure 7 – Dependence of the mean square error on the number of iterations during network training using nftool

The second graph displays the dependencies between the network outputs and the experimental data, including the value of the multiple coefficients of determination R-squared. (fig. 8).

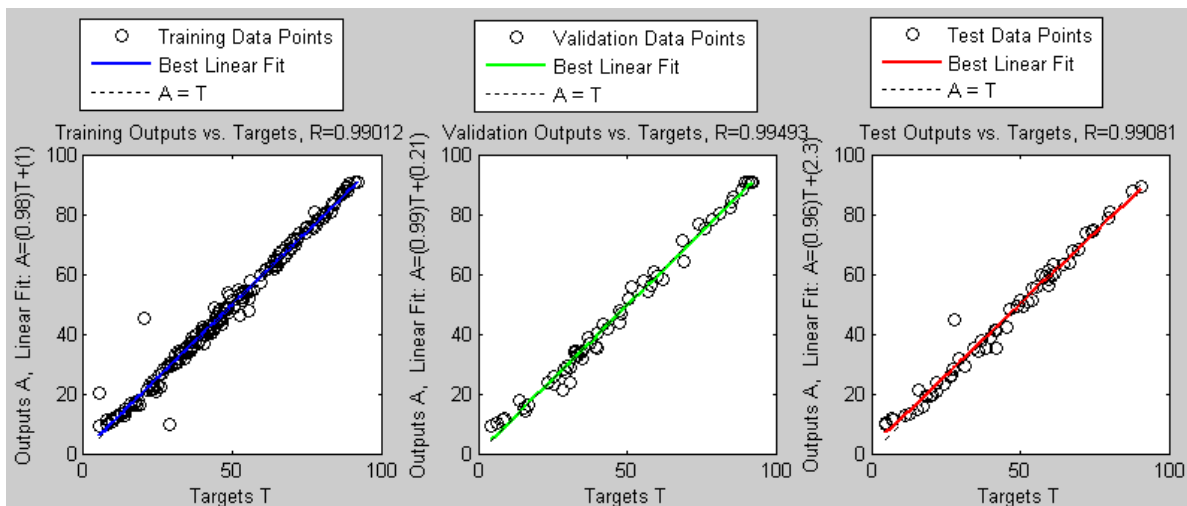


Figure 8 – Dependences of network outputs on experimental data

The coordinates of the points are given relative to the output data. The Linear Fit field displays the equation of the approximation line for each sample. In the case of perfect approximation, all points lie on a single line, which corresponds to the bisector of the angle.

Several methods for splitting available data into training and validation sets have been proposed online. These methods are based on calculating the squared deviations from the mean value for all available interpolation nodes.

The first method is aimed at obtaining such a division of nodes that ensures the greatest conditioning of the normal equation matrices. To achieve this, the points are ranked according to the value of D^2 , with those exhibiting greater variance assigned to the training sequence, and those with lower variance assigned to the validation sequence. The ratio of the number of points in both sequences is further refined by evaluating several alternatives based on the criterion of minimizing the mean squared error, which is calculated on the second validation sequence.

The objective of the second method is to achieve an approximate equality of the statistical characteristics between the validation and training sequences (that is, the equality of means, variances etc.). To ensure statistical equivalence, the interpolation nodes are ranked according to the value of the variance D^2 and numbered accordingly. Subsequently, the nodes with even indices are used to form one sequence, while those with odd indices form the other. For different ratios of sequence sizes, it is possible to select all points with indices divisible by three, four, and so on, for inclusion in the validation sequence. As in the previous method, the ratio of the sequence sizes can be determined through an optimization process.

According to these recommendations, the original sample was divided into training and testing sequences using the first method. The results obtained in this case are presented in figures 9-10.

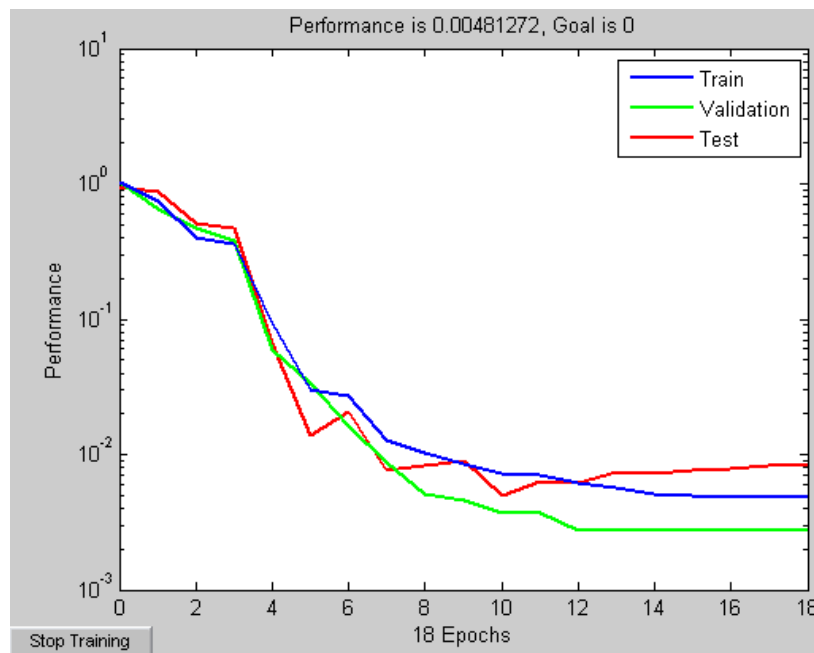


Figure 9 – Dependence of the mean square error on the number of iterations when dividing the sample into training and testing sequences after ranking by increasing variance

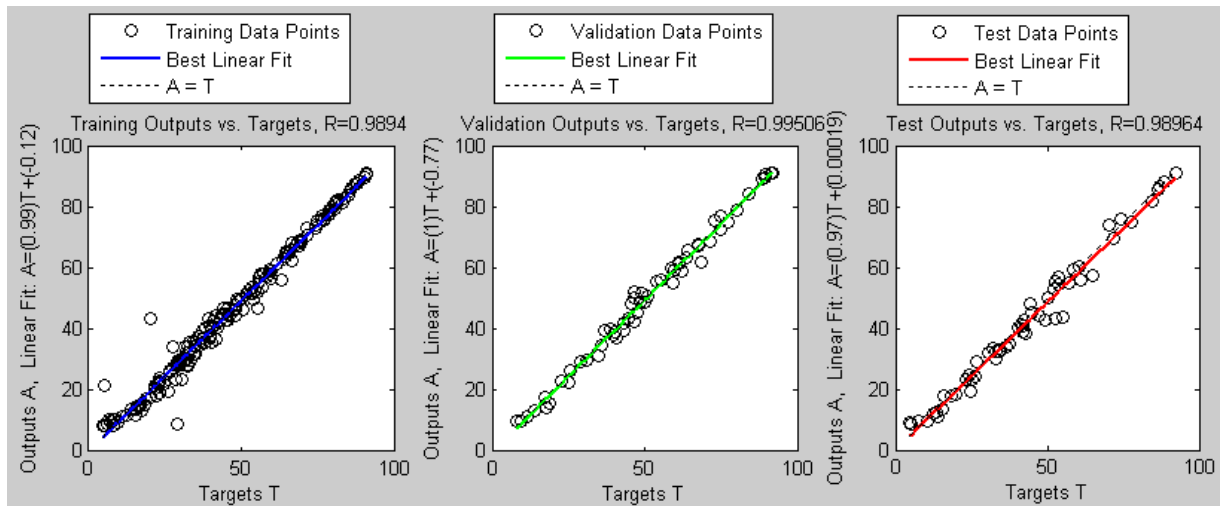


Figure 10 – Dependences of network outputs on experimental data in the case of dividing the sample into training and testing sequences after ranking by increasing variance

The graphs show that although the network required a slightly larger number of iterations than in the first case, there is no significant difference – the network error is only a few ten-thousandth higher than the previous value, and the R-squared value is also close to unity.

To validate these results and to potentially identify the optimal ratio between the training, testing, and validation sequences, several additional graphs were constructed, in which the target output values and the percentage distribution between the sequences were varied. The results are presented in the figures 11-14.

The graphs located on the left and at the top correspond to the outcomes obtained exclusively through the use of nftool, while those on the right and at the bottom correspond to the division of the sequences according to the same first method.

Also, for the first case, a network was built in which the initial data for division into a validation and training sequence was ranked in decreasing order, that is, those points with a larger variance were assigned to the test sequence, and the smaller one to the training sequence. The results of such an experiment are presented in fig. 15-16.

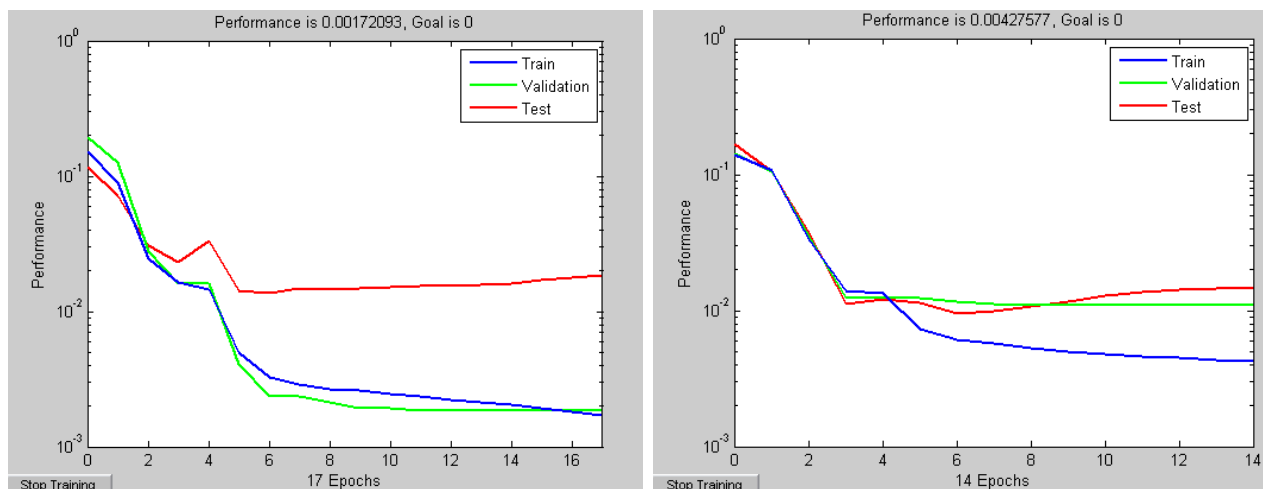


Figure 11 – Dependence of the mean square error on the number of iterations for the network built for the output a^* , for a ratio of training and testing sequences of 20% and 30%, respectively

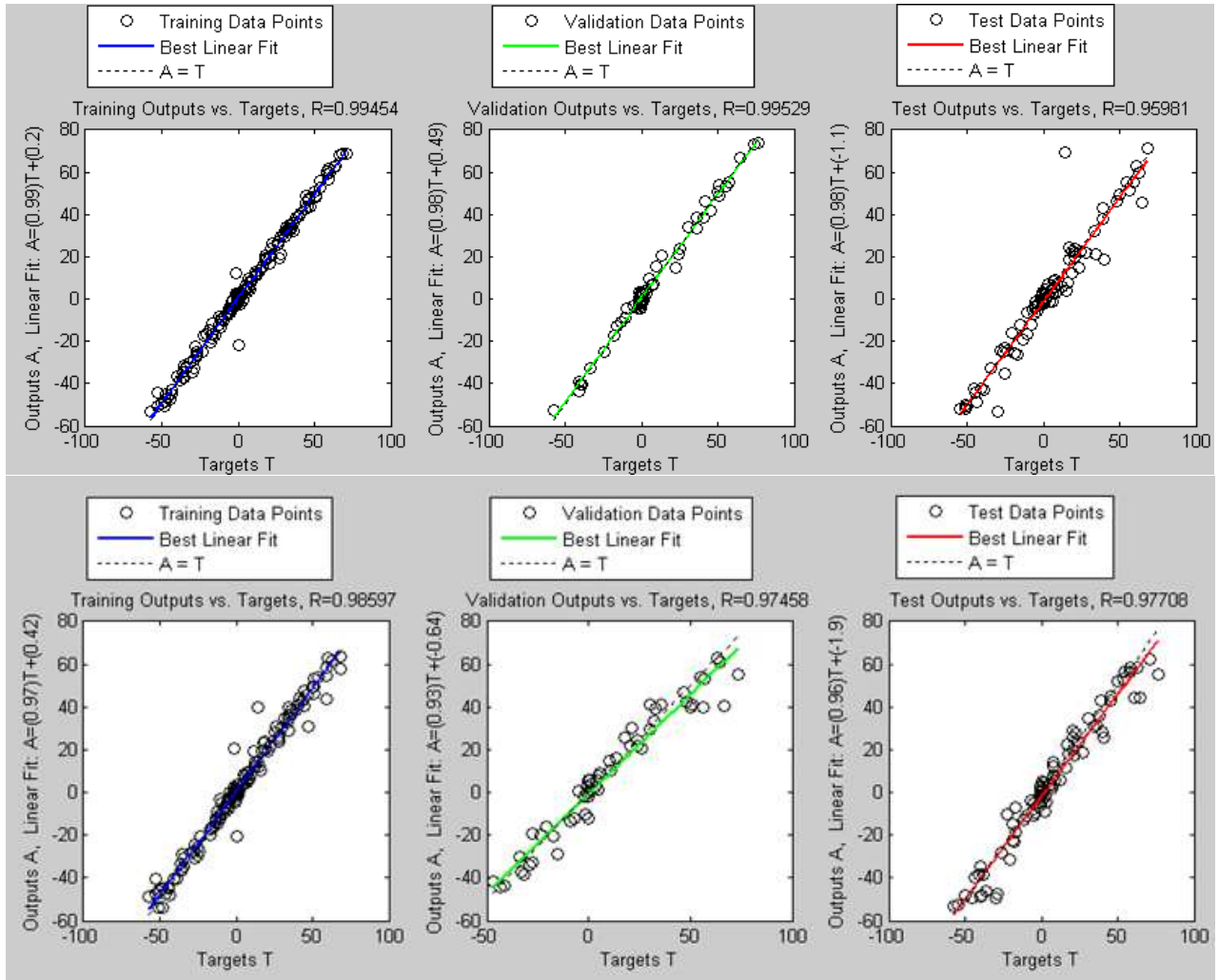


Figure 12 – Dependences of network outputs on experimental data for a network built for output a^* , with a ratio of training and testing sequences of 20% and 30%, respectively

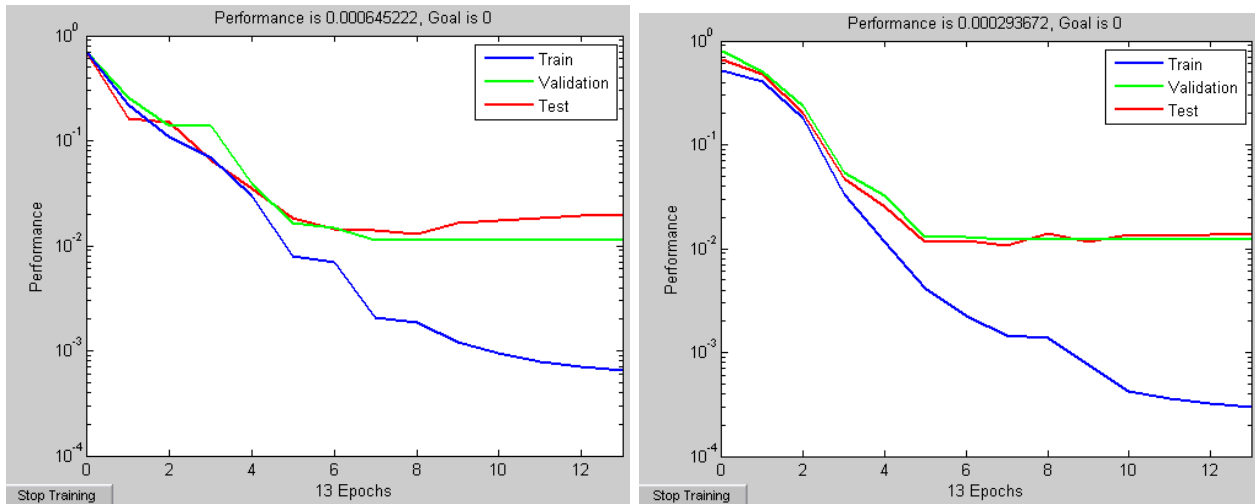


Figure 13 – Dependence of the mean square error on the number of iterations for the network built for the output b^* , for a ratio of training and testing sequences of 40% i 30%, respectively

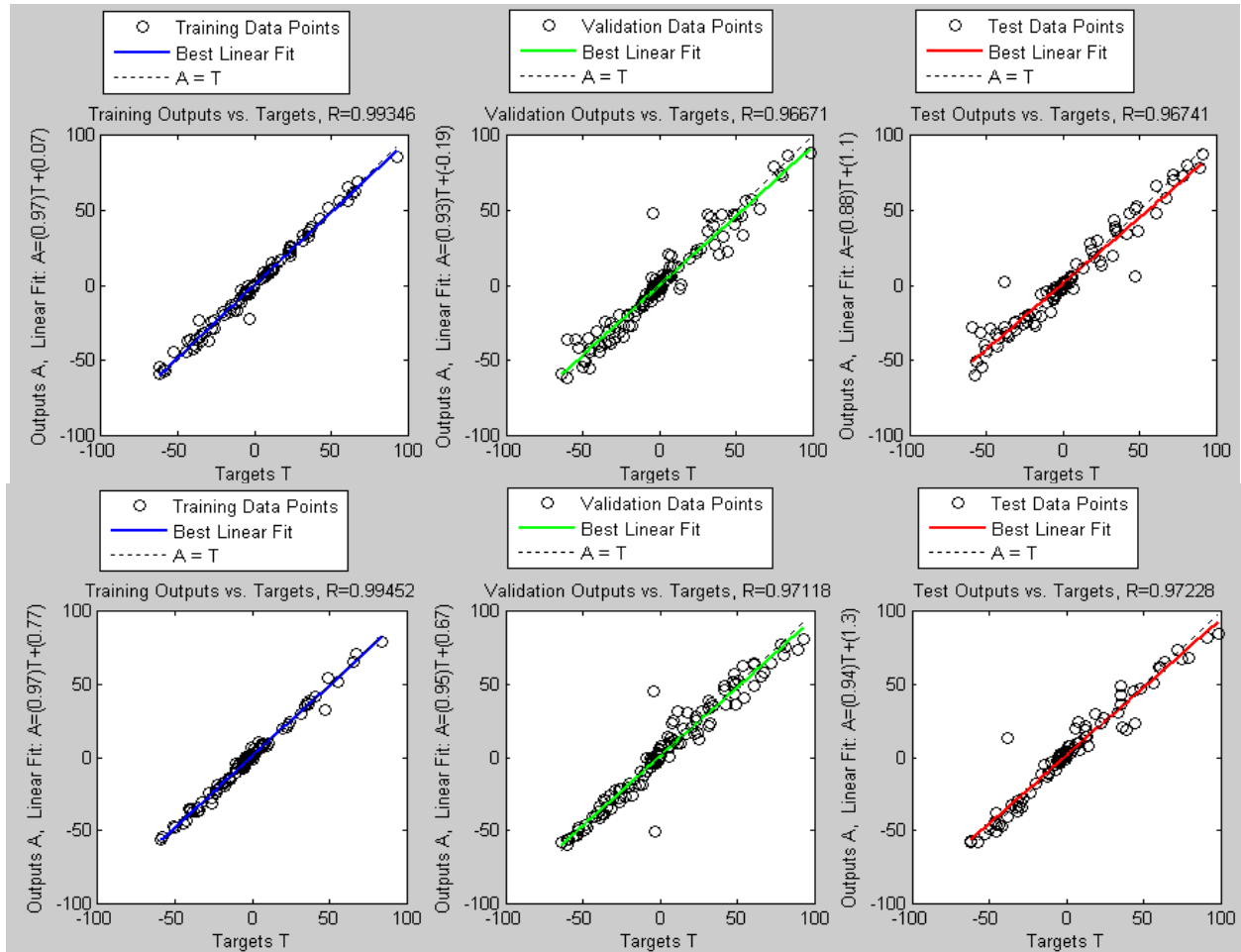


Figure 14 – Dependences of network outputs on experimental data for a network built for output b^* , with a ratio of training and testing sequences of 40% i 30%, respectively

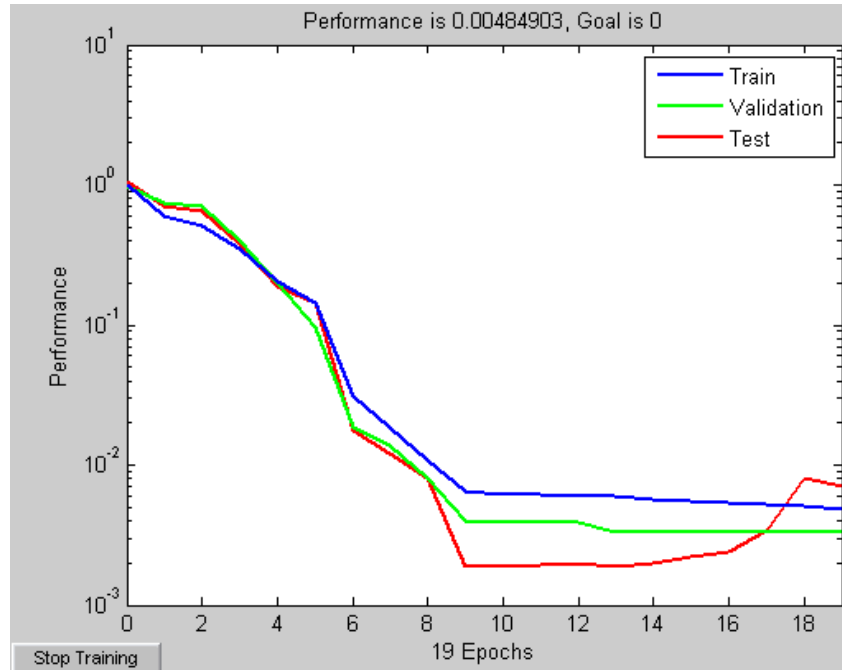


Figure 15 – Dependence of the mean square error on the number of iterations when dividing the sample into training and testing sequences after ranking by variance reduction

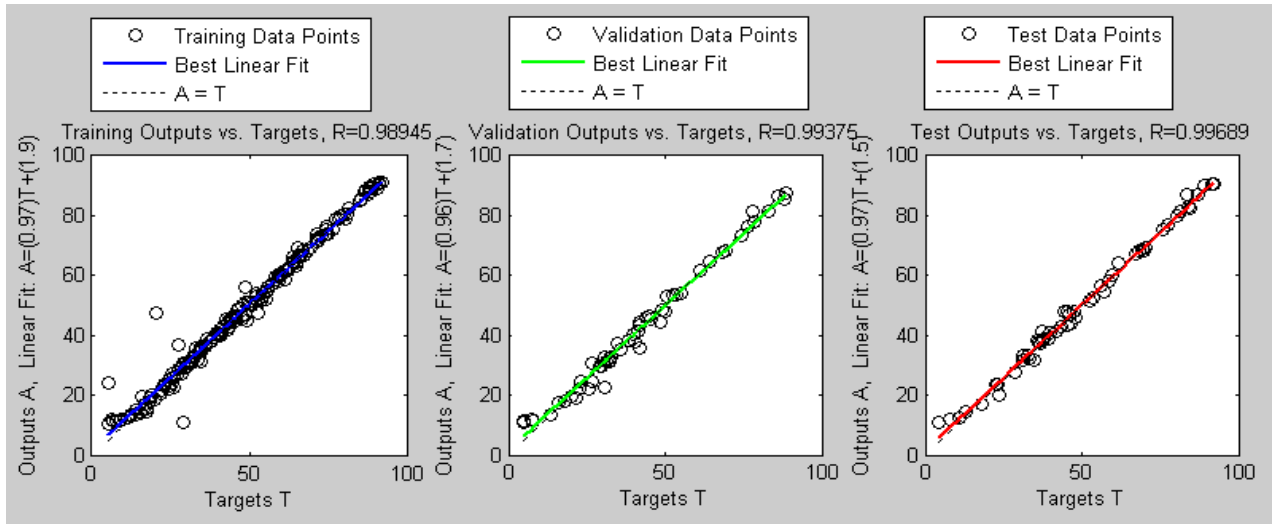


Figure 16 – Dependences of network outputs on experimental data in the case of dividing the sample into training and testing sequences after ranking by variance reduction

Thus, it is evident that the approach involving the partitioning of data into training and validation sequences according to the method proposed in the recommendations for the Levenberg–Marquardt algorithm does not yield a significant improvement in solving the approximation problem using artificial neural networks.

Additionally, a study was conducted to investigate the effect of the number of neurons in the hidden layer on the network's performance. It was observed that as the number of neurons increased, the mean squared error of the network for the same output data decreased. However, no clear dependency was found between the number of epochs required for training the network and the number of neurons in the hidden layer. The results of the study are presented in figures 17-22.

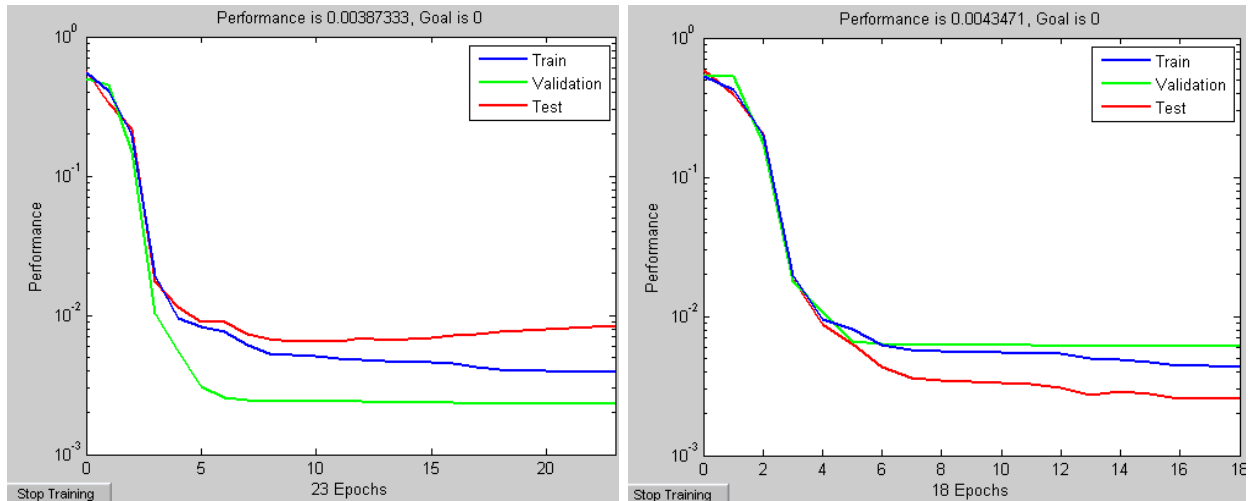


Figure 17 – Dependence of the mean square error on the number of iterations for the network built for the output L^* ; number of neurons in the hidden layer = 10

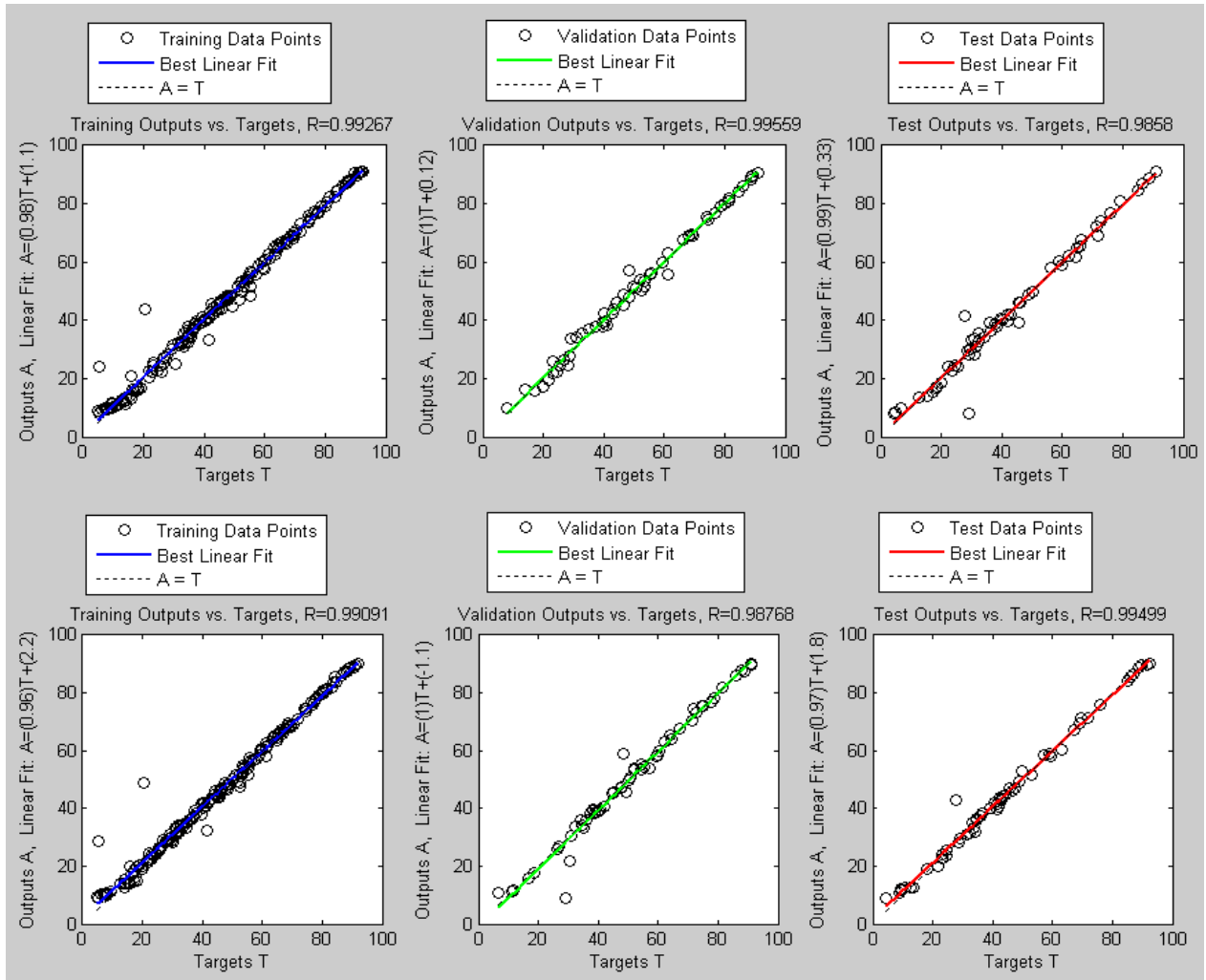


Figure 18 – Dependences of network outputs on experimental data for a network built for output L^* ; number of neurons in the hidden layer = 10

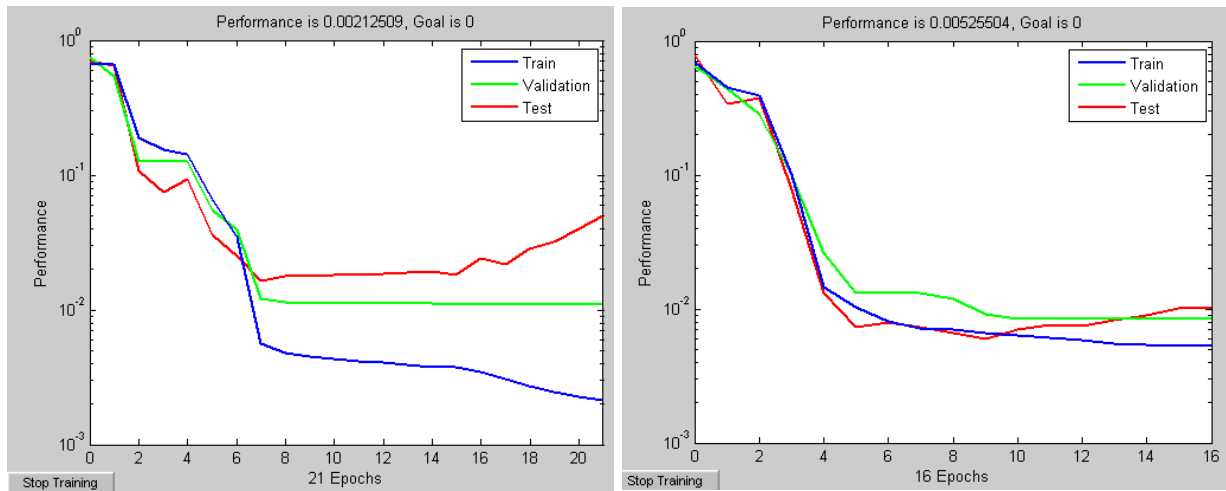


Figure 19 – Dependence of the mean square error on the number of iterations for the network for the output a^* ; number of neurons in the hidden layer = 25

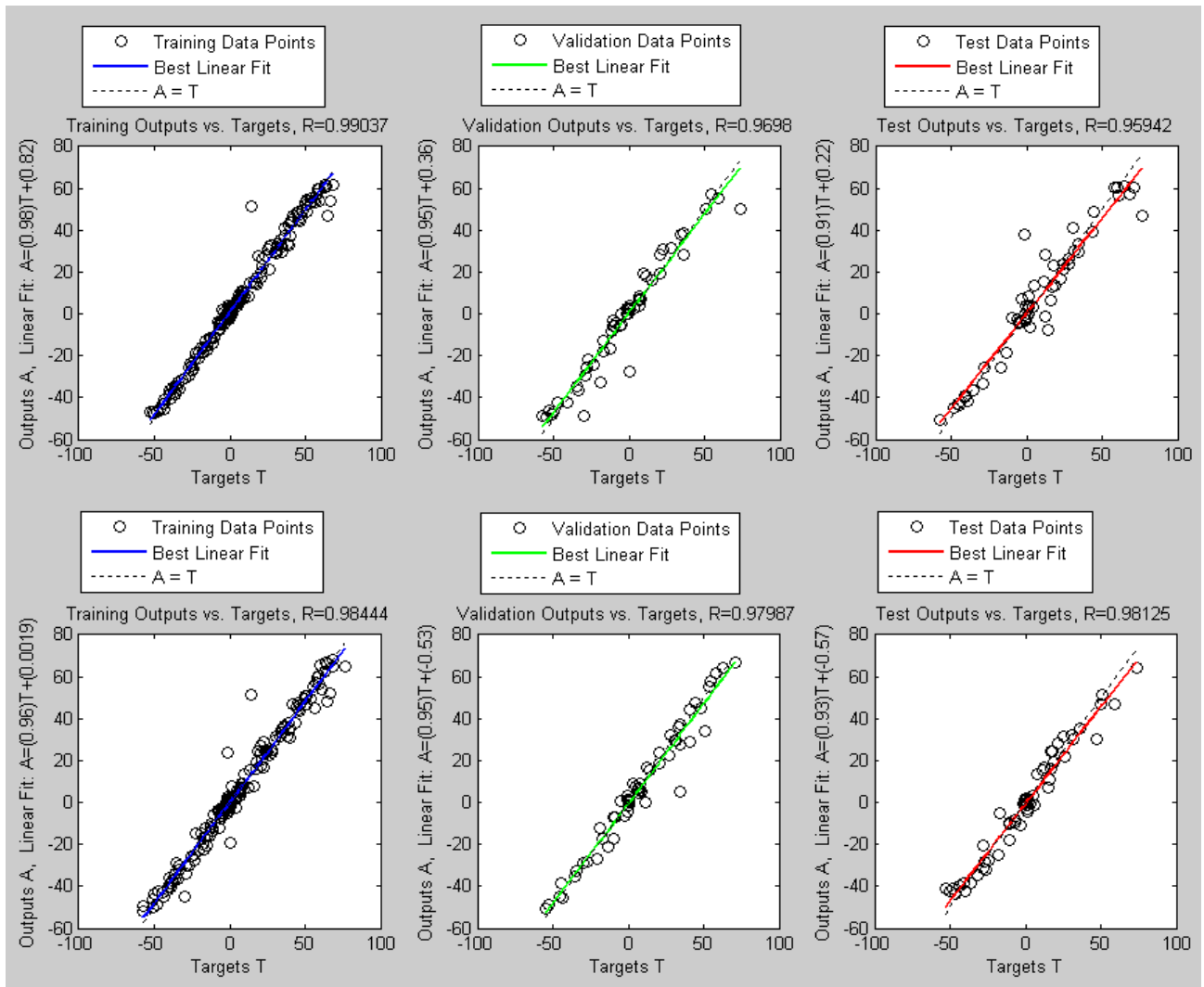


Figure 20 – Dependences of network outputs on experimental data for a network built for output a*; number of neurons in the hidden layer = 25

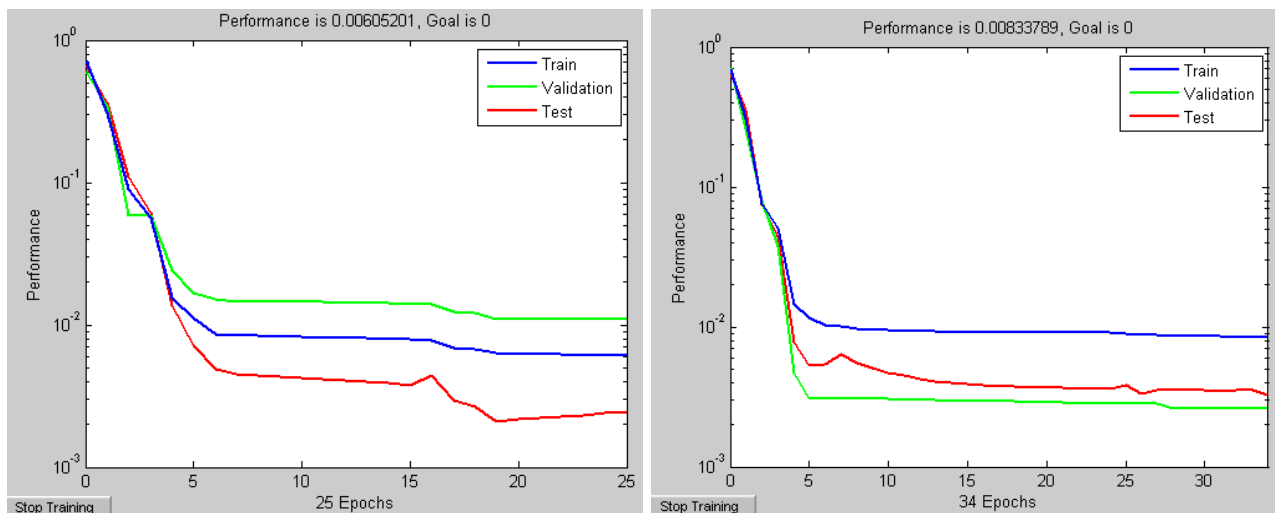


Figure 21 – Dependence of the mean square error on the number of iterations for the network for output b*; number of neurons in the hidden layer = 5

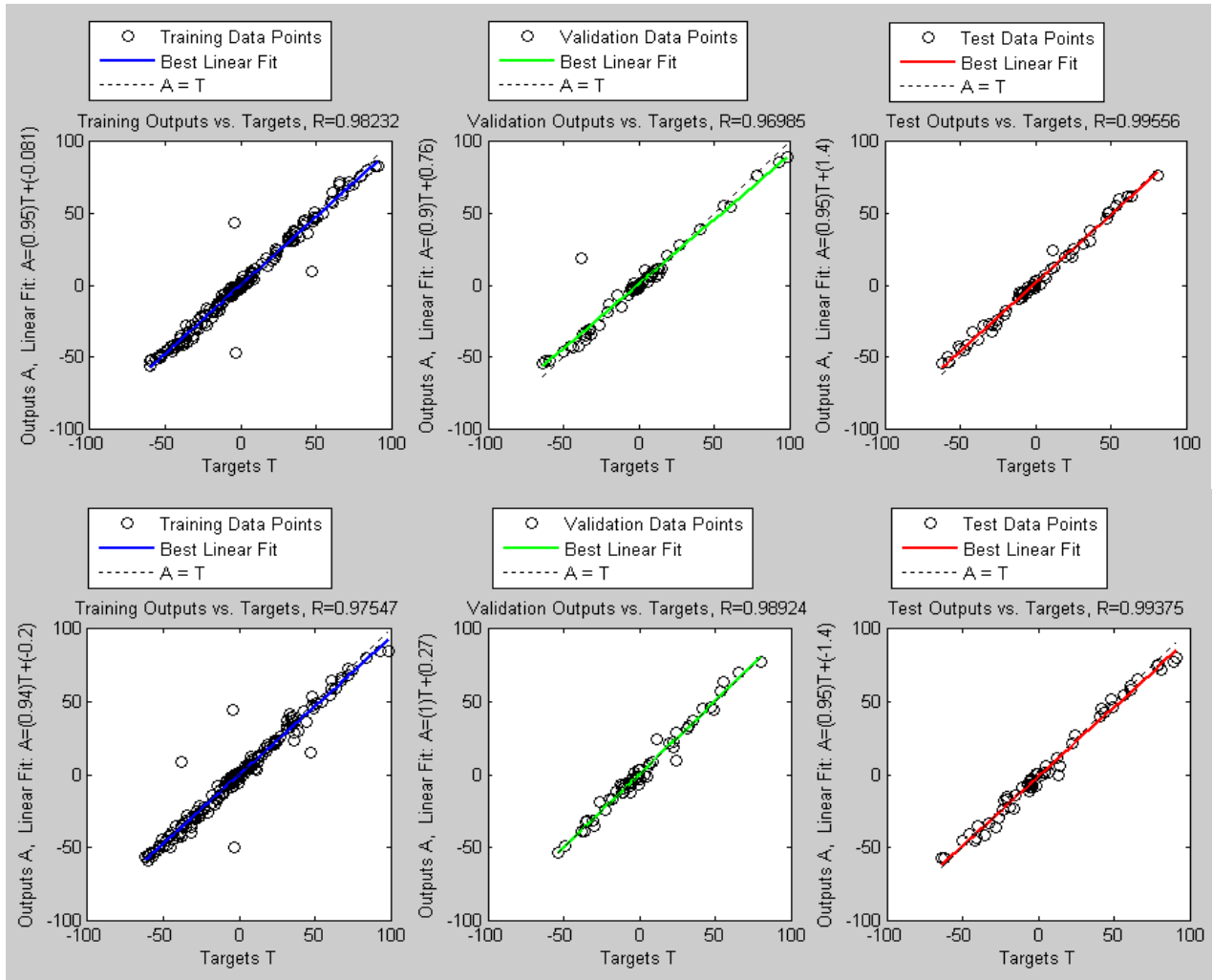


Figure 22 – Dependences of network outputs on experimental data for a network built for output b*; number of neurons in the hidden layer = 5

All calculations were carried out with the ratio of the training and validation sequences set at 20% each. The graphs on the left and at the top correspond to the results obtained exclusively using the nftool, while the graphs on the right and at the bottom correspond to the division of the sequences according to the same first method.

Study results

An analysis of the features of transforming one color model into another based on the construction of ICC profiles was conducted. The fundamentals of profiling display, input, and output devices were outlined. The basic concepts of artificial neural network theory were presented, and the capabilities of data approximation using such networks were considered. In the practical part of the study, numerical modeling of neural networks was performed for approximating data obtained from the measurement of color targets. The influence of network tuning parameters on solving the problem of smoothing experimental data was experimentally investigated.

Conclusions

The possibilities and efficiency of applying artificial neural networks for the approximation of measured data in the construction of color profiles for printing equipment were investigated.

The results of the study were tested during real commissioning works of printing equipment at "Infol" LLC, presented at international scientific conferences, and published [5].

It was practically demonstrated that the implementation of the developed methodology for prepress preparation and equipment adjustment significantly reduces both the cost and time required for performing these tasks.

Thus, the objectives of the study were achieved, and all research tasks were successfully completed.

References.

1. ICC.1:2004-10 Specification (Profile version 4.2.0.0). Color management technology in images – architecture, profile format, and data structure.
2. Hung, P.-C. (1993). Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolations. *Journal of Electronic Imaging*, 2(1), 53-61.
3. ISO 3664:2000. Standard. Conditions for visual display. Graphic technology and photography.
4. ISO 12646:2004. Standard. Printing technology. Displays for image color verification. Characteristics and conditions for visual display.
5. Azarenkov, V.I., & Deineko, Z.V. (2024). Study of the use of artificial intelligence in the tasks of building digital profiles of printing equipment. *Scientific achievements of contemporary society*. (p. 271-273).

МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КОНВЕРСІЇ ВІДЕОКОНТЕНТУ В СТРУКТУРОВАНІЙ МЕДІАМАТЕРІАЛІ

Левикін І.В.

д.т.н., доцент, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Шимко Д.І.

аспірант, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** У роботі досліджено процес автоматизованої конверсії відео в структурований текстовий контент із контекстно синхронізованими зображеннями. Розглянуто сучасні інструменти на базі штучного інтелекту для транскрипції мовлення, семантичної обробки тексту та генерації візуального супроводу. Проведено експериментальне тестування на комплексному мультимедійному матеріалі.*

***Ключові слова:** АВТОМАТИЗАЦІЯ, МЕДІАКОНВЕРСІЯ, ТРАНСКРИПЦІЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ, СТРУКТУРОВАНІЙ ТЕКСТ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.*

Вступ

Відео є одним із найбільш комплексних і насичених форматів передачі інформації. Його унікальність полягає в одночасному залученні кількох каналів сприйняття, що дозволяє глибше зануритися в контент і краще запам'ятовувати подану інформацію. Така багаторівнева взаємодія з користувачем значно підвищує ефективність навчального чи інформаційного матеріалу. Відео забезпечує більш інтегрований підхід до подання змісту, дозволяючи краще візуалізувати об'єкти, процеси чи події, демонструвати приклади, експерименти чи інтерв'ю в динаміці.

Незважаючи на переваги використання відеоформату, він також має низку важливих недоліків. Зокрема, зберігання відеоматеріалів потребує значного обсягу пам'яті через високу вагу файлів. Часто якість відео чи звуку може бути незадовільною через технічні обмеження запису або обробки, що ускладнює сприйняття. Крім того, відео може містити багато несуттєвих елементів, таких як заставки, переходи або рекламні вставки, які не несуть змістового навантаження і лише відволікають глядача. Також відео практично позбавлене можливості швидкої навігації по змісту, оскільки пошук або перехід по навігації у відео неможливо реалізувати з такою ж швидкістю та зручністю, як це зроблено в текстових матеріалах. До того ж ефективність відтворення відеофайлів часто залежить від технічних характеристик пристроїв, на яких вони переглядаються.

На цьому тлі текстові формати демонструють цілий ряд переваг, що робить їх незамінними в багатьох сферах. Текст дозволяє швидко орієнтуватися в

матеріалі завдяки чіткій структурі, змісту, заголовкам і підзаголовкам. За допомогою функцій пошуку можна миттєво знаходити потрібні фрагменти, що є особливо корисним під час аналізу великих обсягів даних або навчального контенту. Також важливо, що текстові файли займають мінімум місця, легко редагуються, копіюються, зберігаються й відтворюються практично на будь-якому пристрої, що значно підвищує доступність контенту для широкої аудиторії.

Сучасні інструменти з використанням моделей штучного інтелекту дозволяють автоматизувати створення ключових деталей та змісту обговорення, що значно спрощує підсумовування офісних зустрічей та зідзвонів через інтернет [1]. У деяких випадках відеоформат матеріалу обирається не через огляд та вибір між перевагами та недоліками цього формату, а через неможливість збереження оригінального матеріалу у інших форматах.

Наприклад, запис онлайн-зустрічей, які відбуваються у багатьох компаніях у таких месенджерах, як Zoom, Slack, Google Meet та інших, що дає можливість зберегти увесь обговорюваний матеріал. Подальше переглядання цього матеріалу, який може складатися з годин відеозапису, у намаганнях виписати важливі ключові деталі та зміст усіх обговорень є складним та нераціональним методом обробки.

У сучасному світі, особливо з урахуванням реалій життя у пост-пандемічний час та через вплив інших факторів нестабільності, навчання у 71.6% освітніх закладах України відбувається дистанційно [2]. Можливість збереження та подальшої обробки лекційних матеріалів може допомогти викладачам створювати більш детальні та ефективні навчальні матеріали. Це особливо буде корисним для тих студентів, які не могли бути присутніми на лекціях, або віддають перевагу використанню текстових та графічних матеріалів, а не лекцій у живому форматі.

Незважаючи на популярність текстових форматів, велика частина сучасного мультимедійного контенту, зокрема ЗМІ, освітні платформи, подкасти та відеоблоги, створюються насамперед у форматі відео. Хоча ці матеріали можуть бути надзвичайно цінними, їх подальше використання у текстовому вигляді потребує мануальної роботи. Перегляд відео, запис тексту, підбір зображень, що відповідають змісту, та додаткової структуризації. Такий підхід потребує багато часу та зусиль, що обмежує масштабування контенту в різних форматах.

Враховуючи недоліки відеоматеріалів та складнощі їх перетворення у текстовий формат, виникає потреба в автоматизованих рішеннях, які здатні трансформувати відео у текстовий формат із збереженням якостей важливих візуальних і аудіоелементів. Це повинно забезпечити точність та ефективність такого перетворення.

Замість того щоб ставити текст і відео в опозицію одне до одного, сучасні підходи публікації та просування медіаматеріалів пропонують інтеграцію цих форматів у рамках єдиного мультимедійного підходу. Створення

кросплатформеного контенту, адаптованого до кількох форматів, як відео, тексту та зображень, дозволяє значно розширити охоплення аудиторії. Завдяки публікації одного й того ж матеріалу на різних платформах у відповідних форматах досягається більша універсальність. Такий кросплатформенний підхід стає все більш актуальним у сучасному інформаційному середовищі.

Через особливості та обмеження кожної популярної медіаплатформи виникають складнощі з адаптацією матеріалів або зовсім неможливістю їх публікації. Наприклад, відеохостинг Youtube призначений для публікації змістовних відео, як у інших популярних соцмережах, як Twitter або Facebook, переважає текстова інформація, яка доповнюється зображеннями.

Разом із тим, під час простої транскрипції відео у текст, як правило, втрачається велика частина його смислового наповнення. Якщо відео значною мірою спирається на візуальні елементи, простий текст не передає цього змісту повноцінно. У випадку інтерв'ю або подкастів ситуація може бути простішою, однак виникають складнощі з визначенням розповідачів та їх голосів. Доповнення графічних матеріалів можуть мати суттєве значення для вивчення та засвоєння матеріалу, а їх втрата може знизити інформативність транскрипції.

Тому ключовим викликом стає збереження візуального й контекстного наповнення відео під час його трансформації у текстову форму. Для цього необхідно не лише точно відображати мовленнєвий зміст, а й доповнювати його зображеннями, які відповідають контексту кожної частини. Важливо, щоб ці зображення були точно синхронізовані з текстом, оскільки навіть кілька секунд затримка чи неправильна асоціація можуть втратити доречність, що негативно впливає на сприйняття матеріалу.

Такий підхід дозволяє отримати гібридну форму представлення матеріалу, яка поєднує переваги тексту, візуалізації й аудіо. Одним із найперспективніших напрямів у цій галузі є застосування штучного інтелекту. Наприклад, модель "Whisper" від OpenAI може автоматично транскрибувати аудіо з відео, визначаючи часові мітки для кожного фрагмента. Це дає змогу прив'язати зображення або скріншоти до відповідного тексту, значно покращуючи сприйняття матеріалу [3].

Інші сервіси, як AssemblyAI, забезпечують розпізнавання окремих голосів у діалогах, що дозволяє автоматично розділити висловлювання різних розповідачів і створити покращену структуру тексту. Це особливо корисно в подкастах чи інтерв'ю, де важливо розуміти, хто саме говорить у конкретний момент часу. Відсутність відокремлення різних розповідачів може створити матеріал повністю спотвореним та неприйнятним, коли репліки декількох людей будуть йти єдиним текстом без жодного відокремлення. Завдяки таким технологіям автоматизована обробка відео може досягти нових рівнів точності та зручності.

Втім, використання таких інструментів пов'язане з низкою етичних викликів. Наразі відсутні чітко визначені стандарти для автоматичної обробки медіа з використанням ШІ, а також не завжди можна гарантувати достовірність

створених текстів чи зображень. Особливо гострою є проблема використання генеративного ШІ для створення фейкових матеріалів, що загрожує поширенням дезінформації.

Однак у випадку перетворення відео в текст із використанням початкового оригінального контенту, а не генерації нових матеріалів, ризики спотворення матеріалів значно менші. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати ШІ без притаманних йому загроз, водночас розширюючи можливості для журналістики, освіти та інших сфер.

Проведення системного аналізу існуючих інструментів та їх тестування на прикладах реальних відеоматеріалів дозволить виявити переваги та обмеження кожного з підходів. На основі цього можна розробити універсальні методи для створення автоматизованих систем трансформації медіаконтенту з дотриманням балансу між точністю, доступністю та етичністю.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є створення, апробація та оцінювання ефективності автоматизованої інформаційної технології, яка забезпечує конверсію відеоматеріалів у текстові документи зі збереженням контекстуальних особливостей і візуального супроводу.

Дослідження зосереджено на вивченні можливостей сучасних інструментів автоматичної транскрипції, мовного аналізу та генерації тексту для побудови цілісного алгоритму. Ці інструменти дозволяють здійснювати трансформацію відео у структурований медіаматеріал, придатний для подальшої публікації або інформаційної адаптації.

Задачі дослідження включають наступні.

1. Розробка методики конверсії відео у структурований текстовий матеріал із релевантними зображеннями, яка буде дозволяти повністю автоматизувати даний процес у подальшому. Важливим аспектом є вибір таких інструментів, які можуть виконуватися програмно та бути універсальними при обробці матеріалів різної тематики та складової.

2. Вибір інструментів для отримання та обробки відео, які також будуть дозволяти подальшу автоматизацію процесів.

3. Аналіз можливостей сучасних популярних інструментів створення текстової транскрипції з аудіозапису.

4. Визначення кількості помилок та обмежень кожного з розглядаємих інструментів на конкретному прикладі відеоматеріалу. Відео повинно мати комплексний семантичний матеріал, який повинен ускладнити транскрипцію для кращого аналізу успішності кожного з оглядаємих інструментів. Важливо, щоб обраний матеріал мав аудіозапис зі словами, які включають визначення, імена та окремі назви, що повинно ускладнити правильне визначення тексту з аудіо.

5. Форматування визначеного тексту зі збереженням часових відміток, що дозволить у подальшому додавати зображення, які будуть синхронізовані та точно відповідати тексту, поруч з яким вони будуть розміщені.

6. Виконання додаткових операцій над текстом, як переклад та перевірка на помилки, які могли бути допущені під час виконання операцій над текстом.

7. Визначення універсального запиту до моделей ШІ, який дозволить структурувати текст шляхом визначення ключових тем та відокремлення частин тексту одна від одної.

8. Перетворення структурованого тексту у формат HTML, що дозволить одразу розмістити його на веб-сайті без необхідності додаткової обробки та редагування.

9. Формування кінцевого результату з зображеннями, які відповідають визначеним часовим відміткам у попередньо отриманому структурованому тексті, який часові мітки на зображення.

Комплексне завдання дослідження полягає не лише в механічному перетворенні аудіовізуального контенту на текстовий, а й у логічному структуруванні отриманого результату відповідно до норм і вимог сучасної подачі медіаматеріалів.

Це включає обробку мовлення, поділ на смислові блоки, створення абзаців і заголовків, ідентифікацію мовців, вставлення релевантних зображень у відповідні місця, а також оформлення матеріалу у форматі, придатному для цифрового поширення.

У межах дослідження об'єктом розгляду є процеси автоматизації конверсії медіаресурсів з одного виду контенту в інший. Зокрема, розглядається перетворення відео у текст із подальшим формуванням структурованого матеріалу з графічним супроводом.

Предметом дослідження є методи, алгоритми, моделі та інформаційні технології, що забезпечують реалізацію такого перетворення.

Особливу увагу приділено інструментам автоматичного розпізнавання мовлення та сучасним моделям генеративного штучного інтелекту, які забезпечують обробку тексту, підвищують якість конверсії та сприяють його структуризації для кращого сприйняття. Додатково розглянуто методи інтеграції зображень у фінальний текст, що відповідають контексту висловлювання в конкретні моменти часу та дозволяють зберегти сутність оригінального відеоматеріалу, компенсуючи ті аспекти, які неможливо повноцінно передати лише текстовими засобами.

Важливим завданням цього дослідження є не лише реалізація окремих етапів і процедур, а й вибір таких інструментів, які забезпечують можливість їх подальшої автоматизації. Проведено практичне тестування окремих компонентів системи, що у перспективі можуть бути повністю автоматизовані, мінімізуючи потребу у втручанні людини в процес перетворення відео в структурований текстовий матеріал.

Важливою особливістю шляхом її застосування до відео, які містять складні елементи: змінну кількість мовців, фонові візуальні ряди, використання термінології з окремих галузей знань, а також закадровий супровід. Такий вибір дозволяє оцінити гнучкість, універсальність та якість роботи запропонованого підходу в умовах, максимально наближених до реальних сценаріїв інформаційного середовища.

Протягом дослідження експериментально реалізується повний цикл конверсії. З відеофайлу витягується звукова доріжка, далі вона трансформується в текст за допомогою систем автоматичного розпізнавання мови, після чого текст обробляється з метою очищення, редагування та логічного структурування. На фінальному етапі здійснюється перетворення тексту в структурований формат матеріалу, який доповнений релевантними зображеннями.

Особливий інтерес становить перевірка здатності системи формувати змістовно обґрунтовану структуру матеріалу. А саме виділення ключових смислових моментів, формулювання заголовків, визначення тем матеріалу, а також генерацію скріншотів, що ілюструють змістовні етапи мовлення, відповідно до кожної частини тексту. Значення мають не лише технічні показники швидкодії та точності, але й відповідність естетичним і комунікативним нормам сучасного контенту, придатного для поширення в цифрових медіа.

Експериментальне підтвердження життєздатності такого підходу може відкрити нові перспективи в автоматизації медіапроцесів, зокрема у створенні адаптивних контентних рішень для ЗМІ, соціальних платформ, цифрової освіти або професійних баз знань.

Отже, дослідження має на меті не лише практичну реалізацію процесу трансформації відео у текстовий формат, а й формування підходу, що міг би бути покладений в основу нових інтелектуальних медіаплатформ. Ці платформи можуть надавати користувачу можливість отримувати адаптований, багатоформатний контент без втрати змісту, структури та візуальної репрезентації оригіналу.

Прикладом одного з найбільш відомих сервісів структурування тексту з відеозапису можна виділити відеохостинг Youtube. Він дозволяє автоматично створити субтитри до відео, що дозволяє зрозуміти матеріали навіть якщо вони були створені на іншій мові.

Автоматично згенеровані субтитри є лише переліком слів, які вдалося розпізнати та розбити на короткі фрагменти по кілька секунд для відображення користувачу.

Якість розпізнавання не враховує тематику чи контекст відео, а базується переважно на визначенні слів з найвищою імовірністю. Також відсутня пунктуація, що перетворює субтитри на звичайний набір слів, який може довільно розривати речення, ускладнюючи правильне розуміння й сприйняття матеріалу.

Основна частина

У сучасному інформаційному просторі відеоконтент відіграє дедалі важливішу роль як джерело даних, що може бути ефективно трансформоване у текстовий формат для подальшого використання в наукових, освітніх або публіцистичних цілях. Процес конверсії відео у структуровану статтю потребує чітко визначеного алгоритму дій, починаючи від вибору відповідного матеріалу до обробки аудіо- та текстових даних.

У цьому дослідженні розглянуто методи, інструменти та підходи, що забезпечують трансформацію відео в повноцінну публікацію наукового або інформаційно-освітнього характеру. Для повноцінного тестування запропонованої методики необхідно обрати комплексний відеоматеріал, який дозволить всебічно перевірити кожен етап перетворення та виявити як його сильні сторони, так і потенційні недоліки.

На першому етапі реалізації було визначено ключові критерії, яким має відповідати відео для подальшої адаптації у формат структурованого тексту. По-перше, матеріал повинен мати чітку тематичну спрямованість, що дозволить логічно структурувати текст за змістовими розділами.

По-друге, стиль оповіді у відео має бути наративним або науковим, що сприятиме збереженню відповідної стилістики у текстовій версії. Такий підхід дозволяє отримати змістовний і водночас інформативний матеріал, придатний для формування структурованої тематичної доповіді.

Для реалізації експерименту було обрано відео, розміщене на офіційному YouTube-каналі Харківського Національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ). Зокрема, вибрано відеоматеріал, присвячений історії Кафедри медіасистем та технологій (МСТ), тривалістю понад 10 хвилин, що містить значний обсяг аудіоінформації.

Важливо зазначити, що відео було записане приблизно п'ять років тому переважно російською мовою. Це створює певні труднощі під час адаптації, проте водночас відкриває додаткові можливості для перекладу та трансформації контенту з урахуванням мовних потреб цільової аудиторії.

Оскільки YouTube як основна платформа розміщення відео не передбачає можливості безпосереднього завантаження відеофайлів для офлайн-обробки, контент транслюється у форматі потокового мовлення. Це значно ускладнює процес прямої конвертації відео у формат, придатний для подальшої транскрипції та аналізу.

З огляду на це, виникає потреба у використанні сторонніх рішень, як онлайн-сервіси та програмних бібліотек, які дозволяють завантажувати відеофайли з відкритих джерел. Одним із таких рішень є сервіс *savefrom.net*, що забезпечує зручне завантаження відео у форматі, придатному для обробки, з базовим збереженням якості зображення та звуку.

У межах поточного дослідження відеофайл було завантажено у форматі .mp4 з роздільною здатністю 360p, що забезпечило компроміс між розміром

файлу (65,3 МБ) та якістю аудіо. Оскільки основною метою є подальше вилучення та обробка аудіодоріжки, висока якість відеозображення не є критичною. Зменшення роздільної здатності сприяє пришвидшенню завантаження та спрощує подальшу обробку.

Однією з ключових цілей дослідження є забезпечення можливості подальшої автоматизації процесу конверсії, що дозволить мінімізувати або повністю усунути необхідність ручного втручання користувача на кожному етапі.

Серед доступних програмних засобів одним з найпоширеніших та найефективніших рішень є кросплатформна бібліотека FFmpeg, яка вважається індустріальним стандартом для обробки медіафайлів. Цей інструмент підтримує широкий спектр форматів і забезпечує високу гнучкість у налаштуванні процесів конвертації, кодування, декодування та фільтрації.

Вилучення аудіозапису з відеофайлу здійснювалося за допомогою простого консольного запиту, у результаті чого було отримано окремий аудіофайл у форматі .mp3 розміром 14 МБ.

Обраний формат є зручним для подальшої транскрипції, оскільки поєднує високу якість звуку з помірним обсягом файлу. За потреби можливе перетворення у формати з вищою якістю, наприклад .wav, проте в цьому дослідженні вирішено не застосовувати додаткове стиснення, щоб уникнути втрати якості, яка може вплинути на точність подальшого розпізнавання мовлення.

Окрім роботи з аудіо, FFmpeg також дозволяє здійснювати вилучення окремих кадрів із відео, що може бути корисним для створення ілюстративного матеріалу. Скріншоти з оригінального відео мають потенціал значно підвищити інформативність підготовленого контенту, доповнивши текст візуальними елементами, які полегшують його сприйняття. Такий підхід сприяє кращому передаванню атмосфери, хронології та ключових моментів подій, що висвітлюються у відео.

Після отримання якісного аудіофайлу відкривається можливість переходу до етапу транскрипції, тобто автоматизованого або напівавтоматичного перетворення мовлення у текст. Для цього можуть бути використані спеціалізовані сервіси, що підтримують обробку української та російської мов і забезпечують можливість подальшого перекладу.

Отриманий у результаті транскрипції текст стане основою для формування повноцінного медіаматеріалу, який відповідатиме вимогам публіцистичного стилю й буде доповнений тематичними зображеннями та структурованими підрозділами.

Оригінальний текст із вибраного відео містить приблизно 1600 слів і 12800 символів.

Вибір та аналіз сучасних сервісів транскрипції тексту з відео

Для роботи з сервісами транскрипції були обрані провайдери популярних AI-технологій, як OpenAI та Google Cloud. Додатково було протестовано сервіс AssemblyAI, який хоча й має вищу вартість, проте надає розширений функціонал, зокрема можливість визначення окремих мовців під час транскрипції, а також оцінку ймовірності кожного розпізнаного слова.

Тестування кількох сервісів є важливим, адже кожен із них має свої особливості, налаштування та рівень підтримки різних мов. Більшість таких платформ орієнтовані насамперед на англomовний контент, що може створювати труднощі під час обробки матеріалів українською мовою.

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та, зокрема, штучного інтелекту, критично важливо залишатися гнучким і готовим до переходу на нові, більш ефективні моделі й сервіси. Залежність від одного провайдера створює ризик втрати якості або актуальності у зв'язку з технологічним прогресом конкурентів.

Можливість надсилання запитів до кількох постачальників AI-моделей забезпечує гнучкий вибір найбільш сучасного й точного рішення на кожен конкретний момент часу. Оцінка ефективності кожної моделі потребує попереднього тестування та порівняння з вже відомими результатами. Для автоматизації такого тестування можна використати кілька відео із заздалегідь відомими текстами, які дозволять порівняти оригінал з транскрибованим результатом. Порівняння результатів дає змогу визначити відхилення за кількістю символів або слів, що дозволить обчислити коефіцієнт помилки. Цей показник, у свою чергу, стане базою для подальшого порівняння якості транскрипції між різними моделями.

Моделі OpenAI. Процес роботи з OpenAI API є дуже простим та досить зручним, оскільки вимагає лише надання особистого ключа до API, який можна згенерувати у панелі керування. Текст, який був отриманий в результаті виконання транскрипції, має пунктуацію та орфографічні виправлення.

У результаті транскрипції за допомогою моделей OpenAI були допущені певні помилки та є декілька пропусків тексту, але загалом можна відзначити чудову якість визначення ПБ, дат та назв, які були згадані у тексті. Пропущений текст не мав значну важливість, а помилки у словах можна виправити у подальшому за допомогою моделей ChatGPT від OpenAI.

При аналізі тексту з оригіналу відео та результату транскрипції було виявлено 9 помилки при визначенні слів та 11 помилок у пропусках слів або помірних помилок у синтаксисі слів, що має дуже маленький відсоток помилок – 0.56% та 0.08%, відповідно до кількості слів та символів.

Додатково у моделях транскрипції від OpenAI існують параметри передачі додаткового контексту до перекладу, які дозволяють значно покращити якість визначення слів та їх відносність до якоїсь конкретної сфери діяльності або об'єктів. Підказки можуть допомогти виправити певні слова або акроніми, які модель неправильно розпізнає в аудіо [4].

При автоматизації процесу конверсії відео у текстові матеріали може бути відсутня можливість надання достатнього контексту матеріалу до запиту на транскрипцію через відсутність спеціально підготовлених даних для цього. Головним джерелом корисних даних про відео може бути його назва та опис з таких сервісів, як Youtube, але дуже часто опис спотворений рекламою та різними деталями, які не відносяться до відео, а назва відео може бути створена лише з метою збільшити кількість переходів на нього без відображення сутності матеріалу.

Оскільки наявність такого контексту може допомогти правильно розпізнати певні слова та терміни, видобуток таких даних може значно підвищити якість транскрипції. Одним із варіантів є підхід до автоматизованої конверсії відео та аудіо матеріалів у текст, де той самий матеріал передається повторно до обробки, але вже з текстовим описом про те, до чого належить матеріал, в чому його сутність та які особливості можуть бути значущими для його визначення [5].

Отримання таких даних можливо з першого варіанту транскрипції аудіозапису, який додатково обробляється спеціальним запитом до чат моделей генеративного штучного інтелекту, які надають опис матеріалу та визначають його ключові особливості, які після цього відправляються на повторну обробку аудіозапису.

Особливості назв, аббревіатур, імен та назв об'єктів також можливо отримати за допомогою додаткової обробки веб-сайтів, які можуть відноситися до відео, над яким ведеться обробка. Наприклад, відео у поточному дослідженні відноситься до кафедри МСТ ХНУРЕ, що дозволяє автоматично обробити декілька перших запитів з пошуку у Google та аналогічних пошуковиках для того, щоб відкрити найбільш релевантні сторінки, додатково обробити їх для визначення ключових даних для покращення якості транскрипції і відправити на новий етап обробки з вже знайденими даними.

Сучасні моделі від OpenAI дозволяють відправити простий текстовий запит, який дозволить системі самостійно зробити пошук в інтернеті та виділити ключові слова та особливості, які відносяться до конкретно розглядаємої теми, або предмету.

Сервіс Google Cloud speech-to-text. Робота з Google Cloud speech-to-text є більш складною з точки зору взаємодії з API. Якщо для OpenAI достатньо лише надати ключ до API, то в Google Cloud ця опція доступна лише для файлів, довжина запису яких не більше однієї хвилини. Якщо ж довжина більша, то необхідно створити внутрішнє сховище та попередньо завантажити туди файл. Тільки після попереднього завантаження з'являється можливість надати на нього внутрішнє посилання та відправити запит на транскрипцію. Також замість ключа до API потрібно створювати спеціальний акаунт з доступами до зміни сховища, у яке ми завантажуюмо файл та необхідно згенерувати ключі доступів, які можна зберегти у файл ("key.txt" у нашому випадку) та постійно надавати до авторизації.

Після завантаження файлу аудіозапису у Cloud Storage, який ми отримали із відео, ми отримуємо можливість відправлення завантаженого файлу до сервісу speech-to-text для транскрипції. Важливо зазначити, що сервіс надає можливість розпізнавання різних голосів у запису, але ця можливість працює лишень як бета-версія. Спробуємо задати додатково кількість голосів більше двох, щоб сервіс спробував визначити унікальні голоси на записі.

У отриманому результаті не було визначено унікальні голоси. Найбільш вірогідно, що дана функція працює тільки для англійської мови. Головним недоліком можна відзначити відсутність будь-якої пунктуації та перевірки орфографії. Також контекст зовсім не перевіряється і частини тексту можуть виглядати дуже непов'язаними одна з одною.

Схоже, що даний сервіс виконує транскрипцію тим самим чином, як і транскрипція, яка автоматично виконується у відео на відеохостингу Youtube.

У даному випадку можна відзначити набагато більшу кількість помилок, неправильні визначення дат, технічних назв та ПІБ. Також існує набагато більша кількість пропущень тексту, ніж у попередньому випадку.

При аналізі тексту з оригіналу відео та результату транскрипції було виявлено 31 помилки при визначенні слів та 40 помилок у пропусках слів або помірних помилок у синтаксисі слів, що має набагато більший відсоток помилок, ніж попередній результат – 2.6% та 0.31%, відповідно до кількості слів та символів.

Сервіс Assemblyai. Даний сервіс окрім зручного використання (у порівнянні з Google Cloud) також пропонує можливість визначення голосів різних людей у запису, додавши до запиту параметр “speaker_labels: true”. Також необхідно вказати мову оригіналу для якісної обробки.

Сервіс зміг визначити різні голоси на запису, але лише частково. Один з голосів був визначений неправильно, бо та сама людина продовжувала говорити, а також ще один голос було визначено правильно, хоча людина на відео змінилася. Крім цього, інші голоси визначені правильно та це можна використовувати для формування структури статті. У подальшому така можливість буде невід'ємно важливою для транскрипції відео з інтерв'ю, бо саме у таких відео критично важливо розділити запитання та відповіді. У поточному варіанті це допоможе краще структурувати текст, але досконало визначити усіх унікальних розповідачів не вийшло.

У даному випадку можна відзначити високу якість визначення тексту та мінімальні помилки. Майже усі імена, назви та технічні терміни були визначені правильно. Існують одиничні помилки, які дійсно можна почути на записі, що може свідчити про погану якість запису, або погане вимовляння розповідача.

Окрім високої якості визначення тексту також були визначені унікальні розповідачі. Хоча визначення і мало певні неточності (один пропущений та один визначений неправильно), це може допомогти в написанні статті.

При аналізі тексту з оригіналу відео та результату транскрипції було виявлено 7 помилки при визначенні слів та 10 помилок у пропусках слів або

помірних помилок у синтаксисі слів, що має набагато більший відсоток помилок, ніж попередній результат – 0.58% та 0.08%, відповідно до кількості слів та символів.

Серед оглядаємих сервісів саме Google Cloud text-to-speech мав найгіршу якість як з точки зору цільності, пунктуації, синтаксисі та правильному визначенні імен, назв та дат. Формування текстового матеріалу з такої транскрипції мало би дуже погану якість та помилки, що могло би призводити до вводи в оману читачів та мати погані наслідки, якщо на сформованому тексті хтось буде робити певні висновки, або вести свою наукову роботу.

Обидва сервіси від OpenAI та AssemblyAI дуже якісно виконали транскрипцію тексту з мінімальними помилками. Якість визначення навіть викликає певний подив з точки зору точності ПШБ, які були згадані у відео-записі. Навіть самостійне прослуховування у тих, хто не знайомий зі згаданими особистостями, може викликати запитання до озвучених прізвищ, хоча згадані сервіси чудово справилися з цим завданням.

На відміну від OpenAI, сервіс AssemblyAI додатково визначив унікальних розповідачів, що додає певних додаткових переваг для структурування статті, тому для подальшої роботи ми зупинимося на даному варіанті.

Обробка та структуризація тексту

Для отримання якісного текстового матеріалу та збереження графічної складової відео потрібно зберегти важливі часові мітки в тексті, щоб потім замінити їх на зображення, які точно відповідатимуть конкретному моменту у відео. Це допоможе передати візуальну частину й доповнити сприйняття тексту відповідно до початкового матеріалу.

Оскільки кожен із сервісів надає часові мітки для кожної визначеної частини тексту з аудіозапису, ми можемо обрати частоту вставки зображень відповідно до часу або кількості символів.

Також є можливість вставляти зображення лише під час зміни теми або зміни розповідача. Типові чат-моделі генеративного штучного інтелекту дають змогу визначити такі місця відповідно до запиту користувача.

Кількість міток повинна відповідати бажаній кількості зображень, яке планується використовувати у кінцевому медіаматеріалі, виходячи із довжини тексту та розміру зображень.

Потенційно можливо залишити часові мітки для кожного визначеного речення та подальшого визначення того, які з них будуть залишені у кінці процесу обробки, але надмірна кількість зайвих символів та числових міток може негативно вплинути на інші етапи обробки тексту. На рис. 1 відображено приклад тексту з часовими мітками.

Перед передачею тексту для його зміни ці часові мітки важливо визначити у тексті, відокремивши їх спеціальними символами (як-от квадратні дужки). Також необхідно повідомити в інструкції до ШІ про те, щоб він не видаляв, не змінював їх та не звертав на них уваги при зміні тексту. На жаль, навіть при

наданні чіткої та всеосяжної інструкції ІІІ все одно може змінювати текст та ігнорувати певні частини запитів до себе, що викликає потребу додатково аналізувати результат його роботи перед тим, як виконувати над ним подальші кроки. У випадку з визначенням часових міток можна досить легко перевірити, скільки саме їх було перед опрацюванням та після цього.

[10:33]

Паперова книга на сьогоднішній день зазнає досить серйозної конкуренції з боку інших джерел. Читачі віддають перевагу дайджестам багатосторінкових електронних видань, відеоконтенту, а також мультимедіа-контенту. Саме такі мультимедіа-електронні видання створюють наші студенти на кафедрі медіа-системи та технологій, які сьогодні дуже затребувані на ринку праці. І в повному обсязі на сучасних платформах вони представлені курсами нашої кафедри.

[11:01]

Новою для нашої кафедри спеціальністю є спеціальність технологій електронних мультимедійних видань, яка зараз дуже популярна, дуже популярна серед наших студентів. та основними напрямками цієї спеціальності є створення мультимедійних видань, розробка веб-сайтів та створення мобільних додатків. Щодо продуктів, які зможуть наші випускники створювати після закінчення цієї спеціальності, це веб-сайти, насамперед статичні, динамічні, **[11:31]**це мобільні програми. Ну і, звісно, мультимедійні видання, це вміння створювати аудіо, відео, 3D, анімацію. все для того, щоб створювати повноцінні мультимедійні видання. Один із напрямків роботи нашої кафедри – підготовка фахівців, дизайнерів інтерфейсу електронних та мобільних додатків. Ця область дуже сильно зараз розвивається, як через створення нових технологій, застосування нових технологій доповненої віртуальної реальності, голосовий інтерфейс, через більш поглиблене опрацювання окремих деталей, створення прототипів, алгоритмів автоматизованого створення інтерфейсів, так і через розширення сфери діяльності дизайнера на рівень стратегії продукту та бізнесу в цілому.

[12:16]

Основна робота колективу «Кафедру з нового набору» проводиться протягом усього навчального року. Тут різноманітні заходи університету, дні відкритих дверей, що відбуваються протягом усього року, участь у виставках, конференціях, олімпіадах, пікніках, науках та багатьох інших заходах, в яких можна розкритися та показати таланти наших студентів. У навчальному плані підготовки бакалаврів маємо дуже багато творчих спеціальностей. Основи графічного дизайну, художні основи проектування видань **[12:47]** обробка відео, обробка аудіоінформації та багато інших дисциплін, які саме пов'язані з творчістю. Не випадково ми часто говоримо, що спеціальність видавництва та поліграфія поєднують творчі можливості з гідністю точних наук. Наша кафедра є провідною у ВНЗ. за кількістю перемог на олімпіадах та студентських конкурсах, саме з поліграфії, це видавництво та поліграфія у Києві, молотиполіграфія у Львові, студентські олімпіади з поліграфії, дизайну, упаковки. Більшість наших студентів самі зацікавлені участю у всіх цих конкурсах. Завданням викладача в основному є просто направити їх, допомогти розвинути свій талант, любов до цієї справи і добре виступити на заходах, що проводяться.

[13:36]

Наші випускники завжди знайдуть собі роботу. Це підтверджує специфіку працевлаштування наших випускників. Зараз вони розкидані не лише територією всієї України, у нас є хлопці, які влаштувалися в Мексиці, Австралії, Німеччині, Англії, Польщі. Вони працюють за фахом, роботодавці задоволені їхніми професійними навичками і ми сподіваємось на те, що міжнародне **[14:07]**трудове співробітництво у нас тільки розширюватиметься і надалі. Хочеться побажати нашій кафедрі добрих та талановитих студентів, успіхами та досягненнями яких ми могли б пишатися. А вони, наші майбутні випускники могли гордо сказати «Я випускник ФНОРЕ» у спеціальності видавництва ТАП поліграфія. Насамкінець, аналізуючи в історичному аспекті шлях нашої кафедри на освітній ниві, хотілося б сказати таке. Може не завжди ми, і наші попередники, на сміливість сказати їхнє ім'я, перебували на висоті тих вимог, які до нас прийшли. пред'являв час у плані підготовки кадрів, наукових розробок, навчальної роботи, але динаміка розвитку кафедри у

Рисунок 1 – Текст з виділеними часовими мітками

Якщо кількість сильно змінилася або часові мітки всередині було видозмінено, можна відправити новий запит з тими самими параметрами (бо ІІІ може надавати різні результати на той самий запит залежно від моделі), або відправити наступне повідомлення разом із попередніми та надіслати інструкцію до виправлення помилок.

Для створення зображень відповідно до збережених важливих часових міток можна також скористатися бібліотекою FFmpeg, яка відповідно до наданих запитів створить зображення необхідного формату. На рис. 2 відображено список збережених кадрів з обраного відео.



Рисунок 2 – Кадри з обраного відео, відповідно до часових міток

Оскільки обраний відеозапис був записаний близько 5 років тому, на ньому розмовники використовують переважно російську мову. Для покращення якості матеріалу та актуалізації до поточної мови наукового, освітнього та суспільного соціуму ми перекладемо статтю українською мовою. Переклад текстового матеріалу додасть додатковий шар обробки, що може призвести до зайвих труднощів, але це дозволить підтвердити можливість конвертації матеріалів різними мовами, що повинно підвищити охоплення та сприйняття створених матеріалів.

При використанні моделі GPT-4o текст було якісно перекладено зі збереженням часових міток, які не вплинули на точність перекладу. При запиті до моделей генеративного штучного інтелекту важливо вказати подробиці про формат тексту, наявність часових міток та потребу в збереженні початкової сутності без зміни тексту.

Оскільки при автоматизації конверсії відеоматеріалів та подальшій обробці тексту може виконуватися велика кількість операцій перетворення, це може спричинити виникнення додаткових помилок.

Транскрипція, переклад, створення часових міток та подальша зміна тексту потребують додаткової перевірки результату. Для цього можна відправити початковий та кінцевий текст на перевірку до тих самих моделей ChatGPT із запитом перевірки, порівняння та виявлення помилок і виправлень.

Порівняння початкового та кінцевого станів тексту може дозволити визначити та виправити помилки або небажані зміни, які відбулися з текстом. Цей крок можливо виконувати при кожному перетворенні тексту, відправляючи додатковий запит до моделей ШІ для порівняння текстів та негайного виправлення помилок.

Такий підхід може значно підвищити якість конверсії текстових матеріалів, але водночас відбувається підвищення використання відповідних сервісів, що варто враховувати при розрахунку вартості конверсії.

Після отримання відредагованого, переведеного та виправленого тексту, необхідно приступити до формування статті. Частіше за все, статті формуються по підрозділах із зображеннями.

Для переформатування тексту у формат статті з заголовками потрібно визначити основні теми та частини, які були виділені у ньому. Для адаптації і зручності подальшого використання текст зі структуруванням необхідно оформити у форматі HTML, що дозволить повністю автоматизувати використання на веб-ресурсах.

HTML-формат також дозволить створювати спеціальні графічні матеріали шляхом створення скріншотів та переформатування у спеціальні формати для публікації у соцмережах, які не дозволяють розміщувати довгі та структуровані текстові матеріали, що дозволить підвищити охоплення.

Для структуризації тексту та перетворення у формат HTML необхідно відправити запит до моделей генеративного штучного інтелекту з інструкціями у такому форматі.

1. Рівномірно розділи текст на 3-5 частин, а потім надай назву кожній частині.
2. Збережи кожне речення з початкового тексту, нічого не видаляй!
3. Не видаляй значення у дужках "[...]", збережи їх, вони дуже потрібні для подальшої вставки зображення.
4. Надай результат у форматі html.

У результаті було отримано добре структурований матеріал з заголовками та рівномірно розподіленим текстом.

Останнім етапом потрібно замінити часові мітки на зображення відповідно до створених скріншотів з відео. Додатково, оскільки при форматуванні тексту часові мітки у деяких випадках перемістилися у середину тексту, необхідно перенести їх на початок речення – це допоможе правильно сприймати матеріал при його перегляді.

Результати дослідження

У результаті проведеного дослідження була створена “методика автоматизації конверсії відеоматеріалів у структурований текст із релевантними зображеннями”. Ця методика включає дев’ять послідовних етапів, кожен з яких спрямований на покращення якості кінцевого результату.

1. На початку відбувається завантаження та попередня обробка обраного відеофайлу. Із нього відокремлюється аудіодоріжка, а також зберігаються кадри відео у форматі зображень. Ці зображення можуть бути вибрані за фіксованими інтервалами або за ключовими моментами вмісту вже після транскрипції та аналізу тексту.

2. Виконується транскрипція відео за допомогою обраного сервісу розпізнавання мовлення. Сервіс підбирається з урахуванням таких вимог, як підтримка обраної мови, наявність спеціальних функцій та параметрів, які можуть покращити точність розпізнавання або надавати такі можливості, як визначення унікальних голосів та розподіл тексту відповідно до них.

3. Після отримання первинного тексту здійснюється визначення контексту вихідного відеоматеріалу. Аналізуються тематика, характерна термінологія та можливі особливості мовлення, що дозволяє краще підготувати транскрипт до подальшої обробки, враховуючи ймовірні неточності чи помилки.

4. Для покращення точності визначення слів у тексті виконується повторне відправлення аудіозапису на транскрипцію, але вже з урахуванням раніше визначених особливостей. Додатковий контекст передається у вигляді інструкції до сервісу, що дозволяє точніше розпізнати рідковживані або специфічні слова, включаючи власні назви, технічні терміни тощо.

5. Після повторної транскрипції виконується виправлення орфографічних та пунктуаційних помилок у тексті. Це підвищує загальну якість тексту та забезпечує його відповідність мовним нормам.

6. На проміжному етапі проводиться додаткова обробка тексту залежно від потреб. Це може бути переклад іншою мовою або зміна стилістики (наприклад, адаптація під науковий, офіційний чи публіцистичний стиль). Для цього використовуються сервіси генеративного штучного інтелекту або спеціалізовані інструменти перекладу та редагування.

7. Визначаються основні частини та теми тексту з метою створення заголовків і підзаголовків. Це допомагає структурувати текст для кращого сприйняття та подальшої адаптації під різні платформи, включаючи блоги, соцмережі чи освітні сайти.

8. Після структуризації текст перетворюється у HTML-формат. У ньому застосовуються відповідні теги для оформлення заголовків, списків, гіперпосилань та інших елементів, що дозволяє легко інтегрувати підготовлений матеріал на інтернет-ресурсах.

9. Завершальний етап полягає в інтеграції зображень у текст. У відповідних місцях тексту, де були часові мітки або описані ключові моменти,

вставляються зображення, отримані раніше з відео. Це забезпечує візуальну підтримку інформації та покращує сприйняття матеріалу кінцевим користувачем.

Розроблена методика була протестована на складному відеоматеріалі, що містив велику кількість визначень, імен, назв, а також декілька різних розповідачів із різними манерами мовлення.

Такий формат відео дозволив перевірити, наскільки ефективно система справляється із транскрипцією, обробкою мовного контенту, розпізнаванням рідковживаних термінів та адаптацією тексту під структурований формат.

У результаті тестування було отримано повноцінний структурований медіаматеріал у форматі HTML, що включає кілька ключових складових. Зокрема, структура готового документа охоплює:

- заголовки, що відповідають окремим темам або логічним частинам відео, завдяки чому матеріал легко сприймається, а навігація стає зручною як для читача, так і для технічної інтеграції в системи пошуку;

- перекладений текст, у якому було попередньо виправлено пунктуаційні та орфографічні помилки. Текст рівномірно розподілений між заголовками та зображеннями, що забезпечує логічну послідовність і полегшує читання;

- зображення, які були автоматично отримані шляхом фіксації ключових кадрів із відео. Кожне зображення прив'язане до відповідного фрагмента тексту відповідно до моменту часу, коли розповідається певна частина змісту. Це дозволяє візуально підсилити сприйняття інформації;

- додаткове форматування в HTML, яке включає такі елементи, як марковані та нумеровані списки, гіперпосилання, стилістичні теги для виділення тексту та інші засоби оформлення, що забезпечують сучасний вигляд і технічну сумісність з більшістю онлайн-платформ.

Результати тестування підтвердили практичну придатність методики для обробки складного відеоконтенту та створення на його основі якісного, структурованого й мультимедійно підтриманого текстового матеріалу.

У результаті виконання дослідження було вирішено низку задач, спрямованих на розробку, перевірку та вдосконалення методики автоматизованої конверсії відеоматеріалів у структурований текстовий формат з використанням сучасних цифрових інструментів.

1. Визначено та протестовано інструменти, необхідні для отримання і попередньої обробки відеофайлів. Це включає програмні засоби для відокремлення аудіодоріжки та збереження окремих кадрів у форматі зображень.

2. Обрано кілька популярних сервісів транскрипції аудіо та проведено їхнє порівняння на основі комплексного тестового відео, яке містить рідковживані слова, власні імена, географічні та комерційні назви, а також терміни з вузькопрофільних сфер. Це дозволило оцінити ефективність кожного інструменту в умовах підвищеної складності.

3. Детально проаналізовано переваги, недоліки та специфічні особливості роботи розглянутих транскрипційних сервісів, включаючи їхню точність, швидкість та обсяг підтримуваних мов, гнучкість налаштувань.

4. Запропоновано методику автоматизованого тестування нових моделей транскрипції, що дозволяє швидко й об'єктивно оцінювати їхню ефективність у порівнянні з попередніми рішеннями. Зокрема, було розроблено підхід до розрахунку коефіцієнтів помилок у поєднанні з вартісною ефективністю, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо доцільності переходу на нову модель.

5. Проведено повний цикл транскрипції аудіодоріжки відео. Отриманий текст було відредаговано для усунення граматичних, орфографічних та пунктуаційних помилок, після чого виконано переклад, що дозволило забезпечити мультимовну доступність контенту.

6. Сформульовано універсальний запит до моделей штучного інтелекту для автоматичної структуризації тексту. В результаті текст було поділено на тематичні блоки з відповідними заголовками, що значно покращило зручність сприйняття та подальшу адаптацію до різних форматів.

7. Здійснено перетворення структурованого тексту у формат HTML із використанням відповідних тегів для заголовків, списків, посилань та інших елементів веб-оформлення.

8. На основі оброблених даних сформовано фінальний варіант текстового матеріалу. До нього були додані релевантні зображення, синхронізовані з відповідними фрагментами тексту, що забезпечило візуальну підтримку та посилення змістовної складової.

9. Проведено аналіз розробленої методики з точки зору її ефективності та точності. Виявлено переваги та недоліки обраного підходу, а також запропоновано шляхи його подальшого вдосконалення та розширення функціональності відповідно до потреб різних категорій користувачів.

В результаті було отримано готовий матеріал у форматі HTML, придатний для негайного розміщення на вебсайтах та інших інтернет-платформах. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес публікації без потреби у додатковому редагуванні. За необхідності, стиль і розмітку матеріалу можна легко змінити шляхом коригування CSS-стилів або HTML-тегів. На рис. 3 представлено приклад кінцевого медіаматеріалу, згенерованого на основі обраного відеозапису.

Серед можливих напрямів подальшого вдосконалення розробленої методики можна виокремити кілька перспективних рішень, що сприяють розширенню її функціональності та адаптації до сучасних форматів цифрового контенту. Це особливо актуально для платформ, на яких не рекомендується або неможливо розміщувати великі обсяги текстової інформації чи повноцінні відео.

HTML-формат, у якому формується кінцевий структурований матеріал, відкриває широкі можливості для автоматизованої адаптації цього контенту у графічний та інші візуальні формати. Завдяки наявності чітко окреслених заголовків, тематичних блоків і зображень, з'являється змога автоматично генерувати інфографіку, графічні картки та компактні візуальні публікації.

Нові напрямки та досягнення

У 1997 році абсолютно новий етап у нашій роботі. Після консультації з викладачами, з ректором Української академії друку, видавничо-поліграфічного інституту КПІ, тоді він ще був факультетом. За їх підтримки відкриваємо нову спеціальність. Кафедра стає випусковою технологій автоматизованої обробки інформації. Таким чином відновлюємо підготовку фахівців у місті Харкові для видавничо-поліграфічної галузі. У постанові Кабінету Міністрів України на початку 2000-х років затверджено новий напрямок підготовки фахівців — видавничо-поліграфічна справа. Кафедра поступово ліцензує спеціальності, які входили до складу цього напрямку.



2002 рік — спеціальність комп'ютерні технології систем видавничо-поліграфічних виробництв. 2005 рік — технології друкованих видань спеціальність і 2011 рік — сучасна спеціальність технології електронних мультимедійних видань.

Напружено працюють у цей час викладачі кафедри над розробкою нового методичного забезпечення. Допомагає нам у цьому і

спираємося на досвід Київського політехнічного інституту, видавничо-поліграфічного факультету та Української академії друку Львів. На сьогодні видано вже спільно з ними в тому числі 15 навчальних посібників, кілька монографій. У цей час розвиваються нові наукові напрямки на кафедрі. Деякі з них — проблеми обробки цифрових зображень та кольоровідтворення в поліграфії, комп'ютерна графіка очолює напрямком професор Кулішова Н.Е. та інформаційних систем і технологій Г.Н.І.



Технології розробки електронних мультимедійних видань Єгорової Ірини Миколаївни, системи автоматизації управління поліграфічним виробництвом — професор Левикін Ігор Вікторович.

Успішні проекти та міжнародна співпраця

У 2002 році наказом ректора заснована науково-дослідна лабораторія геоінформаційної системи і комп'ютерна графіка, яка виконала цілий ряд проектів. До успішних проектів, виконаних у лабораторії, я б відніс наступний. 2004 рік — Харкову 350 років. Харківський госпкомітет замовляє нам комплексний проект, який ми реалізували спільно з міським інформаційним центром, картографічним інститутом «Схід Геоінформ» та регіональним центром «Сприяння в бізнесі». У складі проекту була реалізована електронна векторна карта міста Харкова масштабу 1:10 тисяч, поліграфічний атлас міста Харкова. На базі електронної карти була реалізована геоінформаційна довідкова система про об'єкти міста Харкова, випущена на CD-диску.



І крім того, ще один CD-диск, випущена була інформаційна система підприємств міста Харкова, яка з такою претензійною назвою вийшла «У Харкові все є». Ми за цю роботу отримали подяку від міського виконавчого комітету міста Харкова та його голови.

Окрім цього, був реалізований ще цілий ряд ГІС-проектів. У цей час, крім ХОС-договірних, виконувалися також держбюджетні теми.

Наприклад, технології автоматизованої обробки зображень і кольоровідтворення у відкритих поліграфічних системах. Відповідальний виконавець — професор Кулішова Нонна Євгенівна. За результатами цієї роботи була видана монографія. Зараз кафедра продовжує виконувати замовлені госпдоговірні роботи. Серед них — це система відеоконтролю якості зображень і також на замовлення книжкової фабрики Юнісск виконуємо роботу з розробки системи управління якістю продукції.

Рисунок 3 — приклад формату результату створення структурованого текстового матеріалу з доповненням графічних матеріалів

Розміщення ключових зображень, тематичних заголовків і коротких анотацій разом із гіперпосиланнями на повний матеріал дозволяє не лише розширити охоплення аудиторії, а й перенаправляти користувачів на платформи, більш зручні для споживання повного змісту.

З урахуванням тенденцій розвитку сучасних месенджерів та соціальних мереж, зростає популярність коротких, лаконічних публікацій, які складаються лише з кількох ключових тез та супроводжуються зображеннями. Такий формат дозволяє користувачеві швидко ознайомитися з основною ідеєю чи новиною без необхідності прочитання повного тексту. За бажанням, користувач може перейти за посиланням до повної версії матеріалу, що зберігає баланс між стислою подачею та глибиною змісту.

Форматування інформаційних карток у форматі HTML із подальшим зберіганням у вигляді графічних зображень дає можливість публікувати їх майже на всіх популярних платформах, включаючи Facebook, Twitter, Instagram, TikTok, Telegram та інші. Це розширює можливості крос-платформеного розповсюдження та підвищує впізнаваність контенту.

Крім того, після розділення оригінального відеоматеріалу на окремі зображення та структурований текст з нього можна автоматично створювати короткі відеоролики, що містять ключові теми та відповідні кадри з оригінального відео. Такий формат відеоісторій (stories) є надзвичайно популярним у соціальних мережах, зокрема в Instagram, YouTube та TikTok.

Висновки

У процесі виконання дослідження було здійснено розробку та апробацію інформаційної технології, що дозволяє автоматизовано трансформувати відеоконтент у структурований текстовий формат із контекстуальними візуальними вставками. Реалізований підхід довів свою ефективність при застосуванні до складних і неоднорідних відеоматеріалів, які включають декількох мовців, наявність фонових зображень, закадровий супровід, а також термінологічну насиченість, характерну для професійних чи тематичних відео.

Отримані результати підтверджують доцільність і практичну корисність такого підходу для вирішення широкого спектру задач у галузях медіатехнологій, освіти, цифрової журналістики та інформаційного забезпечення.

Однією з ключових переваг розробленої методики є її гнучкість на фінальних етапах формування статті. Зокрема, кількість, розміри та позиціонування зображень не є жорстко фіксованими й можуть адаптуватися залежно від потреб редактора, вимог видавничого середовища або особливостей платформи публікації. Цей рівень адаптивності дозволяє налаштовувати візуальне оформлення матеріалу без втрати цілісності змісту та без необхідності втручання у попередні етапи обробки.

Особливу увагу заслуговує ефективне використання часових міток, згенерованих під час транскрипції, які дозволяють точно синхронізувати

фрагменти тексту з відповідними візуальними елементами відео. Це забезпечує логічну та семантичну відповідність між текстовим і візуальним рядами, що суттєво підвищує рівень сприйняття матеріалу.

Експериментально підтверджено, що завдяки фіксації моментів переходу між мовцями можливе автоматичне формування маркерів прямої мови з додатковими атрибутами, наприклад, ініціалами мовця (якщо вони присутні в відеоматеріалі або аудіозаписі), що є надзвичайно важливим для збереження структури.

Важливою перевагою досліджуваного підходу є його технічна реалізованість через поєднання інструментів штучного інтелекту та утиліт для обробки медіаданих. Зокрема, кожен із ключових етапів, як транскрипція з розпізнаванням пунктуації, переклад, редагування тексту, формування HTML-структури і вставка зображень може бути реалізований за допомогою простих запитів до відповідних API або програмних засобів на кшталт ffmpeg. Це дозволяє у подальшому досягти повної автоматизації процесу без потреби у ручному втручанні.

Водночас проведене дослідження дозволило виявити і низку обмежень, які мають бути враховані при практичному впровадженні технології. Зокрема, незважаючи на загалом високу якість перетворення, можуть мати місце втрати окремих смислових акцентів, особливо у випадках, коли йдеться про складні терміни, фахову лексику або специфічні мовні звороти.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано багатокрокову транскрипцію з уточненням даних, які можуть покращити якість визначення слів, відповідно до тематики та особливостей відео.

Також було виявлено, що при автоматичному доборі зображень іноді фіксуються кадри, які не є репрезентативними, зокрема, коли мовці закривають очі або вираз обличчя є непридатним для використання у статті. Це свідчить про необхідність реалізації механізму попереднього фільтрування скріншотів або створення декількох варіантів на вибір, що дозволило б покращити візуальне оформлення кінцевого документа.

Також для вирішення цієї проблеми можливо також обробляти та оцінювати зображення за допомогою моделей штучного інтелекту. Необхідно створити декілька скріншотів з одного часового проміжку та оцінити їх по відповідності до текстового матеріалу, який був викладений у відео. Кадри з найкращими оцінками потрібно додати до кінцевого матеріалу, а інші видалити.

Крім того, важливим аспектом є економічна складова реалізації. Попри низьку вартість окремих запитів до зовнішніх сервісів ШІ, масштабне використання або інтеграція в промислові інформаційні системи може вимагати фінансових витрат. Також варто враховувати обмеження, які пов'язані з підтримкою певних мов або діалектів, що наразі не охоплюються окремими мовними моделями і можуть призводити до підвищеного рівня помилок у транскрипції або перекладі.

У результаті дослідження було перевірено, що створена методика трансформації відео у текстовий формат з візуальним супроводом є ефективним інструментом, який може бути застосований у широкому колі сфер. Використання методики відкриває нові можливості для адаптації контенту до різних типів пристроїв та соціальних платформ.

Методика дозволяє забезпечувати зручність для користувачів із різними потребами, включно з людьми з вадами слуху або зоровими особливостями, а також дає змогу повторно використовувати зміст у нових інформаційних форматах, включно зі скороченим викладом, інтерактивною навігацією та швидким пошуком.

Проведене дослідження не лише підтверджує життєздатність і потенціал застосування інформаційної технології автоматизованої конвертації відео у текст із графічною адаптацією, але й окреслює напрями для її подальшого вдосконалення. Це стосується як підвищення якості конверсії матеріалів, так і розробки механізмів інтелектуального добору візуального контексту, що в сукупності забезпечить краще збереження смислової структури первинного відеоматеріалу у трансформованому цифровому форматі.

Список літератури.

1. Akshatha, P.S., Akash, B., Harshith, V., Sumukh, C., Reddy, V.G., & Shetty, S. (2024). NLP-Driven Video Transcription: A Comprehensive Survey and Innovative Office Meeting Automation. In 2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT). (p. 1-7).
2. Про.Світ. (2020, 1 березня). Дослідження стану реалізації дистанційного навчання в Україні (березень–квітень 2020). <https://prosvitcenter.org/product/doslidzhennia-stanu-realizatsii-dystantsiynoho-navchannia-v-ukraini-berezen-kviten-2020/>.
3. Greenberg, A.K., Gross, M., & Wright, M.C. (2014). Effects of image-based and text-based activities on student learning outcomes. In Proceedings of the Fourth International Conference on Learning Analytics And Knowledge. (p. 275-276).
4. OpenAI. Prompting. OpenAI Documentation. <https://platform.openai.com/docs/guides/speech-to-text#prompting>.
5. Левикін, І.В., & Шимко, Д.І., (2025). Підхід до автоматизації конверсії відео та аудіо матеріалів у текст. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. (с. 624-626).

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИТЯЧОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ІСТОРІЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ

Челомбітько В.Ф.

к.т.н., доцент, кафедра Медіасистем та технологій,
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** Наведено дослідження технологій додрукарської підготовки, друкування та післядрукарського оздоблення, конструкції та матеріалів для виготовлення дитячої літератури. Наведено аналіз історичного розвитку дитячої літератури України за часів незалежності, процесу художньо-технічного проєктування дитячої книги, типологію та специфіку книжок для дітей, інноваційні технології проєктування і виробництва.*

***Ключові слова:** ДИТЯЧА ЛІТЕРАТУРА, ТИПОЛОГІЯ КНИГИ, ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ІСТОРІЯ КНИГИ, ЕЛЕКТРОННА КНИГА, АЛЬТЕРНАТИВНА КНИГА.*

Вступ

Дитяча книжка – це універсальна скомпонована цілісна система світоглядних концепцій, котра формує загальне бачення світу у дитини й утверджує її соціальну позицію. У дошкільному віці закладається фундамент культури мовлення й спілкування, розвиваються комунікативні здібності, пізнавальна активність, образне творче мислення [1]. Тому саме дитяча книга покликана сформувати у дітей інтерес до пізнання світу, усвідомлення себе у ньому, до реалізації розумового потенціалу, набуття естетичних смаків.

Книга як модель сприйняття світу дитиною зумовлює необхідність створення концепції, яка базується на вікових, психологічних особливостях дитини та забезпечує якісний рівень проєктування різноманітних груп дитячих книг. Типологічні видозміни дитячих видань зумовили необхідність переосмислення їх ролі у сучасному суспільстві [2].

Сьогодні дитяча книга перетворилася із складової частини дитячої літератури у цілісний багатофункціональний дизайн-об'єкт, який є самостійним організмом. Тому виникає потреба створення універсальної типології дитячої книги з урахуванням співвідношення специфіки сприйняття дитини та функціонально-конструктивних рішень. Розробка такої типології допоможе вітчизняним дизайнерам впроваджувати нові види книг, які пов'язуватимуться із особливостями дитячої психології.

Інтенсивний розвиток науки та впровадження технологічних інновацій зумовили трансформацію структурних рівнів дитячої книги – змістового, образотворчого, архітектонічного. Синтез цих рівнів у зв'язку із інтенсивним розвитком технологій визначає творчі пошуки видавництва України.

Мета та задачі дослідження

Мета роботи – виявлення технологічних і художньо-технічних особливостей виготовлення сучасних дитячих книг в Україні. Мета обумовлює наступні задачі:

- прослідкувати розвиток дитячої книги та виявити якісний рівень сучасної продукції видавництв України;
- сформулювати типологію та специфіку дитячої книги;
- визначити художньо-технічні та технологічні аспекти проектування;
- здійснити аналіз взаємодії національних та глобалізаційних чинників у технології дитячої книги у взаємозв'язку з інноваційними напрямками, технологіями та засобами проектування.

Об'єктом дослідження виступає дитяча література України як носій художньо-технічних і технологічних якостей продукту національної культури.

Предметом дослідження є принципи виготовлення і матеріальні засоби створення дизайну дитячої книги.

Основна частина

1 Історичний аспект розвитку дитячої літератури України за часів незалежності

Сьогодні в Україні випуском дитячої книги займаються понад 250 видавництв та організацій. Деякі з них є вузькоспеціалізованими (випускають лише дитячі книги): «Веселка», «Махаон-Україна» (Київ), «Ранок» (Харків), «Видавництво Старого Лева» (Львів), «Кашалот» (Івано-Франківськ), «Навчальна книга Богдан» (Тернопіль) та інші, решта – широкопрофільні видавництва.

Врахування вікових особливостей розвитку дитини – головний чинник, що впливає на проектування та ілюстрування дитячих книг. Беруться до уваги вікові зміни, психологія дитини, її сприйняття. Тому у видавничій практиці введена нормативна класифікація залежно від віку адресата, яка характерна для видань: книги для дітей дошкільного віку (до 6 років); книги для дітей молодшого шкільного віку (7-10 років); книги для дітей середнього шкільного віку (11-14 років); книги для дітей старшого шкільного віку (15-17 років).

Лише поодинокі видавництва виготовляють книги для дітей дошкільного віку. У Центральній Україні – це «А-БА-БА-ГА-ЛА-МА-ГА» (Київ), «Махаон-Україна» (Київ), «Перо» (Київ), «Розумна дитина» (Київ); у Східній Україні – «Ранок» (Харків), «Пелікан» (Харків); у Західній Україні – «Кашалот» (Івано-Франківськ). Причиною низького показника виготовлення літератури для дітей дошкільного віку є складність поліграфічного виконання книжок, оскільки це передбачає додаткові технологічні витрати та підвищення її собівартості. Виготовленням книг для дітей молодшого та середнього шкільного віку займаються практично усі спеціалізовані видавництва.

Найбільш популярною серед книжкових форм друкованого видання в Україні є книга-кодекс [3]. Розвиток сучасних технологій поліграфічного виробництва, застосування новітніх матеріалів забезпечують вдосконалення книжкової форми, урізноманітнення конструктивних рішень дитячої книги (комбіноване та ігрове видання). Найбільша різноманітність конструктивно нових ігрових видів дитячих книжок представлена у Харкові («Ранок», «Пегас», «Талант», «Пелікан»). Кожне видавництво займає свою нішу у книговидавництві України. Так, книги видавництва «Ранок» вирізняються новими конструктивними рішеннями, які містять додаткові ігрові елементи з використанням текстилю, металевих, пластикових елементів (книжка-пазл, книжка-пазл-панно, пазли у коробці, книжка-театр, книжка з колесами, розмальовки з підказками, книжки з наклейками і т. д.). Креативні рішення спостерігаємо у роботі видавництва «Пегас», що виготовляє книжки-пазли, книжки-брошури. Нестандартні ігрові видання також презентує видавництво «Талант» (Харків): книжки-пампушки, книжки-сумочки, книжки-помічники («Календар 2018», «Книга запису», «Словник для запису іншомовних слів»).

За останні роки в Україні дитяча книга переживає підйом випуску книжкової продукції завдяки застосуванню нетрадиційних для книговиробництва матеріалів (тканини з натуральних волокон, хутро та ін.). Західноукраїнське видавництво «Кашалот» є поки єдиним в Україні, що займається випуском друкованих дитячих книг із натуральної тканини (бавовна, льон) для наймолодших читачів (дітей до 3 років). Дитячі книги шиють із натуральних тканин; для принту використовують натуральні фарби, вони оздоблені різношаровими малюнками, м'якими на дотик. Такі книжки мають формат сторінок 25×25 см з ілюстраціями та коротким пояснювальним текстом. Важливу роль видавництво надає тактильності (використання у книзі різноманітних фактурних вставок із тканини). Книжки-іграшки для купання із спеціального водонепроникного матеріалу «ізолон» виготовляє видавництво «Розумна дитина» (серія «Казкові книжки для купання»).

На сьогодні виникла необхідність виробництва спеціальної літератури для дітей із вадами зору. Втім, в Україні існують поодинокі видавництва, які тільки нещодавно почали випускати тактильні книги для дітей з шрифтом Брайля на благодійних засадах («Видавництво Старого Лева», «Освіта»). Традиційні тактильні дитячі книжки для незрячих дітей шрифтом Брайля випустило видавництво «Грані-Т» (Київ). Видавництво «Освіта» (2013 р.) презентувало видання для дітей з вадами зору («Абетка для дітей шрифтом Брайля») – користуватися ним можуть не тільки незрячі, а й слабозорі діти.

На початку ХХІ ст. відбувається поступове витіснення традиційних видавничих технологій і переорієнтування випуску друкованої продукції на електронну, що пояснюється не тільки її здешевленням, викликаним, у першу чергу, економією на поліграфічних роботах, а й зручністю в користуванні: електронна книга доступна на рідерах, планшетах, мобільних пристроях у вигляді дисків (аудіокниги).

На сучасному етапі поширення набувають інтерактивні дитячі видання. Зокрема, у Центральній Україні започаткували виробництво інтерактивних книг для дітей такі видавництва: «А-БА-БА-ГА-ЛА-МА-ГА» (Київ), «Most Publishing» (Київ), «Glowberry Books» (Київ), «iPublisher» (Київ), на Західній – «Видавництво Старого Лева» (Львів).

Першу українську інтерактивну дитячу книгу для iPad («Забавлянки») створило «Видавництво Старого Лева» у 2011 році. Інтерактивна версія передбачає виконання операцій, пов'язаних із звуковим відтворенням тексту, анімацією, читанням та ін.

Дитяча книга України повільно, але впевнено рухається у напрямку трансформації друкованих видань. Основною тенденцією дитячого книговиробництва є поступова переорієнтація читацької аудиторії на електронні та інтерактивні видання, втім все ж паперові книги зберігають свій вплив, органічно співіснують та доповнюють видавничі технічні новації. На етапі кардинальної зміни дитячої книги, появи технічних носіїв і технологічних інновацій, важливо підкреслити особливе значення книги у процесі сприйняття світу дитиною [4].

2 Типологія та специфіка дитячої літератури

Сучасна дитяча книга сьогодні стає також основою для проектування об'єктів предметно-просторового середовища, іноді повністю або частково втрачаючи при цьому властивості книжкової форми (книжка-лампа, книжка-стілець, книжка-ліжко та інші форми). В такому контексті є необхідність виділити альтернативний формат видання.

Отже, можна говорити про три види форматів дитячих видань за способом представлення інформації – друкований, електронний та альтернативний, які відтворюють одну й ту ж реальність – книгу, але в різних аспектах, і тому є окремими формами сприйняття світу дитиною. Кожен із видів унікальний за специфікою матеріалів, технологічним процесом і художньо-композиційними закономірностями структури образів. Ці три формати видань базуються на сприйнятті та на різних рівнях функціональності (навчально-пізнавальне, ігрове, творчо-модельовальне, комунікативне), які у свою чергу можуть зливатися та утворювати мультифункціональні видання [2].

Дитяча література як складова частина літератури загалом має свою специфіку: відповідає рівневі знань, життєвому досвіду, психологічному розвитку дитини, орієнтується на певне тематичне коло, жанрові характеристики та поліграфічне оформлення.

Специфіка дитячої літератури зумовлена віковими особливостями читачів, адже кожен художній твір розрахований на певну категорію реципієнтів, адресований дітям певних вікових груп: молодшої та середньої дошкільної (3-7 років), старшої дошкільної та молодшої шкільної (7-11 років), середньої шкільної (від 11 до 14-15 років) та старшої шкільної групи (від 15 до 18 років). Зрозуміло, що поділ умовний, бо не завжди можна провести межу між віковими

групами, що залежить від розвитку дитини, її природних здібностей, навиків, культури читання тощо. Зважаючи на той факт, що дитяча література враховує вікові потреби і можливості маленьких читачів, вона тісно пов'язана із педагогікою. Але не можна бачити у ній тільки "педагогічне заняття", бо така позиція викривлює її суть, виводить за межі мистецтва, обмежує освітньо-виховне значення. Дитяча література підіймає ті ж проблеми, що й уся художня література взагалі. Вона зображає справжню дійсність. Своєрідність дитячої літератури виражається через:

- образність дитячої літератури;
- доступність лексики і сприймання;
- врахування вікових особливостей дітей;
- дидактичні мотиви – повчальність;
- емоційність – особлива інтонація;
- яскравість – ілюстративний матеріал;
- пісенність творів;
- звуконаслідування;
- оптимістичність;
- драматизм, але без трагізму.

Специфіка дитячої літератури повинна виявлятися не лише в доборі спеціальних „дитячих” тем, а саме в особливостях композиції і мови творів. Сюжет дитячих книг повинен мати чіткий стержень, не давати різних відступів. Для нього характерні, як правило, швидка зміна подій і захоплюючі ситуації. Розкриття характерів персонажів повинні здійснюватися предметно і, очевидно, через їхні справи і поступки, адже дитину більш за все приваблюють дії героїв [5].

Ставляться вимоги до мови книг. Адже це – збагачення словника юного читача. Яку мову найбільш сприймає дитина? Літературну, точну, образну, емоційну, нагріту ліризмом. Дитяча література готує читача до життя.

Основним джерелом дитячої літератури, як і всієї художньої літератури є реальна дійсність – життя і праця народу на різних етапах розвитку суспільства.

3 Процес художньо-технічного проєктування дитячої книги

3.1 Інструменти та матеріали.

Багаторічний досвід проєктування та оформлення книжкової продукції доводить, що фахівці завжди з підвищеною увагою ставляться до вибору матеріалу, з якого виготовляють дитячі книги. У створенні друкованих видань застосовуються ряд різноманітних матеріалів – від традиційних (картон та папір) до новітніх (пластик, тканина). Сьогодні на українському ринку найбільш поширеним матеріалом для виготовлення друкованих дитячих книг залишається папір та картон (книга-кодекс, карткова книга, книга-панорамка, книга-гармошка та ін.). Це може бути крейдований папір (глянцевий, матовий), дизайнерський, офсетний папір – для книг-кодексів науково-пізнавального характеру (підручники, енциклопедії, словники).

Папір, як найбільш поширений матеріал, володіє певною пластичністю та здатний до об'ємно-просторового моделювання. Переосмислення засобів трансформації площини з позицій сучасного виробництва дозволило сформулювати нові конструктивні прийоми на основі базових технологій, поширених у поліграфії (біговка, фальцювання, висічка, склеювання). На сьогодні трансформація паперової площини книг здійснюється за рахунок складання, розрізів, різних видів склеювання). У процесі дизайн-розробки дитячих книжок фахівці оперують такими технологічними прийомами тривимірного моделювання як біговка (лінійне продавлювання), фальцювання (складання), застосовують ефект ребра жорсткості, яке дає можливість конструкціям трансформуватись. Варіанти прорізів та розрізів стають потужними засобами візуальної організації паперової площини. Особливі тектонічні якості паперової форми створює висічка, ослаблюючи конструктивну жорсткість або навпаки створюючи нові умови для посилення конструктивної міцності.

У зв'язку з розвитком видавничих технологій розширився асортимент матеріалів при створенні дитячої книги (дизайнерські види картону, тканина з натуральних волокон, хутро, дерево, пластик, поліетилен).

Дитячі книги містять ігрові елементи для розвитку екстерорецепторних відчуттів, навичок та здібностей дитини (книжки зі шнурівкою, гудзиками, липучками, книжки із вставками хутра, різних тканинних поверхонь). У виготовленні такої книги використовують тканини різної текстури: бавовна, шкіра, текстиль, хутро, шовк, атлас, оксамит; додаткові елементи – липучки, застібки, пружинки, гудзики, кнопки, шнурівки, блискавки.

Книги, виготовлені із ПВХ, призначені для дітей від року і використовуються під час купання. Вони допомагають розвинути координацію рухів та в ігровій формі знайомлять дитину із оточенням. Для рельєфу та об'єму використовують синтепон, паралон, вату. В сторінки інколи вшивають додаткові елементи, що забезпечують появу нових груп книг для купання (книжки-пищалки, книжки-прискавки, книжки-брязкальця, книжки із іграшкою). Останнім часом при проєктуванні та виготовленні дитячих музичних і цифрових книжок застосовуються різні види пластика. Набуло поширення поєднання пластмаси (сторінки книги) із синтетичними матеріалами (додаткові елементи). Використання пластику замість паперу значно підвищує термін експлуатації видання і наближує його до іграшки як промислового виробу. Пластичні матеріали, такі як папір, картон, тканина здатні до трансформації, через те із цих матеріалів створюються різні нові конструкції. В той же час слід зазначити, що у пошуках економічної ефективності книги багато видавців переходять на електронні формати, які є більш прибутковими.

У друкованому форматі видання, основним є матеріальне втілення книги: об'єм, товщина, розмір сторінки. В електронних форматах видань матеріальність книги зникає, а внутрішній вміст моделюється у віртуальному середовищі. На відмінну від електронного, альтернативний формат видання набуває матеріальності через реалізацію в середовищі.

3.2 Технологічні складові створення дитячої книги.

Робота фахівця над створенням дитячої літератури займає важливе місце у технології видавничого процесу. Сучасні дизайнери та видавці створюють дитячу книгу, перш за все функціональну, яка досконало виконує своє практичне призначення; зручну та безпечну під час експлуатації (задовольняє вимоги ергономіки); естетично виразну (має інформаційно-виражальну форму і є композиційно цілісною). Рішення проєктних завдань пов'язане зі здатністю фахівця орієнтуватися у світі комп'ютерних технологій та програмних продуктів.

Технологічний процес виготовлення друкованого видання складається з трьох основних етапів: 1) додрукарський (підготовчий); 2) друкарський (процес друку); 3) післядрукарський (оздоблювальний). Процес творення дитячої книги торкається змістового, образотворчого, архітектонічного рівнів структури видання. Над формуванням змістового рівня дитячої книги працює автор, який створює ідейно-тематичну основу твору, розробляє образну систему її втілення. На цьому етапі дизайнер бере участь в обговоренні рукопису з автором, що дозволяє дизайнеру сформулювати концепцію видання. Продуктивною формою співпраці дизайнера та автора є співбесіди, на яких обговорюються питання графічно-образних рішень дитячої книги. Адже для кращого вирішення загального задуму оформлення, визначення теми для ілюстрацій, обрання формату видання, шпальти набору і шрифту необхідно достеменно вивчити твір, зрозуміти його особливості.

Після створення автором оригінального тексту, його передають на перевірку коректору, редактору, який усуває помилки та технічні недоліки. Дизайнеру доводиться вирішувати разом із технічним редактором чимало запитань на стадії коректур. На цьому етапі доволі часто виникає необхідність скоротити або розширити текст, щоб правильно розмістити його на шпальті, знайти кращий варіант для розташування ілюстрацій [6].

Для реалізації образотворчого рівня творення дитячої книги, у технічний процес залучається художник-ілюстратор. Ілюстратор втілює засобами образотворчого мистецтва ідейно-художній задум, основний зміст літературного тексту. Художник, насамперед, глибоко осмислює задум автора, особливості характеру героїв, щоб ілюстрація цілком відповідала ідеї твору. На цьому етапі важливим є співпраця ілюстратора дитячої книги та дизайнера. Часто дизайнер сам виконує роль художника-ілюстратора.

На цьому етапі спеціаліст засобами типографського та образотворчого мистецтва відтворює зміст тексту, знаходить у кожному окремому випадку художньо-графічну мову, яка найкращим чином віддзеркалює авторську стилістику та відповідає інтересам читача. Знання особливостей психології та сприйняття дитини важливі, оскільки це допомагає йому вибрати не односторонній, вузькоспеціалізований підхід до проєктування книги, а формує системний підхід до вирішення проблем дизайну. Важливими для дитячої книги є розуміння вікових видозмін у сприйнятті дитиною світу, адже сприйняття навколишньої дійсності у дітей інше, ніж у дорослої людини.

Знання особливостей сприйняття книжкової графіки дітьми дошкільного віку дозволяє дизайнеру сформулювати принципи її проєктування. Для верстки дизайнер обирає загальний задум оформлення, формат видання, шпальти набору та шрифт (грамотно підбирає розмір кегля з урахуванням особливостей сприйняття дитиною візуальної інформації, організовує розбивку тексту, створює акцентування або смисловий поділ тексту та ін.). В оформленні текстової частини важливими є знання щодо основних закономірностей побудови шрифту: формотворчі елементи літер, їх різновиди, форми основних шрифтів, зарубок, виносних елементів, пропорції в шрифті, оптичні ілюзії, читабельність шрифту, вимоги (функціональні, технічні, естетичні), які пред'являються до шрифту [7].

Особливе значення має правильність композиції тексту та організація ритму у шрифтових композиціях, членування тексту на рядки, композиція в написі, взаємозв'язок шрифту із зображеннями та фоном.

Особливим аспектом у проєктуванні дитячої книги є використання базових ергономічних показників (допустимі параметри якості матеріалів, безпеки для здоров'я, «ергономічного» формату книжкових видань, читабельності шрифту, вимоги обліку психофізіологічних особливостей дитини). Знання із офтальмологічної гігієни дозволяють визначитися із параметрами шрифтового оформлення дитячих книг, від яких залежить легкість читання. Серед цих параметрів, у першу чергу, такі показники, як величина шрифту, його малюнок (гарнітура), довжина рядка, відстань між рядками та ширина полів. Екологічні вимоги передбачають дотримання вимог якості поліграфічних матеріалів – тобто якості фарби, що використовується під час друку, а також паперу. Важливим у проєктуванні є врахування співрозмірності дитини до ваги, товщини і розміру книги. Використання шрифту в гармонійній єдності з ілюстраціями та іншими елементами оформлення забезпечує естетичну виразність видання і комфортність сприйняття інформації. Слід також пам'ятати, що у дитячу книгу покладена ідея виховання та навчання, тому для вдалого проєктування дитячих книг дизайнеру потрібні певні педагогічні знання (освітні закони, методи виховання, навчання, соціалізації та творчого саморозвитку людини, форми успішної передачі соціального досвіду).

На якість друкованих видань суттєво впливає рівень архітектонічної розбудови книги. Архітектонічний рівень видання втілюється в макеті, який представляє об'ємно-просторову конструкцію книги. Предметом роботи дизайнера дитячої книги стає структура форми в цілому та окремих її елементів. Дизайнер досліджує закономірності варіативної зміни просторово-графічних та конструктивно-функціональних структур дитячої книги. Він також проявляє свою обізнаність у видавничому процесі відтворення оригіналу книги поліграфічними засобами, адже графічний оригінал може суттєво відрізнятись процесом друкування у колірному вирішенні. Дизайнер враховує факт похибки друку та орієнтується на параметри поліграфічного обладнання, слідує за налаштуванням пристроїв поліграфії.

Застосування комп'ютерних технологій та нового технічного оснащення дозволило перемістити низку процесів підготовки книги (від рукопису до тиражування) з друкарських приміщень на робоче місце дизайнера-проектанта. Відповідно, діяльність «технічного редактора», «художнього редактора», «художника» також значною мірою змістилася у сферу дизайну.

Із розвитком електронних видів дитячих книг вимоги до рівня знань дизайнера-графіка зростають. У цьому випадку від дизайнера вимагаються знання відповідних комп'ютерних технологій у проектуванні таких видань. Для створення електронної книги дизайнер співпрацює з програмістом, особливо, коли створюється складний багаторівневий портал із великою кількістю інтерактивних функцій.

Проектування електронних форматів видань має унікальний набір завдань та методів. У ньому присутні елементи графічного, інформаційного дизайну, що є основою для проектування взаємодії з комп'ютеризованими системами. Нове середовище, створене в мультимедійних та інтерактивних виданнях за допомогою комп'ютерної техніки, є одночасно активним і віртуальним, тому проектант цього середовища потребують розробки відповідних принципів, що відображають такі його специфічні властивості, як кінетичність та інтерактивність.

Процес проектування електронних видань складається з трьох етапів: задум, ідея; образ (створення концептуальної моделі); схема (проектування відображення текстової, образотворчої інформації та управління). На першому етапі розробки електронного формату видання формується його ідея (концепція). Наступний етап – здійснення вибору форм представлення образотворчого та текстового матеріалу відповідно до підгруп електронних форматів видань (мультимедійне, інтерактивне). Серед використаних форм та форматів представлення інформації може бути текст та гіпертекст, відео, анімація, звук, інтерактивне зображення. Вибір інструментарію ґрунтується на зіставленні можливостей доступних засобів. Він може включати офісні системи (редактори тексту, графіки), мережеві технології (інструментальні засоби розробки мультимедійних компонентів). Як правило, окремо взята комп'ютерна програма не дозволяє повністю виконати необхідні операції. Щоб вирішити всі виробничі завдання, дизайнери комбінують засоби різних програм. На цьому етапі також здійснюється вибір каналів управління: самостійне управління, інтерактивне управління. Володіння дизайнером набором теоретичних знань і практичних навичок всього циклу комп'ютерного виробництва графічного контенту (створення анімації, режисури, візуальних ефектів) є необхідними для проектування електронних видань.

На цьому ж етапі розробники обирають технологічні методи створення анімації (покадрові, ключові, захоплення рухів). Найбільш складна і тривала покадрова анімація – технологія, за якою кожен кадр малюють окремо. Вона вимагає високої майстерності, досвіду та інтуїції. Технологія ключових кадрів заснована на тому, що створюють тільки «ключові кадри», а проміжні кадри між ними малюються автоматично. Технологія захоплення рухів (відео) – розкриває

особливості руху об'єктів або зміни їх форми внаслідок аналогічних дій реальних об'єктів. До них прикріплені датчики, що передають дані про просторове переміщення об'єктів на комп'ютер. Ілюстрації для інтерактивних книг створюють за допомогою відповідних комп'ютерних програм (опрацювання персонажів, сцен, промальовування ілюстрацій) або беруть уже створені ілюстрації.

Розширення меж альтернативного формату від книги як промислового виробу до проектування середовища вимагає орієнтації знань фахівця відповідно до специфіки проектування. Якщо альтернативний формат видання пов'язаний з дизайном промислових виробів, то створення дитячої книги складатиметься з п'яти етапів: підготовчий; художньо-конструкторський пошук; виконання художньо-конструкторського проекту; робоче проектування; випробовування дослідного зразка [8]. На першому (підготовчому) етапі разом із дизайнером тісно співпрацюють маркетологи. Вони вивчають ринок, визначають вигляд промислового виробу, щоб потім швидше й вигідно його продати.

Другим етапом проектування є художньо-конструкторський пошук (етап ескізування). На цьому етапі обираються конструктивні та оздоблювальні матеріали, визначаються прийнятні конструктивні рішення, габарити вузлів, проводиться пошук та відпрацювання форми. Основними виконавцями цього етапу є інженер-конструктор та дизайнер-конструктор, які працюють у тісному контакті. Художньо-конструкторський пошук супроводжується розробкою ескізів книги як промислового виробу, які є основною формою інформації між інженером-конструктором та дизайнером-конструктором. Інженер-конструктор вирішує технічні питання проектування, а дизайнер-конструктор на основі цих рішень веде пошук можливих компонувань, визначає об'ємне вирішення виробу. Запропоновані дизайнером-конструктором варіанти рішень передаються інженеру-конструктору для принципової розробки конструкції.

На етапі розробки художньо-конструкторського рішення створюють ескізи виробів, які виконуються у вигляді малюнків і креслень, що дозволяє оперативно вносити різні зміни. Крім виготовлення ескізів, дизайнер веде пошук форм виробу за допомогою макетування, що виконується в умовному матеріалі (пластиліні, картоні, глині).

Третій етап проектування – виконання художньо-конструкторського проекту, який відповідає розробці технічного проекту виробу. На цьому етапі обсяг роботи з технічного конструювання зростає і кількість фахівців-виконавців збільшується. Дизайнер відпрацьовує форму окремих деталей та особливо тих, які пов'язані із зручністю користування виробом. Остаточо здійснюється підбір колірного рішення виробу та фактури поверхні. Разом з технологом, фізіологом або іншими фахівцями дизайнер обирає необхідні облицювальні та оздоблювальні матеріали, оскільки окрім естетичних вимог, колір та фактура поверхні повинні задовольняти і певні вимоги фізіології дитини.

Четвертий етап – робоче проектування. На цьому етапі розробляють робочі креслення. Коли є потреба, дизайнер бере безпосередню участь при розробці шаблонів та складних поверхонь. Після виконання робочих креслень,

виготовляють один або кілька дослідних зразків, які призначені для художньо-конструкторської оцінки нового виробу, а також для випробувань на відповідність функціональним вимогам, міцність та довговічність.

П'ятий, завершальний, етап – випробування дослідного зразка. В результаті випробувань перевіряють правильність усіх прийнятих у процесі проєктування рішень, а також можуть вноситися незначні корективи. Під час організації інсталяції необхідне залучення сценаристів, режисерів-постановників, акторів, костюмерів, гримерів, освітлювачів. Якщо ж стоїть завдання спроектувати книгу як елемент середовища (в інтер'єрі чи екстер'єрі), то певні функції виконуватимуть будівельники, архітектори або вузькоспеціалізовані фахівці.

Як бачимо, коло професійних задач сучасного фахівця з видавництва і поліграфії дитячої книги не обмежується лише вирішенням питань формотворення та художнього оформлення продукції. Розробка книги потребує знань проєктної графіки і поліграфії, ергономіки і економіки, володіння методами інженерно-технологічного конструювання та макетування, технології виготовлення [9].

3.3 Інноваційні технології проєктування і виробництва.

Технологічні інновації за ступенем новизни у дитячій книзі можна поділити на базисні та удосконалені.

Базисний тип інновацій у дитячій книзі реалізується через відкриття та винаходи у сфері техніки і технологій. Базисні інновації є абсолютно новими, які формують нові види дитячих книг (друковані, електронні, альтернативні види). Наприклад, базисною інновацією у 1457 р. став винахід Гутенберга – друкарський пристрій, який послужив основою створення нового виду книги – друкованої. Пізніше, із винаходом комп'ютерних технологій, з'являється наступний вид дитячих книг – електронний.

Удосконалений тип інновацій передбачає якісне поліпшення тих чи інших характеристик (зміну конструкції видання, додаткових елементів та матеріалів тощо) друкованих, електронних, альтернативних дитячих видань. Вони забезпечують появу нових підвидів, типологічних груп і підгруп дитячих книг. Значна кількість інноваційних удосконалень зумовлює появу базисних інновацій. Однією із найбільш поширених інноваційних тенденцій удосконаленого типу у дизайні друкованих видань є трансформація дизайн-форми з точки зору конструкції та матеріалів. Книжковий дизайн реагує на зміни, які відбуваються у комунікативній реальності і естетичній свідомості. Експерименти у цій сфері спрямовані на виявлення нових можливостей книжкового організму, порушення традиційних схем його існування. Переглядаються звичні орієнтири простору книги, зовнішні та внутрішні кордони. Принцип багаторазової трансформації дизайн-форми дозволяє вирішувати одночасно кілька ігрових та розвиваючих завдань. Трансформація сторінок дитячих книг відбувається за рахунок геометричних трансформацій поверхні аркушів та появи нових механізмів усередині видання. Це дозволяє із плоскої поверхні книги перетворювати її на об'ємні складні конструкції [10].

У зв'язку з розвитком нових конструкцій дитячих книг та використанням нових матеріалів змінилася і матеріальна основа друкованої книги, у якій застосовуються: 1) термо-фарби; 2) флуоресцентні фарби; 3) ароматні чорнила. Термо-фарби (термоіндикаторні фарби) містять різні хімічні сполуки, які здатні змінювати свій колір під дією відповідних температур. Наприклад, японський дизайнер Тонакі створив серію дитячих книг, у яких застосовуються термо-фарби. Вони «оживають» від теплоти людської руки, зокрема, у книзі «Яйце» зображення пташки у яйці проявляються тільки після нагрівання його долонями.

Широке розповсюдження у дитячих книгах знайшли флуоресцентні фарби (фосфорні чорнила), в основі яких є люмінофор (фосфоресцентний пігмент, здатний накопичувати світлову енергію). Флуоресцентна фарба використовується для отримання різноманітних світлових та кольорних ефектів. Поверхня книги, покрита цими фарбами, відсвічується інтенсивним насиченим світлом. В основі цього ефекту лежить застосування у складі фарб спеціального пофарбованого пігменту, який має здатність поглинати промені ультрафіолету та повертати їх назад у вигляді найбільш довгої хвилі видимих кольорів. При денному освітленні віддруковані цією фарбою зображення світяться одним або декількома кольорами: зеленим, жовтим, фіолетовим, блакитним, синім та ін. У темряві зображення або предмет, оброблений флуоресцентною фарбою, починає віддавати накопичену протягом дня (або штучного освітлення) енергію.

На поверхні сторінок сучасних дитячих книг використовуються також фарби, які відповідають певним ароматам. Ці ароматні фарби виготовляються на водяній основі і призначені для друку на картоні та папері. При їх відтиску майже немає запаху, але після незначного механічного впливу (тертя рукою), мікрокапсули, які містять ароматні речовини, розкриваються і відтиск набуває аромату. Так, у Нью-Йорку дизайнером-винахідником Ембером Джонсом була видана дитяча книга, яка просякнута різними запахами.

У дизайні дитячих книг новітні матеріали (поліетилен, пластмаса, синтетичні тканини) використовуються поруч із натуральними (дерево, текстиль). За кордоном певної популярності набуло виготовлення книг із їстівних матеріалів. Щороку у багатьох країнах (Австралії, Бразилії, Канаді, Англії, Франції, Німеччині, Індії, Японії, Голландії та ін.) проходить Міжнародний фестиваль їстівної книги. У Франції випускаються книги, матеріалом для яких слугує їстівний папір. Цей папір має різні смаки – апельсиновий, полуничний, ванільний.

У зв'язку із посиленням світових екологічних проблем з'являються розробки, спрямовані на покращення екологічної ситуації. Так, аргентинським видавництвом «Argentina's Pequeno Editor» був запроваджений проєкт створення дитячої книги («Mi Papa Estuvo en la Selva» / «Мій тато був у джунглях», 2015 р.), яка б сприяла збереженню навколишнього середовища.

Матеріалом для книги слугував безкислотний папір (папір, що не містить кислотних похідних у своєму складі, особливо квасцових домішок, що скорочують період існування книги). На кожній сторінці книги вкладалося по декілька насінин дерева жакаранди. Після прочитання книгу можна посадити в ґрунт і з часом між сторінок проросте дерево.

Висновки

Виявлено, що еволюція дитячої книги України відбувалася у контексті світових організаційно-технічних та художньо-проектних інновацій, які позначилися наступними кроками: перехід від рукописної книги до друкованої, виокремлення дитячої літератури в окрему групу, розширення її типологічного і тематичного складу, масове видавництво дитячої книги, переосмислення структурної цілісності та професійних засобів.

Показано, що сучасний процес видавництва дитячої літератури України характеризується зростанням кількості вітчизняних видавничих центрів та загальним підвищенням якісного рівня книжкової продукції.

Визначено художньо-технологічні аспекти взаємодії шрифту як каналу вербальної інформації, ілюстрації як художньо-образної інформації та конструкції як об'ємно-просторової форми вираження змісту.

Доведено, що художньо-технологічні особливості шрифтової, предметної, сюжетно-тематичної, орнаментально-декоративної, символічної ілюстрації спрямовані на досягнення об'ємності за рахунок використання традиційних та новаторських технік виконання (у межах площини аркуша) та конструктивних змін об'ємно-просторової структури зображення (площинні, барельєфні, горельєфні ілюстрації).

За ступенем новизни виявлено присутність базисних та удосконалених інновацій у дитячій книзі. Базисний тип інновацій реалізується через відкриття та винаходи у сфері техніки і технологій; він є абсолютно унікальним й, поруч із друкованими, забезпечує формування нових видів дитячих книг (електронні, альтернативні формати видань). Удосконалений тип інновацій передбачає якісне поліпшення тих чи інших характеристик видання (зміну конструкції, додаткових елементів, матеріалів) та окреслює появу підвидів, типологічних груп та підгруп.

Список літератури.

1. Авраменко, О.О. (1993) Українська дитяча книга 1970-1990 рр.: основні тенденції розвитку ілюстрації: автореф. дис. ... канд. мист-ва: 17.00.04.
2. Єфімова, М.П. (2015). Типологія дитячої книги. Українська культура: минуле, сучасне, шляхи розвитку, (20), 143-147.
3. Йордан, Г. (2007). Основи поліграфії: навч. посіб. Тернопіль: Підручники і посібники.
4. Дизайнер vs Штучний інтелект: конкуренція чи співпраця? <https://tcd.kiev.ua/uk/dizajner-vs-shtuchnij-intelekt-konkurenciya-chi-spivpratsya/>.
5. Скорікова, Д.В. (2007). Психологічний аспект тексту. <http://journlib.univ.kiev.ua/index.php?act=article&article=1992>.
6. Тимошик, М.С. (2005) Книга для автора, редактора, видавця: практичний посібник. К.: Наша культура і наука.
7. Felici, J. (2018). Complete Manual of Typography: A Guide to Setting Perfect Type. Pearson Education, Limited.
8. Черниш, Н. (2008). Основи бібліології. Львів : Українська академія друкарства.
9. Шевченко, В. (2007). Художньо-технічне оформлення видань різних видів. Наукові записки Інституту журналістики, (27), 97-112.
10. Грищенко, О.Г. (2007). Техніка витинанки в оформленні української книги. Мистецтвознавство. Ч. 2, 75-82.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Савченко О.М.

к.т.н., доцент, кафедра поліграфічних технологій та пакувань, Інститут поліграфії та медійних технологій НУ «ЛП»

***Анотація.** Вивчення новітніх технологій виготовлення пакувальної продукції методами лазерної обробки з дерево-волокнистих матеріалів (фанери та ХДФ), підбір режимів та устаткування, виявлення технологічних закономірностей лазерного розрізування та гравіювання, які використовуються при виготовленні пакувальної продукції.*

***Ключові слова:** ПАКОВАННЯ, ЛАЗЕРНА ОБРОБКА, ЛАЗЕРНЕ РОЗРІЗУВАННЯ, ЛАЗЕРНЕ ГРАВІЮВАННЯ, ДЕРЕВО-ВОЛОКНИСТІ МАТЕРІАЛИ.*

Вступ

Пакування віддзеркалює традиції, менталітет та смаки суспільства у конкретний період, змінюючись у різні епохи характером та функціями. У процесі зміни пакування різні суб'єкти ринку висувають до нього різні вимоги. Виробники товару приділяють увагу збереженню якості впродовж максимально великого терміну, а також покращенню дизайну і функціональності пакувальної продукції. Споживачі товару бажають довго зберігати його високу якість за легкого розпаковування. Держава в свою чергу більше опікується можливістю утилізації без шкоди для довкілля. Виробники товару при виборі оптимального пакування висувають такі вимоги:

- забезпечення захисту товару від хімічного і фізичного пошкодження;
- зручність пакування під час транспортування;
- мінімалізація габаритів пакування;
- можливість ефективного розміщення реклами;
- відповідність пакування іміджу виробника;
- підвищення вартості товару за рахунок відповідного пакування [1].

Останні десятиріччя свідчать про виокремлення пакувального дизайну України у спеціалізовану галузь дизайну та проектування. Як зазначає автор [2], за всі роки свого існування людство поки що не знайшло кращого інформаційного комунікатора для продажу продукції, ніж її упаковка. Глобальна модель сталого розвитку суспільства визначає баланс трьох складових: людина/екологія/економіка, серед яких людина-споживач виходить на перше місце, а задоволення її потреб та покращення її життя стають найліпшими індикаторами ринкових відносин, які залежать від багатьох факторів. Тому першочерговим завданням виробників пакувальної продукції є впровадження нових пакувальних матеріалів і сучасних технологій виробництва з врахуванням

усіх супутніх чинників для створення якісного конкурентноспроможного пакування, яке б відповідало усім закладеним вимогам.

На актуальність досліджень у пакувальній галузі вказують численні публікації науковців. Стаття [3] присвячена дослідженню теоретичних засад і розробці практичних рекомендацій щодо удосконалення процесу управління фінансовою стійкістю як складової забезпечення стійкого функціонування підприємств пакувальної галузі. Визначено, що фінансовий стан підприємства треба систематично й усебічно оцінювати з використанням різних методів, прийомів та методик аналізу. У роботі [4] проаналізовано сутність, функції та вимоги до упаковки, виконано відповідну систематизацію підходів, визначено роль пакування у процесі інноваційної діяльності та управління розподілом товарів. За результатами виконаного дослідження на основі критичного аналізу існуючих підходів щодо розроблення упаковки запропоновано власний методичний інструментарій, який поєднує роботу не лише виробників (конструкторів, дизайнерів), а й маркетологів з удосконаленням форми технічного завдання.

Значна увага виробників пакувальної продукції направлена на виготовлення екологічно чистої тари. У статті [5] науковцями розглянуто перспективи розвитку, а також особливості функціонування «зеленого» виробництва на прикладі відомих брендів. Визначено доцільність виробництва, використання та перспективи розвитку екологічно чистих пакувальних матеріалів, проблем і перспектив екологічного маркування. Визначено основні стратегії, які можна використати у бізнесі для оптимізації сталого розвитку під час переходу на екологічне виробництво. Наведено основні напрями, які можуть допомогти компаніям змінити ставлення та поведінку потенційного споживача екологічно чистої упаковки товарів.

Мета та задачі дослідження

Надзвичайно великий асортимент товарів, специфічні вимоги споживачів до пакувальної продукції спонукають до розроблення нових конструкцій пакувань, які б враховували призначення та виконання основних функцій (захисної, інформаційної, дозуючої, експлуатаційної, логістичної, маркетингової, нормативно-законодавчої та екологічної). В останні роки зростає актуальність використання лазерів у пакувальній промисловості, а найбільш актуальними є розробка технологій, що ґрунтуються на застосуванні лазерів та обладнання для таких технологічних процесів. Метою роботи є вивчення новітніх технологій виготовлення пакувальної продукції методами лазерної обробки з дерево-волокнистих матеріалів, підбір режимів та устаткування, виявлення технологічних закономірностей лазерного розрізування та гравіювання, які використовуються при виготовленні пакувальної продукції.

Основна частина

Починаючи з 1960-их років від винайдення першого лазера, концепція його швидко розвивається і сьогодні використовується для багатьох цілей. Лазерне світло застосовується в інформаційних технологіях, медичній практиці і, звичайно ж, у матеріальній обробці. Його унікальні властивості – висока пікова потужність в ультракоротких імпульсах, коротка довжина хвилі в діапазоні піко- і фемтосекунд та малі розміри у нанометровому діапазоні демонструють високу роздільну здатність вимірювання та виражений колір. У матеріальній обробці лазерні процеси ще не досягли свого піку. Сучасне виробництво неможливо уявити без такої унікальної технології генерування енергії, як лазер – надзвичайно потужне джерело випромінювання та інструмент безконтактної обробки різноманітних матеріалів. Далеко неповний перелік сфер застосування наведений на рис. 1.

Наука	Військова справа	Медицина
Спектроскопія	Лазерна зброя	Хірургія
Вимірювання відстаней	Електрооптичні перешкоди	Косметологія
Фотохімія	Цілевказівники	Гінекологія
Намагнічування	Лазерний приціл	Дерматологія
Інтерферометрія	Розвідка	Точкове зварювання тканин
Голографія		Діагностика
Термоядерний синтез	Промисловість і побут	
Як якісні джерела монохроматичного когерентного світла	Розрізування, гравіювання, маркування, зварювання, наплавлення	
	CD, DVD-програвачі, принтери, дисплеї	
	Фотолітографія, нанесення штрихкодів	
	Оптичний зв'язок, системи навігації	
	Маніпуляції мікрооб'єктами	

Рисунок 1 – Сфери застосування лазерного випромінювання

Всі лазери складаються з трьох основних частин:

- активного (робочого) середовища;
- системи накачування (джерело енергії);
- оптичного резонатора (може бути відсутнім, якщо лазер працює в режимі підсилювача).

Кожна з них в роботі лазера виконує свою певну функцію.

Існує чотири загальноприйнятих класифікації лазерів, які розрізняються за активним середовищем, вихідною потужністю, режимом роботи та шириною імпульсу. Відповідно до активного середовища лазери високої потужності можна розділити на газові, рідинні, твердотільні, на парах металів та інші типи лазерів (рис. 2).

Види лазерів	
Газові: - вуглекислотний (CO₂) - аргоновий - криптоновий - ксеноновий - азотний - фтористо-водневий - киснево-йодний - на монооксиді вуглецю (CO) - ексімерний - гелій-неоновий - хімічний лазер на кисневій і йодовій	Твердотільні: - оптоволоконний - рубіновий - алюмо-ітрієвий з легуванням неодимом, тулієм, ітербієм, гольмієм - на фториді ітрію-літію - на ванадаті ітрію - на неодимовому склі - титан-сапфіровий - церій-легований літій-стронцій (або кальцій)-алюмо-фторидний - на олександриті з легуванням хромом - на фториді кальцію, легуваному ураном
На парах металів: -гелієво-кадмієвий -гелієво-ртутний -гелієво-селеновий -на парах міді -на парах золота	Інші типи: - напівпровідниковий лазерний діод - на барвниках - на вільних електронах - псевдо-нікелево-самарієвий - Лазер на центрах забарвлення

Рисунок 2 – Класифікація типів лазерів

Класифікація за активним середовищем (робочою речовиною): середовище підсилення лазера включає газ, рідину та тверду речовину, а специфічне середовище підсилення визначає довжину хвилі лазера, вихідну потужність і область застосування. Газові CO₂-лазери є типовими для газу, а рубінові, напівпровідникові, волоконні та YAG-лазери – для твердих тіл.

Газовий лазер є першим лазером, який реалізував своє застосування в промисловості. Прикладами газових лазерів є CO₂-лазер, He-Ne-лазер, аргоновий лазер та інші. Вуглекислотний CO₂-лазер виявився найбільш корисним джерелом для різних способів оброблення матеріалів, що вимагають високої потужності (кВт),

серед них: зварювання, різання і свердління. Лазери на рідинних середовищах, у тому числі лазери на барвниках, налаштовуються у широкому спектральному діапазоні у видимій і близькій ІЧ області. Вони є найбільш поширеними джерелами в спектроскопії.

Твердотільні лазери, особливо YAG:Nd^{3+} , є найбільш корисними джерелами лазерного випромінювання для застосувань, що вимагають менших значень потужності, в порівнянні з CO_2 -лазерами: маркування, гравіювання, відновлення провідників і шаблонів (масок). Твердотільні лазери компактніші, ніж газові, їх оптичні системи засновані на поширених складових. YAG -лазери можуть працювати в неперервному, імпульсному режимі, у режимі модуляції добротності і у режимі синхронізації мод, при цьому тривалість імпульсів випромінювання лежить у межах від пікосекунд до мілісекунд. Гнучкість YAG -лазерів зумовила їх широке використання, а здатність багатьох ефективних нелінійних кристалів працювати із властивими ним робочими частотами зробила їх найпоширенішими серед інших типів лазерів [6].

За довжиною хвилі лазерного випромінювання його можна розділити на інфрачервоний лазер, лазер видимого діапазону, ультрафіолетовий лазер тощо (рис.3). Матеріали з різною структурою можуть поглинати різні довжини хвиль світла. Наприклад, метали мають вищу швидкість поглинання ближнього інфрачервоного світла, а неметали краще поглинають довжини хвиль (10,6 мкм), що випромінюється CO_2 -лазерами.

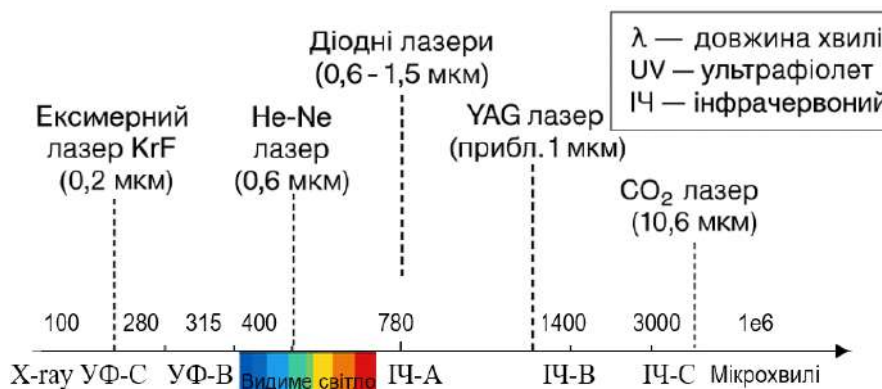


Рисунок 3 – Спектр електромагнітного випромінювання лазерів

Довжини хвилі лазерів:

- Ексимерний лазер KrF (0.2 мкм);
- He-Ne лазер (0.6 мкм);
- Діодні лазери (0.6–1.5 мкм);
- YAG лазери (прибл. 1 мкм);
- CO_2 лазер (10.6 мкм).

За вихідною потужністю лазери поділяються на низьку потужність (нижче 1000 Вт), середню потужність (1000-3000 Вт) і високу потужність (вище 3000 Вт); Однак діапазон потужності, визначений різними виробниками, також відрізняється, і в галузі немає єдиних специфікацій. Різні лазери з різною потужністю підходять для різних сфер застосування.

За режимом роботи його можна розділити на безперервний і імпульсний лазер. Безперервний лазер випромінює на постійній основі, тобто, світловий промінь не змінюється протягом усього часу роботи. Характеризується стабільною роботою та високим тепловим ефектом. Імпульсний лазер – це тип лазера, який генерує повторювані імпульси світла з високою піковою потужністю і малим тепловим ефектом.

За тривалістю імпульсу імпульсні лазери можна розділити на мілісекунди, мікросекунди, наносекунди, пікосекунди та фемтосекунди. Загалом, чим коротший час імпульсу, тим вища енергія окремого імпульсу, тим вужча ширина імпульсу та вища точність обробки [7].

Типові характеристики лазерних систем наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики лазерних систем

Характеристика	Газовий CO ₂	Твердодільний Nd:YAG	Дисковий Yb:YAG	Волоконний Yb:YAG
Типовий параметр пучка (ВРР) (мм·мрад)	5	12	10	12
Типовий діаметр волокна (мкм)	–	400–1000	200	100–200
Типова максимальна вихідна потужність (кВт)	20	6	8	20
Ефективність (%)	5–8	10–20	10–20	20–30

Абревіатура YAG (Yttrium Aluminum Garnet (ітрій-алюмінієвий гранат) – кристал, що виступає активним середовищем лазера. Лазер Yb:YAG – ітрій-алюмінієвий гранат, легований іонами та тербію, який здатний генерувати лазерне випромінювання в ближньому інфрачервоному спектрі.

Різні типи лазерів використовують в якості робочої речовини різноманітні матеріали:

- газові лазери – газ;
- твердотільні – іони металів, які здатні виробляти стимульоване випромінювання. Зазвичай застосовують кристали: рубін, корунд, алюмінієвий гранат та інші;
- лазери на барвниках – розчин, який утворюється при розчиненні деяких органічних барвників в рідинах, таких як етанол, метанол або вода;
- напівпровідникові, також відомі як лазерні діоди, – напівпровідникові матеріали, наприклад арсенід галію, сульфід кадмію та інші;
- оптоволоконні лазери – скловолокно, леговане рідкоземельними елементами;
- ексимерні лазери – двохатомні ексимерні молекули (найчастіше аргон, ксенон чи криптон). Це короткоживучі сполуки атомів благородних газів один з одним, з галогенами або з киснем. Під дією напруги цей газ утворює нестійкі сполуки з галогенами – фтором чи хлором. У результаті розпаду молекул з'являється спрямований пучок УФ-випромінювання [8].

Пакування з дерево-волокнистих матеріалів, таких як фанера (рис. 4, а) і ХДФ (рис. 4, б) виготовляють методами лазерної обробки – лазерним розрізуванням (рис.4) і лазерним гравіюванням (рис. 5).



а



б

Рисунок 4 – Пакування з дерево-волокнистих матеріалів, виготовлене лазерним розрізуванням: а – фанера; б – ХДФ



а



б

Рисунок 5 – Пакування з дерево-волокнистих матеріалів, де виготовлення кришки здійснене лазерним гравіюванням: а – фанера; б – ХДФ

Лазерне розрізування – це один із безконтактних методів, що базується на процесах термоенергетичної обробки. Використовують для металів, таких як титан, нержавіюча сталь, алюміній та алюмінієві сплави, а також застосовується до неметалевих матеріалів, таких як деревина, скло, пластик, кераміка та композити у різних галузях промисловості. Наразі визнано три варіанти технології лазерного розрізування: розрізування плавленням в інертному газі, розрізування плавленням в реактивному газі та розрізування випаровуванням. Промислове лазерне розрізування здійснюється шляхом фокусування великої кількості енергії на певних ділянках. Під час процесу розрізування велика кількість тепла, що виробляється лазером, плавить або випаровує матеріал у робочій зоні. Щоб видалити матеріал, що утворюється в результаті взаємодії лазерного променя з заготовкою, використовуються захисні гази, такі як кисень, CO_2 , азот або гелій [9, 10].

Лазерне розрізування має безліч переваг, включаючи безконтактність, високу швидкість, гнучкість і здатність різати різні матеріали з мінімальними відходами. Процес контролюється комп'ютером, що забезпечує точність і зменшує втручання людини, а низькі експлуатаційні витрати та короткий час налаштування підвищують ефективність. Однак, лазерне розрізування має такі обмеження, як розрізування світло-відбиваючих металів, вплив тепла, що призводить до вузької зони термічного впливу, та відносно високі початкові

капітальні витрати. При обробці різноманітних матеріалів важливо визначити ідеальні параметри розрізування на основі взаємодії випромінювання, матеріалу заготовки та параметрів розрізування. Лазерне розрізування – це складний процес, який контролюється багатьма змінними, взаємодія яких непередбачувана. Вхідні параметри процесу лазерного розрізування можна розділити на три категорії: використовувана лазерна система, заготовка та параметри процесу.

Вхідні параметри.

Лазерна система:

- максимальна вихідна потужність лазера;
- якість променя.

Параметри заготовки:

- тип матеріалу;
- товщина матеріалу.

Параметри обробки:

- потужність лазера;
- швидкість різання;
- тип і тиск газу;
- частота;
- позиція фокусу;
- діаметр фокусної точки;
- фокусна відстань;
- діаметр сопла та відстань.

Вихідні параметри:

- шорсткість поверхні;
- геометрія прорізу;
- цілісність поверхні;
- зона термічного впливу;
- швидкість знімання матеріалу [11].

Лазерне гравіювання – це метод нанесення зображення на предмет за допомогою сфокусованого лазерного променя. Світло від випромінювача передається на лінзу, яка фокусує його в найтонший промінь, за допомогою якого і відбувається процес гравіювання

Висновки

Дослідження, пов'язані з лазерами, активно сприяють впровадженню інноваційних виробничих технологій, які спрямовані на покращення якості продукції, проектування багатоматеріальних компонентів та підвищення економічних переваг. Різноманітність типів та застосувань лазерів призвела до різних дослідницьких зусиль, спрямованих на вивчення та оптимізацію впливу лазерів на матеріали.

На основі проведеного дослідження виявлено що:

- лазерна обробка поверхні покращує такі властивості матеріалів, як міцність, твердість та хімічна стійкість, і пропонує контрольований метод для покращення характеристик поверхні;
- лазерне розрізування пропонує переваги безконтактної обробки, високу швидкість та гнучкість, ефективність обробки твердих та високоміцних матеріалів. Важливо при цьому встановити відповідні параметри лазера для досягнення очікуваних механічних властивостей матеріалу, обробленого лазером;
- лазерне гравіювання знаходить універсальне застосування при оздобленні пакувальної продукції невеликими накладками при мінімальних затратах.

Список літератури.

1. Буторіна, В.Б. (2023). Розвиток ринку пакувальних матеріалів в Україні: товарознавчий аспект. Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Економічні науки, 5 (72), 88-93. <https://doi.org/10.32689/2523-4536/72-13>.
2. Кохан, А.А., & Кривопляс-Володіна, Л.О. (2024). Перспектива застосування структурно-параметричного синтезу для проєктування функціональних модулів машин-автоматів пакування штучних харчових продуктів. Тренди Lean-виробництва та пакування харчової продукції. (с. 57-59).
3. Іванов, М. (2024). Управління фінансовою стійкістю підприємств пакувальної галузі в сучасних умовах: виклики та можливості. Вчені записки Університету «КРОК», 3(75), 156-164. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2024-75-156-164>.
4. Біловодська, О.А. (2016). Пакування в процесі інноваційної діяльності як складова управління розподілом товарів. Маркетинг і менеджмент інновацій, (4), 31-42. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi_2016_4_4.
5. Середницька, Л.П. (2019). Світовий досвід розвитку екологічно чистої упаковки товарів. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського, 30(69), 6, Ч.2, 94-97. <http://ir.vtei.edu.ua/card.php?id=26595>.
6. Шуайбов, О.К. (2009). Лазерні джерела випромінювання та їх застосування в мікроелектроніці. Навчальний посібник. https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/20030/1/Methodicka54_druc.pdf.
7. Класифікація лазерів. <http://ua.oem-laser.com/info/classification-of-lasers-83349866.html>.
8. Види лазерів у металообробці: принцип роботи, методи класифікації. <https://martensit-plus.com/vydy-lazerov/>.
9. Naresh, & Khatak, P. (2022). Laser cutting technique: A literature review. Materials Today: Proceedings, (56), 2484-2489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.250>.
10. Wardhana, B.S., Anam, K., Ogana, R.M., & Kurniawan, A. (2019). Laser Cutting Parameters Effect on 316L Stainless Steel Surface. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (494), 012041. IOP Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012041>.
11. Anghel, C., Gupta, K., & Jen, T. (2020). A Review on Laser Beam Cutting. Proceedings of the 5th NA International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 3168-3178.

ТЕХНІЧНІ ТА ТВОРЧІ АСПЕКТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АНІМАЦІЇ

Дейнеко Ж.В.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

Зелений О.П.

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

Криворучко М.О.

магістр, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** За останні роки анімаційний дизайн став частиною сучасної візуальної культури. Це діяльність, що використовується в рекламі, освіті, бізнесі, іграх, телебаченні. Метою роботи є систематизація сучасних знань про комп'ютерну анімацію, аналіз проблем, пов'язаних із технічними та творчими аспектами її створення, а також розробка рекомендацій для вдосконалення процесів анімації. Розглянуто ключові виклики, з якими стикаються фахівці, такі як створення унікального візуального стилю, баланс між реалістичністю та фантазією, а також технічна оптимізація процесів. Проаналізовано взаємозв'язок технічних рішень і творчих підходів у 2D- та 3D-анімації. Запропоновано шляхи вдосконалення методів створення анімації, які сприяють розв'язанню актуальних проблем галузі та розширенню її можливостей у мистецтві, освіті та індустрії розваг.*

***Ключові слова:** КОМП'ЮТЕРНА АНІМАЦІЯ, АНІМАЦІЙНИЙ КОНТЕНТ, МОУШЕН-ДИЗАЙН (MOTION-DESIGN), РІГГІНГ, ТРЕНД, РЕНДЕРИНГ, СТОРІТЕЛІНГ, КЛІПОВЕ МИСЛЕННЯ, ШЕЙП, ЕКШЕН, ТАРГЕТИ.*

Вступ

Комп'ютерна анімація є однією з найперспективніших галузей сучасних цифрових технологій, що стрімко розвивається. Її технічний і творчий потенціал змінює уявлення про візуальне мистецтво, відкриваючи нові горизонти для індустрій розваг, освіти, реклами та наукових досліджень. Завдяки технічному прогресу, створення анімаційного контенту стає все більш доступним, але водночас вимагає глибокого розуміння як технологічних, так і творчих аспектів. У цьому контексті важливо не лише забезпечити якість зображень та реалістичність рухів, а й розвивати методи автоматизації, інноваційні підходи до моделювання та впроваджувати нові алгоритми для оптимізації процесу. Однак попри очевидні досягнення, галузь стикається із низкою викликів, які потребують глибокого осмислення та вирішення.

Метою цієї монографії є систематизація сучасних знань про комп'ютерну анімацію, аналіз проблем, пов'язаних із технічними та творчими аспектами її створення, а також розробка рекомендацій для вдосконалення процесів анімації.

Швидке впровадження штучного інтелекту, машинного навчання та автоматизованих інструментів у процес створення анімації актуалізує дослідження нових підходів до її розробки. Реалістичність та емоційна виразність персонажів, зручність і ефективність роботи з рігтами (кістками, каркасами) для анімації, адаптивність моделей до різних сценаріїв і платформ стають важливими аспектами конкурентоспроможності в індустрії. Одночасно підвищуються вимоги до художнього стилю, який повинен залишатися впізнаваним, привабливим і відповідати сучасним культурним тенденціям [1-4].

Актуальність теми визначається стрімким розвитком комп'ютерних технологій і зростаючою потребою в якісній анімаційній продукції. В умовах конкуренції на ринку анімаційних фільмів і відеоігор, підвищуються вимоги до реалістичності руху, деталізації персонажів і об'єктів, а також до інноваційного підходу у візуальному сторітелінгу. Окрім того, використання анімації в освітніх і наукових проєктах також зростає, адже вона дає змогу наочно демонструвати складні концепції і процеси.

Серед ключових проблем, з якими стикаються творці комп'ютерної анімації, варто виділити технічні та творчі виклики. З технічного боку, створення анімації потребує значних обчислювальних ресурсів, особливо якщо йдеться про реалістичну тривимірну графіку. Рендеринг сцен з високою роздільною здатністю та фізично коректним освітленням часто є надзвичайно затратним процесом. Також існують проблеми, пов'язані з оптимізацією моделювання руху, симуляцією природних явищ (води, вогню, диму) та реалістичною анімацією персонажів.

З творчого боку, основною складністю є створення візуального образу, який зможе одночасно захопити увагу глядача і передати задум автора. Це потребує синтезу художнього бачення і технологічних знань. Крім того, зростає значення таких аспектів, як культурна автентичність зображених персонажів і подій, етичність контенту та його відповідність запитам сучасної аудиторії.

Основні проблеми створення комп'ютерної анімації можна розділити на кілька категорій:

- технічні виклики: створення складних рігтів для персонажів, які поєднують простоту використання з гнучкістю та багатофункціональністю; обмеження швидкості рендерингу та високі вимоги до обчислювальних ресурсів; інтеграція штучного інтелекту для генерації рухів, які виглядають природно і відповідають законам фізики;

- творчі аспекти: розробка оригінального візуального стилю, який відповідатиме художньому задуму; синтез традиційних прийомів анімації з інноваційними технологіями; підтримка емоційної виразності персонажів через реалістичну міміку та рухи;

- організаційні та освітні проблеми: відсутність доступу до універсальних інструментів або платформ, які дозволяють інтегрувати різні етапи розробки; недостатній рівень підготовки фахівців, особливо в аспектах, що поєднують творчість і технології.

Однією з визначальних характеристик анімації є її здатність передавати складні ідеї та емоції у вигляді візуального оповідання [2, 3]. Створюючи динамічних персонажів та довкілля, анімаційні ролики можуть залучити аудиторію до процесу, який неможливий під час використання статичних зображень чи тексту. Анімація може бути використана для передачі гумору, драми і навіть соціальних коментарів, що робить її універсальним та потужним видом мистецтва.

Мета та задачі дослідження

Метою монографії є систематизація знань у галузі комп'ютерної анімації, дослідження технічних і творчих аспектів процесу її створення, а також формулювання рекомендацій для подолання існуючих проблем.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Визначити основні технічні труднощі у створенні анімації, зокрема обчислювальну складність і особливості використання програмних засобів.

2. Проаналізувати творчі виклики, що постають перед фахівцями, такі як створення унікального візуального стилю та збереження балансу між реалістичністю і фантазією.

3. Дослідити взаємозв'язок технічних і творчих аспектів у процесі створення комп'ютерної анімації. Визначити основні технічні труднощі у створенні анімації, зокрема обчислювальну складність і особливості використання програмних засобів.

4. Запропонувати шляхи вдосконалення підходів до розробки анімації, які дозволять вирішувати актуальні проблеми галузі.

5. Провести огляд сучасних інструментів для створення комп'ютерної анімації, таких як рігтінг, автоматизовані системи руху та генерація виразів обличчя.

6. Вивчити роль алгоритмів штучного інтелекту у вдосконаленні процесів анімації, зокрема в автоматизації рутинних завдань.

7. Дослідити взаємозв'язок між технічними й художніми аспектами анімації, зокрема як технології можуть підсилити емоційний та художній вплив анімаційного продукту.

Комп'ютерна анімація – це синтез мистецтва та технологій, який вимагає постійного вдосконалення технічних рішень та інноваційних підходів. Творчі й технічні виклики, що постають перед дизайнерами, художниками, митцями, є одночасно джерелом нових можливостей для галузі. Унікальна здатність анімації передавати емоції, ідеї та створювати захоплюючі візуальні історії забезпечує її невід'ємне місце у сучасному світі. Розвиток технологій, таких як штучний інтелект та інтерактивні інструменти, відкриває перед фахівцями нові горизонти, але водночас підвищує вимоги до їхньої майстерності. В результаті анімація стає універсальним засобом комунікації, що знаходить своє застосування у мистецтві, науці, освіті та розвагах.

Таким чином, анімація не лише є потужним засобом візуального мистецтва, але й виступає ключовим інструментом комунікації, маркетингу та освіти. Її здатність адаптуватися до нових технологій та викликів сучасного суспільства робить її невід’ємною частиною глобальної культури.

Основна частина

Постановка задачі та основні напрями розвитку анімації

Анімація стала невід’ємною частиною сучасної медіакультури, яка глибоко проникла у різні сфери діяльності й охопила різноманітну аудиторію. Вона представлена в художніх і документальних фільмах, рекламі, освітніх матеріалах, комп’ютерних іграх і навіть у додатках віртуальної реальності. Сьогодні нікого не здивувати анімованими вставками, які створюють яскраві фантастичні світи або надають реалістичності персонажам. Геометричні форми, що динамічно змінюються в моушен-дизайні, захоплюють увагу та буквально занурюють глядача у гіпнотичний транс.

Телебачення, соціальні мережі й освітні установи активно використовують анімацію для різноманітних цілей: від розваг до привернення уваги до важливих соціальних питань чи передачі складної інформації у доступній формі. Наприклад, у сфері освіти дедалі частіше використовуються інтерактивні анімовані модулі, які допомагають учням краще зрозуміти складні концепції, такі як процеси в природі чи механізми роботи технічних пристроїв. Моделі клітин, симуляції природних процесів чи навіть демонстрації історичних подій набувають нового виміру завдяки інтерактивності. Такий підхід робить навчання цікавішим і сприяє кращому запам’ятовуванню матеріалу.

Завдяки універсальності анімація здатна захоплювати людей будь-якого віку та професій. Її чарівна властивість «оживляти» об’єкти й події робить її інструментом, що впливає на емоції та уяву глядачів. Цей ефект пов’язаний із самим поняттям «анімація», яке походить від латинського *anima*, що означає «душа» [5]. Це слово яскраво передає сутність процесу, адже анімація буквально «надає душу» статичним зображенням.

Історично анімація виникла як технологія множення кадрів – процес, який раніше називали «мультиплікацією» (від латинського слова, що означає «множення»). Проте сучасне розуміння анімації виходить за межі механічного розмноження зображень і стає потужним інструментом творчості. Наприклад, у 1928 році Уолт Дісней створив першого популярного анімаційного персонажа – Міккі Мауса. Його «душа» завоювала серця мільйонів людей, а сам образ досі є впізнаваним у всьому світі [3-5].

Феномен «оживлення» анімації досліджували такі видатні автори, як Сергій Ейзенштейн, який бачив у ній нову форму мистецтва, що дозволяє розкрити невидимі зв’язки між рухом і емоціями. Юрій Норштейн, творець легендарного фільму «Їжачок у тумані», де прості образи набули глибокого філософського змісту. Для них анімація була способом розкриття емоцій і

створення нової реальності. Така здатність анімації поєднувати технічну досконалість із художньою унікальністю робить її унікальним явищем.

Анімацію також варто розглядати з технічної точки зору, оскільки вона вимагає складних рішень у сфері програмування, математичного моделювання та апаратного забезпечення. Наприклад, студія Pixar створила спеціалізовані алгоритми для симуляції руху волосся, води чи одягу, які застосовувалися в таких фільмах, як «Корпорація монстрів» та «Крижане серце». Це підкреслює, що анімація є синтезом мистецтва та інженерії.

З огляду на величезний потенціал анімації, її можна вважати не лише мистецтвом, але й інноваційною технологією, яка розвивається на стику науки, творчості та інженерії.

За останні тридцять років анімація зазнала значних трансформацій, перетворившись із засобу розваги для дітей на універсальний інструмент мистецтва, комунікації та маркетингу. Хоча традиційно анімацію сприймали як дитячий жанр, ще в 80-х і 90-х роках з'являлися мультсеріали для дорослої аудиторії, які висміювали соціальні проблеми й пороки суспільства. Знаковими прикладами таких проєктів стали «Сімпсони» у США, що поєднували сатиру з гумором, і серіал «Козаки» в Україні [6, 9], який використовував анімацію для популяризації культурних традицій та гумористичного осмислення сучасності.

Після феноменального успіху «Сімпсонів» стало очевидним, що анімація має набагато ширший потенціал, ніж дитячі розваги. Цей жанр швидко знайшов застосування в рекламі, дозволяючи брендам привертати увагу аудиторії різного віку. Одним із яскравих прикладів стала рекламна кампанія Nestlé з персонажем-кроликом Квіккі, який рекламував продукцію «Nesquik» (рис. 1). Завдяки цьому анімаційному ролику образ кролика став настільки популярним серед дітей, що вони масово просили батьків купувати шоколадні кульки, батончики чи какао. Анімація, яка виступила в ролі маркетингового інструменту, зробила бренд впізнаваним і бажаним.



Рисунок 1 – Кролик Квіккі багато років приваблював увагу дітей та батьків

Особливість анімації полягає в її здатності виділятися серед потоку стандартного відеоконтенту. На відміну від звичайної реклами, яка часто

викликає роздратування, анімаційні ролики сприймаються як розважальний жанр, здатний захоплювати і викликати позитивні емоції. Крім того, анімація значно розширює виражальні можливості реклами. У ній можна реалізувати найсміливіші фантазії: змусити ожити чайний пакетик, змалювати співаючу кукурудзу з банки Bonduelle чи створити танцюючий холодильник.

Анімація дозволяє рекламувати не лише функціональні переваги товару, але й цінності бренду, візуалізуючи їх у творчій формі. Наприклад, компанія Coca-Cola використовувала анімацію для створення різдвяної кампанії з участю полярних ведмедів, які стали символом свята та сімейного затишку. У 2000-х роках бренд M&M's розробив анімованих персонажів-шоколадних драже, які досі асоціюються з веселістю та індивідуальністю бренду [7].

Таким чином, анімація стала не лише інструментом художньої творчості, але й важливим засобом взаємодії з аудиторією, що дозволяє брендам та компаніям створювати оригінальні ідеї, які залишаються в пам'яті на довгі роки.

З розвитком комп'ютерних технологій анімація почала проникати в різні сфери, від мистецтва до бізнесу, стаючи потужним інструментом комунікації та візуалізації. Її активно використовують для представлення даних, зокрема у звітності. Завдяки анімації «сухі» цифри оживають: на очах у глядачів ростуть стовпчики діаграм, динамічно змінюються графіки виробничих процесів, з'являється жива, інтерактивна інфографіка [8]. Таке подання даних не тільки спрощує їхнє розуміння, але й викликає емоційний відгук у глядачів.

Анімація також увійшла в освітній процес, де її використовують для створення інтерактивних і захоплюючих матеріалів. Сучасні молоді люди, які виросли в умовах візуальної культури, мають так зване кліпове мислення [9]. Цей термін походить від англійського слова "clip", що означає фрагмент тексту або відео. Вони сприймають інформацію короткими, яскравими візуальними образами, замінюючи довгі фільми серіалами, газети – соціальними мережами, а довгі статті – заголовками. Щоб привернути увагу сучасної аудиторії, необхідно використовувати яскраві та запам'ятовувані засоби комунікації. Анімаційний контент чудово справляється з цим завданням, забезпечуючи динаміку й емоційність подачі інформації.

У XXI столітті анімація трансформується, розширюючи свої функції та змінюючи підходи до її створення. Сьогодні вона розглядається не лише як засіб «оживлення» образів, а й як просторово-часове мистецтво, яке здатне створювати художні образи за допомогою руху будь-яких об'єктів [10].

Сучасні дослідники виділяють два основні напрями розвитку анімації.

1. Некомерційна анімація – це авторське, творчо-орієнтоване мистецтво, яке зосереджене на пошуку нових виразних форм і засобів для реалізації ідей автора. Прикладом може бути фестиваль авторської анімації «LINOLEUM», де митці презентують експериментальні короткометражні роботи. Фестиваль – це найбільший показ авторської анімації в Україні. Крім конкурсних програм, фестиваль складається з серії майстер-класів та лекцій від професіоналів індустрії, показів експериментальної анімації та відеоарту, тематичних

позаконкурсних скринінгів та дитячої програми. Головна мета показати, що анімація це не тільки розвага для дітей, але й вид сучасного мистецтва, де за допомогою нових технологій можна піднімати актуальні теми, залучаючи до цього широку інтелектуальну аудиторію.

2. Комерційна анімація – анімаційний продукт, орієнтований на масову аудиторію, створюється з метою отримання прибутку. Вона включає мультфільми, рекламні ролики, а також анімацію для відеоігор. Відомий приклад – анімаційна реклама M&M's, у якій персонажі-драже стали символом бренду та підвищили продажі.

В останні десятиліття, з розвитком комп'ютерних технологій, появою соціальних мереж та інших каналів комунікації, зміною способів сприйняття інформації та потреб, анімація трансформується. Поряд із некомерційною та комерційною анімацією з'являється ще один її вид анімації – motion-design (моушен-дизайн).

Технологічні та когнітивні аспекти моушен-дизайну

Моушен-дизайн, як сучасний напрям у галузі цифрового мистецтва, поєднує технологічні досягнення, художні ідеї та психологічні принципи сприйняття. Його роль виходить за межі створення візуально привабливого контенту, адже цей напрям вимагає наукового підходу до аналізу глядацької уваги, оптимізації технічних процесів і вивчення впливу руху на когнітивне сприйняття [10, 15]. Моушен-дизайн є синтезом кількох дисциплін: комп'ютерна графіка – технології створення візуальних ефектів, текстур і анімації, що забезпечують реалістичність або стильність рухомих зображень; програмування – для автоматизації процесів, створення інтерактивних елементів та оптимізації рендерингу (наприклад, використання скриптів у Adobe After Effects або інтеграція алгоритмів у Cinema 4D; фізика та математика – для моделювання руху, симуляції поведінки об'єктів і розрахунку траєкторій.

У науковій літературі визначається моушен-дизайн як палітра технологій та інструментів для візуалізації будь-якої ідеї та мети у сфері теледизайну, реклами, медіаресурсів, а також як стиль виробництва медіаконтенту для реклами, для Інтернету, айдентики телеканалів, створення «цифрових декорацій», концертів, презентацій, створення титрів до фільмів [10]. Моушен-дизайн – це візуальний супровід або оформлення якого-небудь інформаційного продукту. Він носить прикладний характер, ніж мистецтво анімації, посилює вплив статичного зображення, яке може бути самостійним продуктом.

Моушен-дизайн – це технологія створення контенту або продукту, анімація – це мистецтво поживавлення образів і предметів. Технологія моушен-дизайну є синтез анімації, дизайну, різних візуальних ефектів, відео, фотографії та багатьох інших. За допомогою моушен-дизайну інформація набуває інтерактивного характеру, а такій візуальній та захоплюючій формі людині легше сприймати та засвоювати інформацію [10].

Одним із ключових аспектів моушен-дизайну є використання технологій для створення складних анімаційних ефектів. Наприклад, у рекламі автомобілів часто застосовують симуляції реалістичних рухів, таких як їзда по нерівній дорозі чи розбризкування води з-під коліс. Ці елементи створюються за допомогою програмного забезпечення, такого як Cinema 4D чи Houdini, що дозволяє імітувати фізичні явища на екрані.

Моушен-дизайн також активно використовує когнітивні принципи сприйняття. Рух є одним із найбільш природних стимулів для людського мозку, що робить динамічний контент особливо ефективним для привернення уваги. Наприклад, у телевізійних заставках (рис. 2) рух елементів, які з'являються на екрані, спонукає глядача концентруватися на ключових повідомленнях. Яскравий приклад – заставка до серіалу Game of Thrones, де рухомі елементи карти світу не лише привертають увагу, але й передають глядачам важливу інформацію про сюжет.



Рисунок 2 – Рухомі елементи карти світу передають інформацію про сюжет (заставка до серіалу «Ігри престолів»)

Сучасний моушен-дизайн інтегрує в себе досягнення штучного інтелекту (ШІ). Наприклад, алгоритми машинного навчання використовуються для автоматизації створення переходів між елементами, оптимізації композиції чи навіть створення анімацій з нуля. У 2021 році Google презентував проект "DeepDream" для автоматичної генерації візуальних ефектів у відео, який знайшов застосування у моушен-дизайні для експериментальних і рекламних проєктів. Важливо зазначити, що моушен-дизайн є не лише технічним, але й художнім процесом. Творці моушен-дизайну часто беруть натхнення з традиційного мистецтва, додаючи нові виміри до класичних концепцій. Наприклад, у рекламі відомого бренду Apple моушен-дизайн використовується для створення мінімалістичних, але водночас дуже емоційних роликів. Динамічні переходи між кольорами та об'єктами підкреслюють інноваційність і естетику бренду.

Іншою важливою складовою моушен-дизайну є інтерактивність. Завдяки таким платформам, як Unity або Unreal Engine, глядачі можуть безпосередньо взаємодіяти з анімованими об'єктами, що додає новий рівень занурення у контент. Наприклад, інтерактивні презентації на виставках або інсталяції в музеях, які реагують на рухи глядача, створюють новий досвід сприйняття інформації. Окрім того, моушен-дизайн активно впроваджується в освіту. Інтерактивні інфографіки та анімаційні відео дозволяють ефективно пояснювати

складні концепції, такі як фізичні процеси чи економічні теорії. Наприклад, освітній проєкт "Kurzgesagt – In a Nutshell" («Коротко кажучи») на YouTube використовує яскраві анімації для популяризації науки, що зробило його одним із найуспішніших освітніх каналів (рис. 3).



Рисунок 3 – Освітній проєкт "Kurzgesagt" («Коротко кажучи»)

Дослідження у сфері когнітивної психології та нейроестетики допомагають визначити, як рух впливає на сприйняття глядача:

- вплив руху на увагу. Рухомі об'єкти природно привертають увагу людини. Це явище використовується в моушен-дизайні для виділення ключових елементів. Наприклад, акцент на бренді у рекламних роликах;
- ефект кліпового мислення. Короткі, яскраві сцени відповідають сучасним трендам у сприйнятті інформації, коли глядач концентрується на фрагментах контенту;
- емоційний вплив. Швидкість і амплітуда руху впливають на емоційний фон. Плавні, спокійні рухи заспокоюють, тоді як різкі й динамічні викликають збудження.

Моушен-дизайн дозволяє ефективніше передавати інформацію завдяки візуалізації складних даних (динамічні графіки та інтерактивні інфографіки забезпечують краще розуміння, ніж статичні зображення); узгодженню руху та інформації (наприклад, у навчальних відео синхронізація руху об'єктів із поясненнями сприяє кращому запам'ятовуванню).

До засобів власне моушен-дизайну належать технології створення та обробки образів, пов'язані з розвитком комп'ютерних технологій. Один з найбільш доступних та популярних способів роботи з анімацією – комп'ютерні програми, в яких створюється комп'ютерна графіка, такі як Adobe Illustrator, Adobe Animate, Adobe After Effects, Blender, Autodesk Maya, Moho Pro та інші. Вони дозволяють створювати вражаючі анімаційні проєкти, які впливають на масову аудиторію.

Моушен-дизайн – відносно новий напрям, що поєднує візуальні технології та інструменти для створення контенту. Моушен-дизайн застосовують у телебаченні, рекламі, медіаресурсах, цифрових декораціях, презентаціях, а також для створення титрів до фільмів [2, 13]. Він має прикладний характер і посилює вплив статичного зображення за допомогою руху.

Моушен-дизайн є синтезом анімації, графічного дизайну, візуальних ефектів, відео та фотографії. Це дозволяє робити інформацію інтерактивною, що

значно полегшує її сприйняття. Наприклад, сучасні освітні платформи, такі як Coursera або Khan Academy, активно використовують моушен-дизайн у своїх відео для пояснення складних концепцій.

Серед популярних інструментів для створення анімації та моушен-дизайну: Adobe Illustrator, Adobe Animate, Adobe After Effects, Blender, Autodesk Maya, Moho Pro та інші програми.

Анімація як витвір мистецтва самодостатня і неутилітарна, а моушен-дизайн завжди є частиною системи комунікацій або просування чого-небудь і має утилітарне призначення. Хочеться зауважити, що мистецтво завжди має свою власну самодостатню ідею, тоді як моушн-дизайн виступає засобом реалізації будь-якої ідеї, що знаходиться поза ним. Анімація як вид мистецтва не може існувати без філософсько-світоглядного змісту, але може заради сенсу пожертвувати унікальністю технічного рішення [16]. Моушен-дизайн – навпаки, виділяє саме технічне рішення, прийом, досліджуючи його можливості та використовуючи їх максимально для досягнення потрібного комунікативного або поведінкового ефекту. Тому в моушен-дизайні пріоритет віддається саме виразності зображення, його яскравості, привабливості, тоді як в анімації вся увага зосереджена на значенні.

Таким чином, анімація та моушен-дизайн стали невід’ємною частиною сучасного світу, пропонуючи безліч можливостей для творчості, комунікації та комерційного успіху. Моушен-дизайн є універсальним інструментом, який поєднує мистецтво, науку та технології. Його унікальна здатність привертати увагу та передавати складну інформацію робить його надзвичайно важливим у сучасній цифровій культурі. Використання передових технологій, таких як штучний інтелект і інтерактивність, дозволяє моушен-дизайну залишатися інноваційним та актуальним інструментом комунікації, освіти й розваг.

Творчі виклики, пов’язані зі створенням анімації

Створення анімації – це не лише технічний процес, але й складне мистецтво, яке вимагає від фахівців постійного пошуку нових ідей, експериментів із візуальними стилями та розв’язання творчих викликів. У сучасній анімаційній індустрії питання унікальності образів і стилю є одним із ключових, оскільки глядачі дедалі частіше звертають увагу на оригінальність, а конкуренція в цій сфері зростає.

Візуальний стиль анімації є її обличчям і водночас основним засобом комунікації з аудиторією. Одним із головних творчих викликів для аніматорів є розробка стилю, який був би впізнаваним, але водночас відповідав би сюжету, тематиці та емоційному наповненню історії. Наприклад, студія Ghibli, заснована Хаяо Міядзакі, відома своїми плавними анімаціями та деталізованими мальованими задніми планами, що створюють унікальний, майже магічний настрій. Водночас, сучасні анімаційні проєкти, такі як Spider-Man: Into the Spider-Verse, демонструють інший підхід: поєднання 3D-анімації з елементами графічного стилю коміксів. Цей експериментальний стиль привернув увагу не

лише шанувальників коміксів, але й широкої аудиторії, отримавши визнання за інноваційність і художню майстерність.

Фахівці також стикаються з необхідністю адаптації візуального стилю до різних платформ і форматів. Наприклад, стиль, що добре працює в кінотеатрі, може виглядати перенасиченим на екранах смартфонів, що вимагає від митців гнучкості у використанні кольорів, текстур і композиції.

Ще одним важливим творчим викликом є пошук балансу між реалістичністю й фантазією. Реалістична анімація забезпечує глядачам відчуття достовірності, що особливо важливо для проєктів, які імітують реальний світ. Наприклад, у фільмах студії Pixar реалістичність рухів і міміки персонажів сприяє емоційному залученню аудиторії. У *Ratatouille* ретельно відтворено рухи кухонного посуду, текстури їжі та поведінку щурів, щоб створити достовірний світ. Однак надмірна реалістичність може знизити магію й фантазію, яка є сутністю анімації. Наприклад, фільм *The Lion King* (2019) [11], створений із застосуванням технології CGI, отримав критику за те, що його надто реалістичні персонажі втратили виразність, яку мали оригінальні мальовані герої. У жанрах фентезі чи фантастики важливо зберігати фантазійність світу, але не втрачати логіки його побудови. Наприклад, у *Avatar* Джеймса Кемерона, хоча світ Пандори виглядає вигаданим, він має внутрішню фізику, що забезпечує йому цілісність і довіру глядача.

Іншим аспектом створення унікального стилю є інтеграція культурних елементів. Художники-аніматори все частіше звертаються до національних традицій і міфології, щоб виділитися серед інших проєктів. Наприклад, *Мавка. Лісова пісня* – український анімаційний фільм, який використовує національні мотиви, щоб передати унікальний дух української культури. Проте робота з культурними темами потребує делікатності, щоб уникнути стереотипізації чи спрощення.

Основні технічні труднощі у створенні анімації

2D-анімація є одним із найстаріших, але водночас найбільш популярних видів анімації, яка залишається затребуваною в багатьох сферах: від кіно та телебачення до реклами, мобільних додатків і відеоігор [3-5, 12]. У процесі створення 2D-анімації нерозривно пов'язані творчі й технічні аспекти. Аніматор має враховувати не лише художню ідею та стиль, а й технічні обмеження та можливості, які визначають кінцевий результат.

Створення сучасної комп'ютерної анімації вимагає значних технічних зусиль та потужних інструментів, що обумовлено складністю процесу. Основною проблемою є обчислювальна складність, яка залежить від типу анімації (2D, 3D, моушен-дизайн, візуальні ефекти) та її масштабу. Окрім цього, важливим аспектом є особливості програмного забезпечення, яке використовується для досягнення поставлених цілей.

Обчислювальна складність у створенні анімації полягає в обробці великих обсягів даних. Наприклад, рендеринг 3D-анімації потребує обчислення фізики

руху, текстур, світла та тіней, що вимагає значної кількості ресурсів. Для реалістичних проектів необхідно враховувати взаємодію об'єктів, симуляцію рідин, газів чи тканин, що ускладнює задачі. В середньому, один кадр високоякісної 3D-анімації може займати години обчислень, а повноцінний фільм – місяці рендерингу навіть на кластері потужних серверів.

Наприклад, при створенні відомого мультфільму «Крижане серце» (Frozen) студія Disney використовувала суперкомп'ютери для симуляції снігу, льоду та тканин. Лише на симуляцію плаща головної героїні під час однієї сцени було витрачено понад 30 годин обчислень [1, 4, 6, 11].

У 2D-анімації складність може бути пов'язана із необхідністю створення великої кількості кадрів вручну або з використанням програм, що автоматизують проміжні переходи між ключовими кадрами. Проте й тут виникають виклики, пов'язані з інтеграцією стилізованої графіки та плавності рухів. Хоча 2D-анімація менш ресурсоемна, ніж 3D, вона все одно може бути технічно складною, особливо якщо включає багатшарові сцени, складні ефекти або велике розмаїття рухів. Наприклад, створення анімації з високим рівнем деталізації, як у мультфільмах студії Ghibli, вимагає обробки величезного обсягу даних, що може бути викликом для стандартного обладнання.

Для створення 2D-анімації використовується спеціалізоване програмне забезпечення, таке як Toon Boom Harmony, Adobe After Effects, Adobe Animate, Moho Pro та інші. Кожна програма має свої особливості, які впливають на процес роботи. Наприклад, Toon Boom Harmony пропонує розширені можливості для ріггінгу, що дозволяє створювати складні кісткові структури для персонажів, але вимагає значного досвіду для ефективного використання.

Одним із технічних викликів є забезпечення плавності руху. У 2D-анімації кожен кадр має бути ретельно промальований або створений за допомогою tweening – технології, яка автоматизує проміжні кадри між ключовими. Наприклад, у програмі Moho Pro використовуються автоматизовані інструменти для плавних переходів, однак вони вимагають точного налаштування, щоб уникнути штучного вигляду.

Різні платформи, такі як мобільні пристрої, телевізійні екрани чи соціальні мережі, мають специфічні технічні вимоги. Наприклад, анімація для Instagram повинна бути оптимізована за розміром і тривалістю, тоді як реклама для телебачення потребує високої роздільної здатності та адаптації до широкоформатних екранів.

Процес створення 2D-анімації є постійним балансом між творчими задумками та технічними можливостями. Наприклад, якщо художник хоче створити унікального персонажа з багатьма деталями, це може ускладнити процес анімації через необхідність промальовувати велику кількість елементів у кожному кадрі. Використання ріггінгу допомагає автоматизувати цей процес, але також обмежує гнучкість рухів персонажа.

Взаємозв'язок технічних і творчих аспектів у 2D-анімації формує основу для створення високоякісного контенту, який одночасно відповідає естетичним і

функціональним вимогам. Творчі ідеї неможливо реалізувати без розуміння технічних обмежень, а технічні досягнення, у свою чергу, розширюють межі художнього вираження. Подальший розвиток технологій, таких як штучний інтелект і автоматизація процесів, дозволяє очікувати нових можливостей для інтеграції технічних і творчих підходів у 2D-анімації.

Технічні проблеми при створенні ріггу персонажів

Основні технічні труднощі у створенні комп'ютерної анімації виникають через обчислювальну складність процесів і необхідність адаптації до різних програмних засобів, які використовуються на різних етапах розробки. Одним із найбільш ресурсоємних процесів є рендеринг [12, 18], тобто фінальне створення високоякісного зображення або відео на основі тривимірних моделей, текстур, світлових ефектів і анімаційних рухів. Для реалістичної анімації, яка включає складні симуляції, наприклад, реалістичну взаємодію світла з поверхнями або симуляцію природних явищ, таких як вода, дим чи тканини, потрібні значні обчислювальні ресурси. Навіть із використанням сучасних графічних процесорів (GPU) обчислення може займати багато годин, що ускладнює робочий процес і вимагає постійної оптимізації.

Важливим аспектом анімації є побудова ріггу – скелетної структури, яка дозволяє анімувати тривимірні моделі. Рігг повинен забезпечувати не тільки реалістичні рухи, але й бути зручним для роботи аніматора. Складність полягає в тому, щоб налаштувати систему так, щоб вона відповідала фізіології персонажа або суті об'єкта анімації, водночас забезпечуючи можливість легкого налаштування та модифікації. Наприклад, для анімації людини потрібно враховувати складну будову кісток, м'язів і суглобів, а для фантастичних істот доводиться розробляти унікальні рішення, що не мають реальних аналогів.

Додаткову складність додає використання різних програмних засобів, таких як Autodesk Maya, Blender, Cinema 4D, Unreal Engine тощо, які часто мають несумісні формати файлів і інструменти. Наприклад, модель, створена в Blender, може втратити частину властивостей, якщо її імпортувати в Unreal Engine, що може вимагати додаткових виправлень і часу. Ще одна проблема – відмінності у підходах до текстуровання, налаштування матеріалів і роботи зі світлом, що ускладнює створення однорідного візуального стилю, особливо в великих проєктах із залученням кількох команд.

Симуляція фізичних явищ також є важливим аспектом, який часто потребує ручного налаштування або розробки спеціальних алгоритмів. Наприклад, для реалістичної симуляції тканини необхідно враховувати взаємодію з іншими об'єктами, такими як тіло персонажа чи вітер. Подібні завдання, як правило, вирішуються за допомогою фізичних симуляторів, однак вони також є обчислювально складними і потребують оптимізації, щоб уникнути зниження продуктивності на етапі рендерингу.

Значну роль ускладнення процесу відіграє потреба в автоматизації. Наприклад, створення натовпу персонажів у сцені потребує застосування

алгоритмів, які дозволяють персонажам взаємодіяти між собою, уникаючи колізій і виглядаючи природно. Подібні завдання вирішуються за допомогою систем типу Houdini або спеціальних плагінів для інших програм, однак їх використання потребує високого рівня технічних знань і додаткового часу на налаштування [14, 17, 23].

Таким чином, основні технічні труднощі у створенні анімації пов'язані із великою обчислювальною складністю процесів, труднощами у створенні ефективного та гнучкого ріггу, адаптацією до програмних засобів і оптимізацією фізичних симуляцій. Для їх подолання необхідна тісна співпраця між програмістами, художниками й аніматорами, а також використання інноваційних технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання, які можуть автоматизувати рутинні завдання й значно підвищити ефективність роботи.

Створення складних ріггів для персонажів, які поєднують простоту використання з гнучкістю та багатофункціональністю, є одним із найбільш технічно складних аспектів комп'ютерної анімації. Рігг – це скелетна структура, що складається з кісток, суглобів, контролерів та інших елементів, яка дозволяє аніматорам керувати рухами персонажів і об'єктів у тривимірному просторі. Завдання побудови такого ріггу полягає в тому, щоб створити систему, яка була б одночасно інтуїтивною для користувача й достатньо потужною для забезпечення всіх необхідних рухів і деформацій.

Найвагомішим фактором при створенні рігу персонажу є його призначення та роль (головна чи другорядна) у майбутньому анімаційному продукті. До факторів, що визначають майбутній функціонал та структуру рігу слід відносити наступні аспекти:

- концепція анімаційного продукту (особливості, що відрізняють стиль та напрям анімації);

- «час життя» – відносна кількість екранного часу персонажа;

- визначений діапазон функціоналу та перелік майбутніх дій персонажу.

Автоматизація процесів, частіше за все, потрібна в роботі над великою кількістю задач, в комплексних проєктах та при великих об'ємах виробництва. Побудова базового скелета в MoHo Pro є ключовим етапом у процесі створення анімаційного персонажа. Основою цього процесу є створення кісток, які забезпечують можливість управління рухами окремих елементів персонажа. У контексті простого персонажа базовий скелет включає мінімальний набір кісток, необхідних для забезпечення основних рухів, таких як згинання рук, ніг, обертання голови чи тіла. Кістки створюються за допомогою інструменту Bone Tool, який дозволяє розміщувати їх у потрібних точках персонажа, формуючи ієрархічну структуру.

Ієрархія кісток є фундаментальним принципом рігінгу. Вона визначає, як рух однієї кістки впливатиме на інші. Наприклад, рух основної кістки тулуба автоматично тягне за собою рух прикріплених до неї кісток рук чи ніг. Такий підхід забезпечує логічність і природність рухів персонажа, а також спрощує процес налаштування. У MoHo Pro створення залежностей між кістками

здійснюється автоматично в процесі їх додавання, але за потреби ці зв'язки можна редагувати вручну [17, 18, 20-24].

Прив'язка векторних точок до кісток є наступним важливим кроком у створенні скелета. У Moho Pro існує декілька методів прив'язки, які забезпечують різний рівень контролю над рухами. Прив'язка точок (Bind Points) дозволяє закріпити окремі векторні точки до певної кістки, що забезпечує точний контроль над деформаціями. Прив'язка шару (Bind Layer) закріплює весь шар до вибраної кістки, що є зручним для роботи з простими елементами. Крім того, автоматична прив'язка (Auto Flexi-Binding) дозволяє системі самостійно визначати вплив кісток на точки, що значно пришвидшує процес роботи з великими об'єктами. Кожен із цих методів має свої переваги та використовується залежно від складності персонажа та вимог до анімації [21, 22].

Побудова базового скелета завершується тестуванням його роботи. Цей етап дозволяє переконатися, що всі кістки функціонують правильно, і що рухи персонажа є природними. У випадку виявлення неточностей здійснюється корекція налаштувань або додаткове редагування прив'язки, щоб досягти бажаного результату. У підсумку, створення базового скелета є основою для подальшого розширення функціональності персонажа, включаючи додавання Smart Bones чи інших інструментів для більш складної анімації.

Основні аспекти при створенні рігтів персонажів.

1. Простий у використанні рігт дозволяє ефективно виконувати свої завдання без необхідності глибоких технічних знань. Це досягається створенням контролерів, які відображаються як інтерактивні елементи. Наприклад, для анімації рук персонажа можуть бути створені контролери у вигляді простих кривих, що забезпечують зручне керування пальцями та зап'ястям.

2. Гнучкість рігту полягає в здатності працювати з різними видами анімації та сценаріями. Наприклад, для персонажів, які виконують як реалістичні, так і стилізовані рухи, рігт повинен підтримувати як фізично коректну симуляцію, так і перебільшені деформації. Для цього додаються спеціальні контролери, які дозволяють змінювати форму або пропорції персонажа, адаптуючи його до різних художніх вимог.

3. Багатофункціональний рігт надає можливість при створенні персонажів виконувати широкий спектр завдань, від основних рухів до складних динамічних ефектів. Наприклад, у сучасних системах часто інтегруються інструменти для автоматизації, такі як контролери інверсної кінематики (ІК), які дозволяють фіксувати кінцівки персонажа в певних положеннях, або автоматичні динамічні деформації для симуляції м'язів і шкіри.

4. Складність створення рігту часто пов'язана із забезпеченням точності деформацій моделі під час руху. Для цього використовуються такі методи, як покращена скітчингова прив'язка (skin binding), корекція за допомогою морф-мішків (blend shapes) або спеціалізованих симуляцій тканин. Наприклад, у рігтах для обличчя складність полягає в створенні природної міміки, яка б враховувала тисячі варіантів комбінацій рухів.

5. Одна з сучасних тенденцій – автоматизація створення рігтів. За допомогою спеціальних плагінів можна значно скоротити час створення базової скелетної структури [14, 17, 19, 20]. Проте автоматичні рішення не завжди відповідають специфічним потребам, і їх доводиться модифікувати вручну.

6. Штучний інтелект і навчання на основі даних. Останні досягнення у сфері штучного інтелекту дозволяють створювати рігги, які автоматично адаптуються до різних моделей персонажів. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть аналізувати топологію сітки і створювати оптимальний рігг із мінімальним втручанням аніматора.

Доволі часто, кінцівки створюються методом відмальовки цілісного векторного шейпу, або окремих шейпів, що поєднані без суглобу, разом зі створенням і налаштуванням екшену для більш гладкого згину кінцівки (рис. 4). Цей спосіб доволі простий в реалізації, проте має обмежений потенціал у позиціонуванні передпліччя в просторі та може мати неякісне відтворення згину кінцівки.

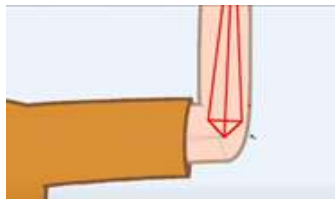


Рисунок 4 – Побудова кінцівки без суглобу

Якщо намалювати разом плече та передпліччя одним шейпом, поставити точки ліктьового згину і прокласти кістки (рис. 5), то при згинанні кісток, у місцях згину одна векторна точка буде заходити за іншу, ламаючи персонажу руку [18, 21].



Рисунок 5 – Згинання шейпів без спеціальних технологій побудови кінцівок

Існує кілька способів розв'язання цієї задачі. Один із них передбачає встановлення певного кута згину для кістки передпліччя та створення для неї екшну. У процесі анімації, при зміні положення кістки від початкового до максимального чи мінімального кута, точки згину коригуються так, щоб уникнути візуального "зламу" руки. Цей підхід дозволяє забезпечити природний вигляд руху кінцівки (рис. 6, а). Другий метод полягає у розподілі кінцівки на три окремі сегменти. Наприклад, для руки це зап'ястя, передпліччя та плече, а для ноги – стопа, гомілка і стегно. У місцях згинів, таких як лікоть, коліно чи кисть, додається додаткове коло. Діаметр кола відповідає товщині кінцівки, а його колір і контур збігаються з параметрами відповідної частини тіла. Інструментом «Hide Edge» приховується обведення тієї частини кола, яка звернена до плеча чи стегна. Коло розташовується за глибиною під передпліччям чи гомілкою. Це забезпечує плавний перехід між сегментами руки при її згинанні, відкриваючи лише ту частину кола, яка необхідна для природного вигляду руки (рис. 6, б).

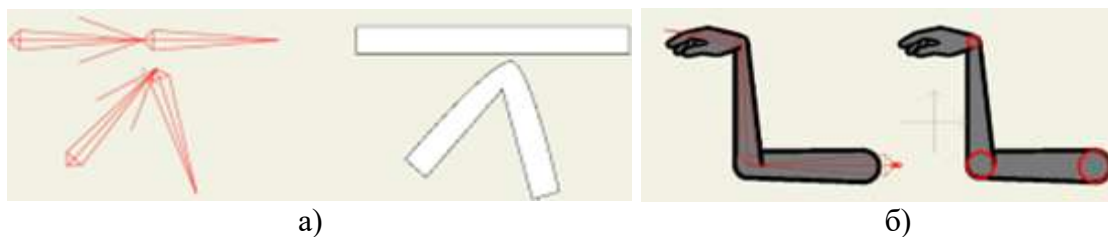


Рисунок 6 – Побудова кінцівок в скелеті та результат згину шейпу

Для коректної роботи цього методу, у зоні суглобів додаються допоміжні кістки, які забезпечують відсутність деформації під час руху кінцівки. Такий підхід дозволяє уникнути небажаних викривлень і зберегти естетичність рухів. Цей спосіб надає змогу реалізовувати згинання кінцівок без жодних деформацій місць згину та можливістю контролювати зміну порядку шарів для позиціонуванні передпліччя перед іншими шарами. Він набув широкої популярності й отримав назву «просуниті» кінцівки. Цей метод вирізняється складністю розробки, бо вимагає математичної точності в побудові векторного малюнку кінцівки, проте має значну перевагу в функціоналі та натуралістичній візуальній складовій (рис. 7).

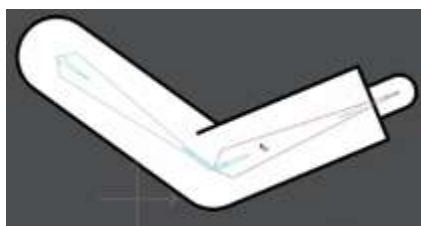


Рисунок 7 – Додаткові кістки для усунення деформації суглобів

Важливою функцією рігу є здатність закріплювати рухомий центр, для більш зручного процесу створення поз персонажа і точок опору в ногах або руках. Для цього у MoHo Pro є можливість створити так звані «target bones». Ці кістки впроваджують до певного ланцюжка кісток інверсну кінематику. Вони здатні змінювати параметри материнських кісток через зміну власної позиції (або через відсутність зміни позиції). При переміщенні таргетів, кістки змінюють свої позиції, намагаючись торкнутися свого таргету. Це надає змогу рухати лише таргет ноги (рис. 8), щоб усі кістки ноги рухались разом, згинаючи її та переставляючи в певну позицію.



Рисунок 8 – Таргети нiг

Ця функція корисна не лише у випадку зі скелетом для ніг, що мають залишатися на певній позиції при зміні положення центру тяжіння персонажа, а й для рук, що спрощує формування їх позицій. В цьому випадку кістка передпліччя буде змінювати нахил і довжину за умови збільшення коефіцієнту розтягування при інверсній кінематиці (IK stretching) в кістках ніг, залежно від положення кістки-таргету.

Окрім основних кісток, що забезпечують рухи частин тіла персонажа, активно використовуються так звані "Smart Bones" – спеціальні кістки, які під час руху активують наперед заданий набір дій для окремих елементів. Завдяки цим кісткам процес роботи аніматора значно спрощується та автоматизується.

Для створення "Smart Bone" додається окрема кістка, після чого в панелі Actions створюється новий сценарій для неї. У режимі редагування цього сценарію виконується маніпуляція з кісткою, яка відповідатиме за виконання заданого набору змін (рис. 9). Після цього змінюється положення точок чи інші параметри елементів сцени, задаючи початкове значення у вихідній позиції кістки та кінцеве – в її фінальному положенні. Таким чином, бажані зміни в сцені можна реалізувати простим рухом "Smart Bone".

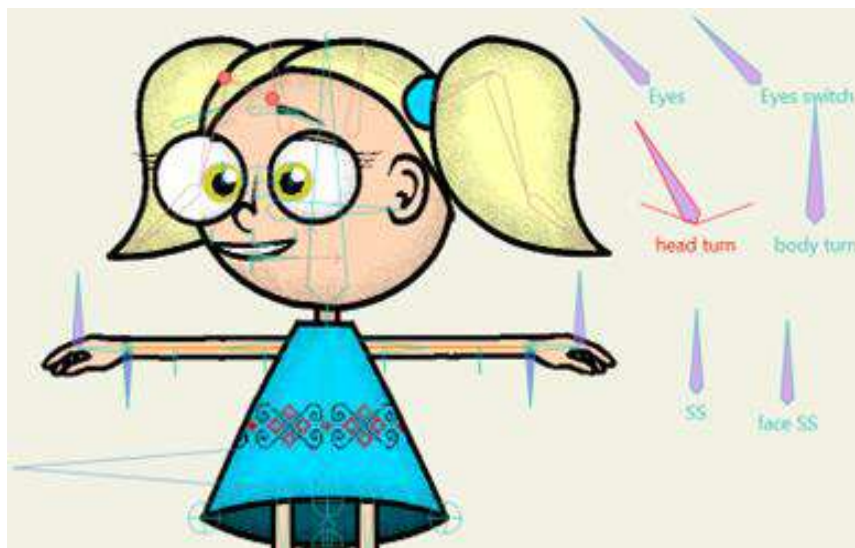


Рисунок 9 – Набір смартбонів повороту голови та кісток рук

Варіативність використання смартбонів обмежується винахідливістю розробника та запитам, щодо функціоналу рігу, що робить їх потужним засобом автоматизації анімаційних завдань. Серед можливих варіантів смартбонів найбільш популярними є наступні: смартбони з екшенами на пересування точок вий для закриття та відкриття очей; для переключення заздалегідь підготовлених фаз очей, рота, кистей, голови, тулуба, тощо; для згладжування згину шейпу; для стискання та розтягування окремих елементів; для повороту голови та тулуба, тощо. Зазначається, що широкий функціонал наявних смартбонів має великий вплив на автоматизацію процесів створення анімації.

Якщо звернути увагу на впровадження повороту голови чи тулуба навколо своєї осі у персонажа, то можна виділити два шляхи, за якими можна втілити даний функціонал. Перш за все, можна відмалювати окремі фази для анфасу,

повороту в $\frac{3}{4}$ кола в обидві сторони, профілю та повороту назад. Підв'язавши перемикач до смартбону можна переключати фазу у необхідний момент часу.

Більш комплексним та складним в реалізації підходом є створення екшену на плавне переміщення векторних точок голови з позицій при анфасі до позицій повороту в профіль, якісна анімація такого повороту в обидві сторони в якості екшену смартбона надає змогу в потрібний момент часу створювати імітацію 3D-повороту голови/тіла одним лише рухом смартбона.

Спираючись на 12 принципів анімації Діснея, вкрай раціональним є впровадження смартбонів на стискання та розтягування тіла персонажа. Основним викликом при створенні даного екшену є умова збереження об'єму тіла. У випадку при розтягуванні кісток тулуба вгору, що будуть тягнути за собою верхні векторні точки тулуба, необхідно досягти звуження тих точок, що знаходяться вздовж обох боків тіла. Цього ефекту можна досягти шляхом корегування позицій точок вручну, або автоматизувати цей процес в налаштуваннях кісток, що розтягуються. Результатом буде чітке збереження об'єму об'єкта, що прив'язано до даних кісток при зміні їхньої довжини.

Таким чином, наявність кожного зі смартбонів, за умови підготовки якісного екшену, позитивно впливає на зручність рігу та автоматизацію створення рухів (рис. 10).

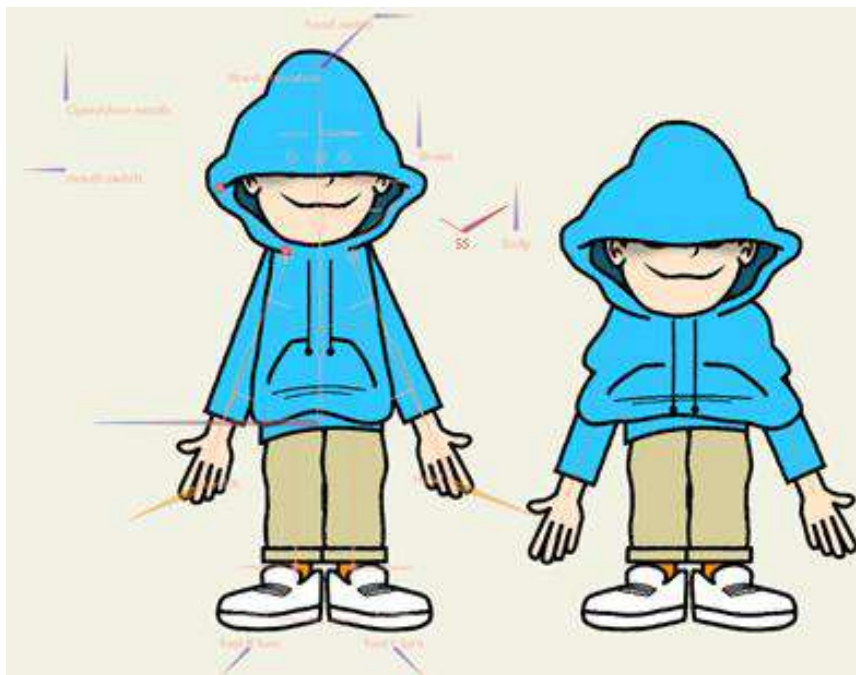


Рисунок 10 – Стискання та розтягування тіла персонажа з автоматичним збереженням об'єму

Створення складних рігтів – це процес, що вимагає балансування між технічною складністю, продуктивністю та простотою використання. Інтеграція новітніх технологій, таких як штучний інтелект і автоматизовані інструменти, дозволяє значно покращити якість роботи та скоротити час розробки, але все ще залишає простір для творчого та інженерного підходу до вирішення індивідуальних завдань.

У контексті 2D-анімації створення рігтів також має свою специфіку і технічні виклики, які, хоча й відрізняються від 3D-анімації, залишаються важливими для досягнення високоякісного результату. У 2D-анімації рігт являє собою систему шарів, сегментів або векторних елементів, з'єднаних через суглоби та контрольні точки, що дозволяють аніматору маніпулювати персонажем у межах двовимірного простору.

Головною проблемою рігтів у 2D-анімації є створення природних рухів без «ламання з'єднань» між сегментами шарів. Для цього фахівці-аніматори часто використовують додаткові інструменти корекції, такі як маски або морфінг (зміна форми), щоб забезпечити плавний перехід між різними позами. Наприклад, при анімації руки персонажа точка з'єднання плеча має виглядати природно навіть у крайніх положеннях.

Рігги у 2D-анімації дозволяють об'єднати творчий підхід із технологічними досягненнями, значно пришвидшуючи процес створення анімації. Хоча технічні виклики залишаються, інструменти для роботи з ріггами постійно вдосконалюються, що робить їх доступними для широкого кола митців і розробників. Успішне застосування рігтів у 2D- та 3D-анімації є ключовим елементом для досягнення якісного кінцевого продукту, який вражає своєю деталізацією та динамічністю.

Роль алгоритмів штучного інтелекту у вдосконаленні процесів анімації

Штучний інтелект (ШІ) стрімко змінює підходи до створення комп'ютерної анімації, спрощуючи процеси, автоматизуючи рутинні завдання та відкриваючи нові горизонти для творчості. Завдяки сучасним алгоритмам машинного навчання та глибинного навчання, аніматори отримують інструменти, які дозволяють скоротити час виробництва, знизити витрати й підвищити якість кінцевого продукту.

Автоматизація рутинних завдань. Один із найбільших викликів у створенні анімації – це велика кількість часу, яку займають повторювані процеси, такі як:

- промальовування проміжних кадрів (in-betweening);
- ретушування зображень;
- текстурування та анімація складних об'єктів;
- оптимізація рухів персонажів.

ШІ дозволяє автоматизувати ці процеси. Наприклад, технології, що базуються на машинному навчанні, здатні створювати проміжні кадри між ключовими з високою точністю і це значно спрощує процес і дозволяє розробнику зосередитися на творчих аспектах.

Генерація анімації. Сучасні нейронні мережі здатні самостійно генерувати анімацію, базуючись на заданих параметрах – алгоритми можуть аналізувати відеоматеріали або навіть текстові описи, генеруючи відповідну анімацію.

Також в анімаційних студіях застосовується технологія захоплення руху (*motion capture*), що доповнюється ШІ. Наприклад, система *Rokoko Smartsuit*

інтегрує алгоритми для автоматичної обробки рухів актора, спрощуючи їх перенесення на 3D-модель.

Інтелектуальне управління персонажами. ШІ також використовується для симуляції складних рухів і фізики об'єктів. Алгоритми дозволяють автоматично адаптувати анімацію персонажів до різних середовищ. Наприклад, технології компанії *NVIDIA* дозволяють створювати реалістичні симуляції тканин, волосся та інших динамічних об'єктів.

Для інтерактивних середовищ, таких як відеоігри, ШІ допомагає створювати анімацію персонажів, яка реагує на дії гравця в реальному часі. Наприклад, алгоритми в *Unity* забезпечують реалістичну адаптацію рухів до поверхні, рельєфу чи перешкод.

У постобробці анімаційних проєктів ШІ використовується для:

- зменшення шумів у рендерингу (AI-based denoising);
- оптимізації кольорів і текстур;
- покращення якості зображень у високій роздільній здатності.

Технології, такі як *Topaz Video Enhance AI*, дозволяють автоматично підвищувати чіткість і деталізацію кадрів, зберігаючи художній стиль.

Попри очевидні переваги, використання ШІ в анімації породжує й певні виклики. Наприклад, повна автоматизація може знизити потребу в участі аніматорів на початкових етапах, що ставить під питання роль людської творчості. Крім того, важливо забезпечити контроль якості, щоб результати роботи алгоритмів відповідали задуму дизайнера.

Алгоритми штучного інтелекту революціонізують процес створення анімації, надаючи потужні інструменти для автоматизації рутинних завдань. Це дозволяє не лише підвищити ефективність виробництва, але й відкриває нові можливості для творчості. Водночас важливо зберігати баланс між використанням технологій та художнім підходом, адже саме синтез інновацій та людської уяви створює унікальну анімацію. У майбутньому подальше вдосконалення ШІ забезпечить ще більше можливостей для інтеграції творчих і технічних аспектів у цій галузі.

Шляхи вдосконалення підходів до розробки анімації

Сучасна анімаційна індустрія розвивається з небаченою швидкістю завдяки новітнім технологіям, глобальній співпраці та доступності ресурсів. Проте, для подальшого зростання якості та ефективності створення анімаційних проєктів, необхідно вдосконалювати існуючі підходи та запроваджувати інноваційні методи. Слід виділити декілька напрямів використання та оптимізації технічних процесів створення анімації.

1. Інтеграція штучного інтелекту. Використання алгоритмів штучного інтелекту може суттєво спростити рутинні завдання, такі як створення проміжних кадрів, текстуровання чи симуляція фізичних явищ. Інструменти на базі ШІ, наприклад, *DeepMotion* або *NVIDIA Omniverse*, можуть автоматизувати значну частину процесів і скоротити час виробництва. Наприклад, платформа

DeerMotion дозволяє автоматично генерувати реалістичні рухи персонажів із відео, що економить місяці роботи для аніматорів. Інший приклад – студія Disney використовує AI для вдосконалення текстур і деталей у 3D-моделях.

2. Віртуальна та доповнена реальність (VR/AR). VR/AR не тільки відкривають нові горизонти для користувача, але й полегшують роботу при створенні анімаційних роликів. Наприклад, Google Tilt Brush дозволяє художникам створювати тривимірні ескізи в реальному часі. Це значно покращує розуміння простору і композиції в процесі розробки. Це значно покращує розуміння простору і композиції в процесі розробки. Під час створення кліпу на пісню «Dance Monkey» були використані VR-інструменти для візуалізації сцен, що дозволило миттєво коригувати динаміку камери і пози персонажів, досягаючи максимальної синхронізації з музикою.

3. Хмарні обчислення та колаборативні платформи. Використання хмарних технологій, як-от платформи ShotGrid від Autodesk, дозволяє розподілити роботу між кількома командами або студіями в різних куточках світу. Команди з усього світу можуть працювати над різними аспектами анімації: моделюванням, текстуруванням, рендерами. Режисери можуть у реальному часі переглядати внесені зміни, даючи зворотний зв'язок миттєво. Хмарні обчислення не тільки полегшують робочий процес, а й дають можливість малим студіям конкурувати з великими гравцями завдяки доступності сучасних технологій. Це також сприяє більшій демократизації індустрії. Інтегровані середовища, як-от Blender, надають доступ до всіх необхідних інструментів в одному програмному забезпеченні

Підвищення художньої якості та покращення художніх процесів.

1. Поєднання традиційних і цифрових технік. Використання елементів традиційної анімації (наприклад, ручного малювання) у поєднанні з цифровими інструментами може створювати унікальні стилістичні рішення. Такі роботи, як Spider-Man: Into the Spider-Verse, демонструють, як поєднання традиційного стилю з новітніми технологіями може стати проривом у галузі.

2. Інвестиції у художню освіту. Одним із шляхів вдосконалення є розвиток навичок митців. Курси або навчальні дисципліни, що зосереджуються на концептарті, дизайні персонажів і основах анімації, забезпечують підготовку фахівців, здатних генерувати оригінальні ідеї.

3. Культурна автентичність. Важливою складовою вдосконалення є інтеграція культурних мотивів і традицій у анімаційний контент. Це дозволяє створювати унікальні історії, які приваблюють міжнародну аудиторію, водночас зберігаючи національну ідентичність. Український мультфільм «Мавка. Лісова пісня» є прикладом такого підходу, де використання народних мотивів і культурного контексту стало ключем до успіху.

Удосконалення підходів до розробки анімації потребує багатостороннього підходу, що включає технологічні інновації, творчий розвиток, освіту та екологічну свідомість. Завдяки інтеграції цих елементів анімаційна індустрія зможе не лише підтримувати високий рівень якості, але й прокладати шлях до нових горизонтів творчості.

Висновки

Розвиток комп'ютерної анімації стикається з численними викликами, які потребують нових підходів до виробництва, інтеграції інноваційних технологій та оптимізації процесів. З урахуванням технічних, творчих і організаційних проблем, які постають перед галуззю, необхідно шукати шляхи вдосконалення підходів до створення анімаційного контенту.

Комп'ютерна анімація, як важлива складова сучасної візуальної культури, вимагає інтегрованого підходу до вивчення її технічних і творчих аспектів. Проведений аналіз підтвердив, що розвиток анімації відбувається завдяки взаємодії технологічних інновацій і креативних ідей. Дослідження виявило основні проблеми, які впливають на ефективність створення анімаційного контенту: необхідність створення унікального візуального стилю, пошук балансу між реалістичністю та художньою фантазією, а також технічні обмеження, пов'язані з ресурсомісткістю процесів рендерингу та складністю рігінгу.

Галузь комп'ютерної анімації перебуває на етапі динамічного розвитку, і запровадження нових методів, які поєднують технічний прогрес із креативними підходами, сприятиме її подальшому зростанню. Освітні ініціативи, міждисциплінарна співпраця та підтримка інновацій можуть стати основою для подальшого успіху анімаційної індустрії.

Вдосконалення підходів до створення анімації потребує одночасного розвитку технічних рішень і творчих методів. Інтеграція штучного інтелекту, хмарних платформ і інноваційних інструментів дозволяє вирішувати технічні проблеми, тоді як інвестиції в освіту та міждисциплінарну співпрацю сприяють зростанню художньої якості. Анімація, як унікальний синтез мистецтва та технологій, продовжує відкривати нові можливості для комунікації, розваг і освіти, залишаючи значний вплив на сучасну культуру.

Список літератури.

1. Гвінн, К., & Генні, І.Ф. (2012). Основи анімації: Вступ до цифрового мультимедіа. Київ: Видавець.
2. Кульчицький, О. (2005). Теорія і практика анімації. Київ: Ніка-Центр.
3. Вільямс, Р. (2019). Анімація: посібник по виживанню / пер. з англ.: Р. Дзюба, І. Миргородська. Київ: ArtHuss.
4. Селбі, Е. (2019). Анімація / пер. з англ. В. Заєць. Київ: ArtHuss.
5. Блер, П. (2021). Мальована анімація з Престоном Блером. Київ: ArtHuss.
6. Бендацці, Дж. (2020). Світова історія анімації. Книга перша: Від початку до Золотої доби. Київ: ArtHuss.
7. Божевільна реклама та розпусні цукерки m&m's. <https://www.youtube.com/watch?v=wXv0L7Rns9c>.
8. Анімована інфографіка в After Effects. <https://www.youtube.com/watch?v=UV9eYu47oqI>.
9. Лобач, Н.В. (2023). Мислення та сприйняття: логічне та кліпове мислення майбутніх фахівців. Вісник науки та освіти, 3(9), 430-440.
10. Opalev, M.L. (2012). Moution-design: nauka I vdohnovenie. Universitates. Nauka I prosveshchenie. 4(51), 69-75.
11. Living Lines Library. Collection of Animated Lines. <https://livlily.blogspot.com/>.

12. Кравцов, М. (2019). Історія анімації: Як народжується мистецтво. Серія «Креативна кар'єра». Київ : ArtHuss.
13. Крісп, Дж. (2014). Анімація: Світова історія. Київ: Нова Книга.
14. Ткаченко, В.П., & Криворучко, М.О. (2023). Використання скриптів при створенні 2D-анімації в Moho Pro. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 213-214).
15. Дейнеко, Ж.В., & Криворучко, М.О. (2022). Моушен-дизайн як анімаційне мистецтво. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 103-104).
16. Мурашко, М. (2015). Зв'язок озвучування із засобами виразності анімації у відео-рекламі. Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв, (7), 41-53. http://nbuv.gov.ua/UJRN/had_2015_7_10.
17. Moho Pro Advanced Features for 2D animation – Lost Marble Software, Inc. <https://moho.lostmarble.com/pages/features>.
18. Arm Draw and Rig with Tools. Rigged Animation. <https://www.youtube.com/channel/UCS4R-7L27Fd5bOZrxHNnPiw>.
19. Create Limb 2 // Moho Scripts. https://mohoscripts.com/script/am_create_limb_2.
20. Move selected to coord. Moho Scripts. https://mohoscripts.com/script/sz_move_selected_to_coord.
21. Basic Smart Bones // Moho Animation Software. <https://www.youtube.com/watch?v=eQGLqROjatU>.
22. Moho Script. Create a bone between two coordinates. MoeU33. <https://www.youtube.com/watch?v=o-GvMwiYZPQ>.
23. Персонажная 2D анимация. APIStudio Automatic promotion intellect. <https://apistudio.ru/service/video/personazhnaya-2d-animatsiya/>.
24. Animation: 2D. Explainer Video Company. <https://darvideo.tv/dictionary/animation-2d/>.
25. Tones And I – Dance Monkey (Official Video). <https://www.youtube.com/watch?v=q0hyYWKXF0Q>.

ІНТЕГРАЦІЯ STEAM-ЕЛЕМЕНТІВ У МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ КУРСОВИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ПЕРШОГО (БАКАЛАВРСЬКОГО) РІВНЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G20 «ВИДАВНИЦТВО ТА ПОЛІГРАФІЯ»

Андрющенко Т.Ю.

ст. викладач, кафедра Мультимедійних систем і технологій
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

***Анотація.** У даному дослідженні проаналізовано теоретичні та методологічні засади інтеграції STEAM-елементів у реалізацію міждисциплінарного курсового проєкту здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія». Підкреслено значущість міждисциплінарної взаємодії для формування професійних компетентностей, розвитку творчого мислення, інженерного підходу та практичних навичок майбутніх фахівців видавничо-поліграфічної сфери.*

***Ключові слова:** STEAM-ОСВІТА, STEAM-ЕЛЕМЕНТИ, ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА, МІЖДИСЦИПЛІНАРНІ ЗВ'ЯЗКИ, ТВОРЧЕ МИСЛЕННЯ, ІНЖЕНЕРНИЙ ПІДХІД, ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ.*

Вступ

Сучасний розвиток освітнього простору потребує впровадження інноваційних методів підготовки здобувачів вищої освіти, спрямованих на формування комплексних професійних компетентностей, розвиток критичного мислення та креативного підходу до вирішення практичних завдань. Одним із провідних напрямів модернізації освітнього процесу є інтеграція елементів STEAM-освіти (наука, технології, інженерія, мистецтво, математика).

«STEAM – Science (природничі науки), Technology (технології), Engineering (технічна творчість), Art (мистецтво) та Mathematics (математика). Основні ключові завдання сформульовані в Меморандумі Коаліції STEM-освіти (започаткована у місті Києві 16 вересня 2015 року)» [13]: реалізація програм для впровадження інноваційних методів навчання в навчальних закладах; надання можливостей для студентів для проведення дослідницької та експериментальної роботи; проведення конкурсів, олімпіад для самореалізації; створення інформаційних майданчиків. STEAM-освіта базується на крос-предметному підході.

«STEAM пробуджує креативний підхід, інтерес до всебічного сприйняття предмета навчання, критичне мислення – і таким чином дає студентам більше, ніж просто знання: дає їм навички, смак до пізнання і роботи, бажання зануритися в саморозвиток, полюбити сам процес навчання» [6].

Особливої актуальності STEAM-підхід набуває у підготовці фахівців спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія», де успішна професійна діяльність базується на гармонійному поєднанні технологічних, дизайнерських, інженерних та творчих компетентностей. Традиційне дисциплінарне навчання більше не відповідає потребам сьогодення, оскільки не забезпечує належного рівня інтеграції знань і вмінь, необхідного для цілісного розуміння професійної діяльності.

У сучасній педагогічній науці дедалі більше уваги приділяється зміні функціональної ролі викладача в системі STEAM-освіти, що пов'язано з переходом до студентоцентричних освітніх підходів. Така трансформація означає відхід від традиційної моделі, де викладач виступає головним джерелом знань, на користь концепції, у межах якої студенти займають активну позицію в навчальному процесі.

Дж. Латана, у роботі [16] зазначає, у студентоцентрованому освітньому середовищі викладач, незважаючи на збереження свого авторитетного статусу, переорієнтовується на виконання ролі наставника чи фасилітатора. Його основне завдання полягає не стільки у прямій трансляції знань, скільки в організації умов, що сприяють самостійному та усвідомленому навчанню студентів. Такий підхід, відомий як «наставник збоку» (*guide on the side*), забезпечує більш рівноправну взаємодію між педагогом і здобувачами освіти, де викладач супроводжує навчальний процес, а студенти виявляють ініціативу та відповідальність за результати власного навчання.

Подібна освітня модель, яка активно розвивалася протягом останніх десятиліть, базується на конструктивістських засадах та передбачає розвиток у студентів автономності, критичного мислення, навичок комунікації та здатності до самостійного розв'язання навчальних і практичних завдань. Отже, ефективна реалізація STEAM-освіти значною мірою залежить від готовності викладача до зміни своєї професійної ролі та виконання функції модератора навчального процесу.

Інтеграція STEAM-елементів у зміст міждисциплінарного курсового проєкту здобувачів вищої освіти третього курсу сприяє ефективному поєднанню теоретичної підготовки з практичною діяльністю, розвитку інженерного мислення, творчого підходу та інноваційних умінь, що є надзвичайно важливими для конкурентоспроможності випускників на сучасному ринку праці у сфері видавничо-поліграфічних технологій.

У межах даного дослідження проаналізовано теоретико-методологічні основи інтеграції STEAM-елементів у професійну підготовку, розроблено підходи до оцінювання ефективності реалізації міждисциплінарних курсових проєктів та обґрунтовано роль міждисциплінарної взаємодії у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців.

Проаналізовано підходи до переходу від традиційного викладання міждисциплінарного курсового проєкту здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» до втілення STEAM-елементів.

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробити та обґрунтувати методологічні засади інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт здобувачів вищої освіти 3-го курсу спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» для підвищення рівня професійної підготовки, розвитку творчих і технічних навичок, а також посилення міждисциплінарної взаємодії.

Об'єкт дослідження – процес розробки та реалізації міждисциплінарного курсового проєкту з урахуванням STEAM-методології у підготовці фахівців видавничо-поліграфічної галузі.

Предмет дослідження – методи, технології та інструменти інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт студентів спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» та їх вплив на якість освітнього процесу.

Для реалізації поставленої мети передбачено розв'язання таких завдань:

- проаналізувати сучасні науково-теоретичні підходи до STEAM-освіти в контексті вищої технічної освіти;
- визначити особливості професійної підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю G20 «Видавництво та поліграфія» у форматі міждисциплінарних курсів;
- розробити методологічну модель інтеграції STEAM-елементів у зміст курсового проєкту, яка поєднує інженерну, технічну, художню та технологічну компоненти;
- обґрунтувати вибір дидактичних засобів, які сприяють ефективному впровадженню STEAM-підходу у процес навчання;
- розробити критерії оцінювання ефективності STEAM-інтеграції, зокрема із використанням рангових моделей і самооцінювання;
- проаналізувати результати експерименту та сформулювати висновки щодо впливу STEAM-інтеграції на рівень професійної підготовки, розвиток творчих і технічних навичок здобувачів вищої освіти.

Основна частина

1 Теоретичні засади STEAM-освіти у видавничо-поліграфічній галузі

«Розвиток STEM-освіти в Україні нині впевнено набирає обертів. Урядом України розроблено низку нормативно-правових документів, що забезпечують ефективність діяльності галузі: схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) та Плану заходів щодо реалізації Концепції розвитку STEM-освіти до 2027 року; затвердження Типового переліку засобів навчання та обладнання для навчальних кабінетів і STEM-лабораторій» [10].

«Сучасні освітні технології сприяють використанню освітянами провідного принципу STEM-освіти – інтеграції (трандисциплінарної). Для реалізації освітньої технології в практику навчального процесу викладачу необхідно створити певні оптимальні умови, а саме: толерантну міжособистісну

демократичну взаємодію, що сприятиме гуманістичному та діалогічному стилю спілкування; актуальну проблемну ситуацію, яка зумовлюватиме продуктивну, творчу діяльність здобувачів освіти; використання інтерактивних, наукових, дизайнерських методів навчання; групової роботи, що створюватиме атмосферу співробітництва, співтворчості та самореалізації кожної особистості» [3].

«Працюючи в умовах воєнного стану, викладачі закладів освіти України продовжують ефективно реалізовувати сучасні моделі організації освітнього процесу. Забезпечення модернізації процесу навчання на якісному рівні потребує чітких та вчасних рішень, доступних роз'яснень, запровадження інноваційних форм освіти, що передбачає упровадження STEM-освіти в умовах моделі змішаного навчання. Модернізація змісту освіти забезпечує підготовку фахівців нової генерації, здатних до сучасних умов соціальної мобільності, засвоєння передових професійних технологій» [7].

Впровадження мультимедійних технологій у STEM-освіту відкриває перед здобувачами вищої освіти широкі перспективи. Завдяки ним здобувачі освіти можуть здійснювати віртуальні експерименти, використовувати симуляційні моделі для набуття практичних навичок, а також отримувати доступ до різноманітних інформаційних ресурсів. Такий підхід стимулює розвиток самостійності, підвищує навчальну мотивацію й інтерес до освітнього процесу. Здобувачі вищої освіти мають можливість працювати над проєктами, спрямованими на вирішення реальних завдань, застосовувати теоретичні знання на практиці та отримувати зворотний зв'язок від викладачів.

1.1 Аналіз концепції STEAM-освіти та її впливу на підготовку фахівців.

STEAM-освіта (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) є міждисциплінарним підходом до навчання, що поєднує наукові, технічні, інженерні, мистецькі та математичні знання. Її основною метою є формування у студентів критичного мислення, креативності, технічних навичок та вміння застосовувати отримані знання в реальних умовах.

Застосування STEAM-методології у вищій освіті сприяє розвитку комплексного мислення, що є критично важливим для майбутніх спеціалістів у галузі видавництва та поліграфії. Видавнича справа вимагає не лише розуміння традиційних методів друку та верстки, але й використання новітніх цифрових технологій, зокрема 3D-друку, інтерактивних електронних видань та елементів доповненої реальності (AR/VR).

STEAM-освіта відіграє ключову роль у формуванні висококваліфікованих фахівців, адаптованих до викликів сучасного технологічного світу. Поєднання науки, технологій, інженерії, мистецтва та математики сприяє розвитку аналітичного мислення, креативності та навичок міждисциплінарного підходу до вирішення проблем.

Однією з головних переваг STEAM-освіти є її орієнтація на практичні навички та командну роботу. Завдяки проєктному навчанню здобувачі вищої освіти отримують можливість застосовувати свої знання у реальних ситуаціях,

що значно підвищує їхню конкурентоспроможність на ринку праці. Також STEAM-освіта стимулює розвиток інноваційного мислення та підприємницьких здібностей, що є важливими для сучасних професій у сфері технологій та інженерії.

STEAM сприяє розвитку творчого мислення, формує зацікавленість у глибокому розумінні навчального матеріалу, розвиває критичне мислення. Завдяки цьому здобувачі вищої освіти отримують не лише знання, а й важливі навички, прагнення до пізнання, мотивацію до саморозвитку та захоплення самим процесом навчання.

У роботі [2] «отримані дані щодо використання викладачами освітніх технологій на основі особистісно-орієнтованого підходу в умовах упровадження STEM-освіти представлено у таблиці 1. З метою забезпечення можливості співставлення даних, їх порівняльного аналізу й узагальнення, вони наведені у відносних величинах (%)».

Таблиця 1 – Дані про використання викладачами закладів вищої освіти освітніх технологій на основі особистісно-орієнтованого підходу в освітньому процесі (%)

Освітні технології на основі особистісно-орієнтованого підходу педагогіка співробітництва	бакалаврат
педагогіка співробітництва Ш. А. Амонашвілі	10
технологія саморозвитку М. Монтесорі	-
технологія організації групової навчальної діяльності І. Г. Песталоцці, Дж. Дьюї	20
технологія розвивального навчання Л. Виготського	10
проектна технологія Дж. Дьюї, У. Х. Кіпатріка	30
технологія навчання як дослідження М. В. Кларіна, В. В. Бухвалова	10
технологія формування творчої особистості Є. М. Ільїна, І. П. Волкова	20
створення ситуацій успіху А. С. Белкіна	-
сугестивна технологія В. М. М'ясищева	-
Всього (%)	100

Аналіз даних показав, що більшість викладачів використовують такі технології, як проектна, організація групової навчальної діяльності, формування творчої особистості. Респонденти вважають, що навчання у співробітництві є більш цікавим та ефективним. Спільна творча діяльність, доброзичливе ставлення до кожного здобувача освіти, готовність допомогти сприяє їх інтелектуальному і моральному розвитку. Спільна творча діяльність сприяє використанню проектної технології, що передбачає інтегровану дослідницьку, творчу діяльність молоді, спрямовану на опанування методів наукового пізнання та їх практичну реалізацію, пошук способів вирішення проблем, критичного оцінювання одержаних результатів й формування наукового світогляду.

У сучасній освітній практиці спостерігається тісний зв'язок між принципами студенторієнтованого навчання та концепцією STEAM-освіти. Обидва підходи спрямовані на активізацію ролі здобувачів освіти, розвиток критичного мислення, формування навичок самостійного прийняття рішень та ефективної взаємодії у груповому середовищі.

Незважаючи на певні відмінності – зокрема, зосередженість студенторієнтованого підходу на індивідуалізації навчального процесу, а STEAM-освіти – на інтегрованому вирішенні міждисциплінарних завдань, – обидві моделі об'єднані спільною метою: підготовкою здобувачів до успішної реалізації в умовах складного й динамічного соціокультурного середовища. Представлена таблиця 2, яка узагальнює ключові риси та спільні елементи зазначених освітніх підходів.

Таблиця 2 – Ключові риси та спільні елементи студенторієнтованого підходу та STEAM-освіти

Аспект	Студенторієнтований підхід	STEAM-освіта	Спільні елементи
Роль викладача	Фасилітатор, наставник	Ментор, керівник проєктів	Підтримка, модерація навчального процесу
Роль здобувача	Активний учасник, ініціатор навчання	Дослідник, творець, вирішувач проблем	Активна участь, самостійність
Форма навчання	Індивідуальна та групова робота	Проектно-орієнтоване, міждисциплінарне навчання	Колаборація, інтерактивність
Методи навчання	Дослідницьке, проблемно-орієнтоване	Інтегроване, практичне, креативне	Навчання через діяльність, рефлексія
Цінності	Самореалізація, розвиток навичок XXI століття	Інноваційність, творчість, зв'язок із реальним світом	Критичне мислення, співпраця, гнучкість
Мета	Розвиток автономного, мислячого здобувача	Формування компетентностей для вирішення реальних задач	Підготовка до життя і професійної діяльності

Загалом STEAM-освіта готує фахівців, які не лише володіють глибокими технічними знаннями, а й здатні творчо підходити до розв'язання складних завдань, адаптуватися до нових умов та працювати в мультидисциплінарних командах. Це робить її надзвичайно важливим напрямом у сучасній системі освіти.

1.2 Взаємозв'язок міждисциплінарного навчання та STEAM-методології.

«Міждисциплінарний підхід сприяє розвитку критичного мислення і навичок розв'язання проблем у студентів. Залучення знань з різних областей науки дозволяє їм бачити проблеми з різних перспектив, аналізувати їх з урахуванням різних факторів і пропонувати інноваційні рішення. Використання міждисциплінарних методів у навчанні допомагає студентам підготуватися до реальних викликів у професійній діяльності, де їм часто доведеться працювати над проєктами, що потребують синтезу різних типів знань та навичок» [4].

Аналіз наукових джерел дозволив окреслити ключові чинники, що визначають рівень зацікавленості молоді у STEM-освіті та впливають на їхню мотивацію до навчання у відповідних напрямках:

- наявність прикладів для наслідування;
- отримання практичного досвіду;

- заохочення до вивчення STEM-дисциплін;
- «розуміння практичної значимості STEM-освіти» [11, 12].

Міждисциплінарний підхід є основою STEAM-освіти, оскільки дозволяє об'єднувати різні галузі знань у єдиній навчальній програмі. У контексті видавничо-поліграфічної галузі це означає інтеграцію:

- наукових знань (фізика, хімія матеріалів, кольорознавство у поліграфії);
- технологічних аспектів (цифровий друк, автоматизація процесів, комп'ютерна верстка);
- інженерних рішень (конструювання друкарського обладнання, розробка інтерфейсів);
- мистецьких складових (дизайн, графіка, типографіка, ілюстрація);
- математичних розрахунків (оптимізація друкарських процесів, 3D-моделювання, алгоритми кольірних рішень).

Поєднання цих елементів STEAM-освіти дозволяє створювати інноваційні навчальні програми, що готують здобувачів вищої освіти до викликів сучасного ринку праці.

1.3 Досвід впровадження STEAM-елементів у освітні програми видавничо-поліграфічної сфери.

Традиційне навчання, орієнтоване на дисциплінарний підхід, передбачало розділення змісту освіти за окремими предметами без тісного взаємозв'язку між ними. У підготовці здобувачів вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» це призводило до фрагментарного засвоєння знань і обмеженої можливості їх практичного застосування в реальних виробничих процесах.

Упровадження STEAM-елементів змінює цю парадигму, орієнтуючи навчальний процес на міждисциплінарну інтеграцію, проєктну діяльність і розвиток творчого та критичного мислення. Перехід від традиційного підходу до STEAM-освіти передбачає такі ключові етапи:

- аналіз професійних потреб сучасного видавничо-поліграфічного ринку з урахуванням технологічних інновацій, дизайну, інженерних рішень і управлінських навичок;
- виявлення змістових зв'язків між технологічними дисциплінами, художньо-конструкторськими предметами, інженерією, математикою та цифровими технологіями;
- розробка міждисциплінарних проєктних завдань, які об'єднують знання з різних галузей у єдиний освітній продукт – створення макетів, дизайнів, інтерактивних поліграфічних об'єктів;
- практична реалізація завдань через роботу над реальними проєктами із застосуванням сучасних технологій та отриманням постійного зворотного зв'язку від викладачів та колег.

Схема переходу від традиційного навчання до STEAM-освіти в межах підготовки здобувачів спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» на рисунку 1.

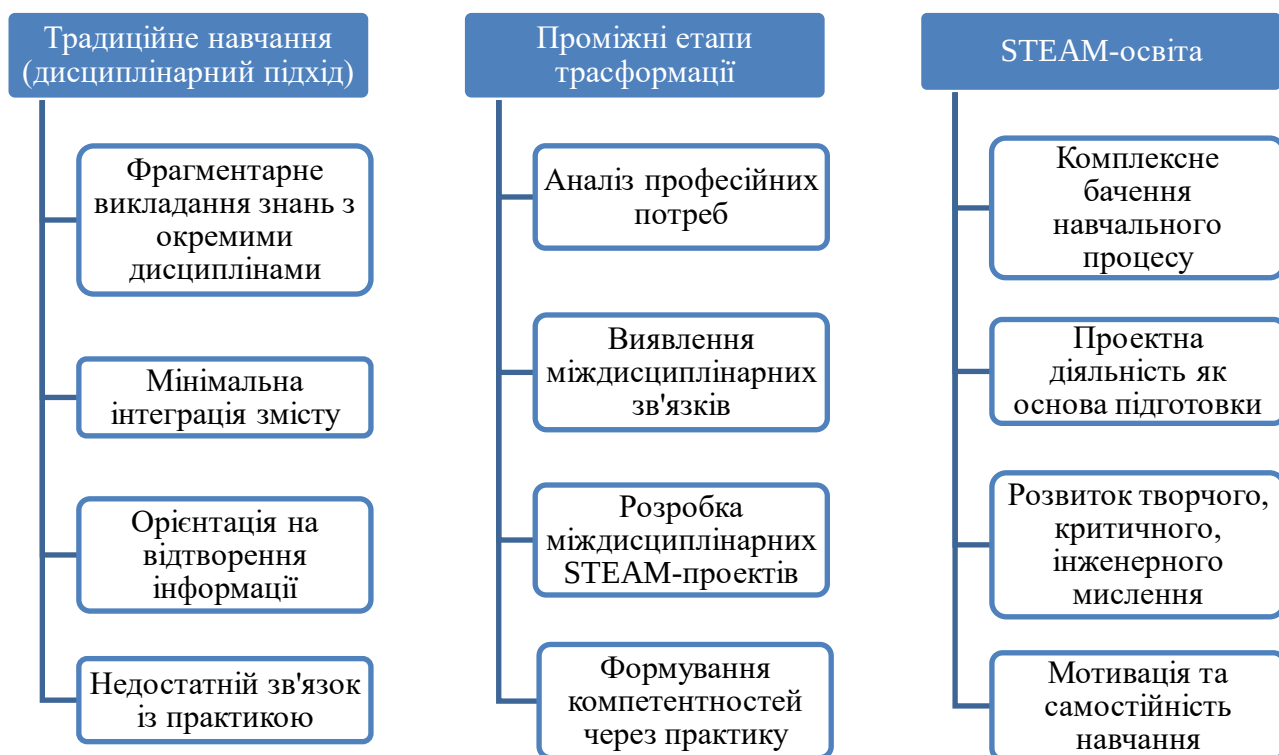


Рисунок 1 – Схема переходу від традиційного навчання до STEAM-освіти в межах підготовки здобувачів спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія»

Внаслідок такого переходу навчання стає гнучким, динамічним і максимально наближеним до вимог сучасного ринку праці. STEAM-освіта сприяє розвитку у здобувачів вищої освіти професійних компетентностей нового типу: вміння працювати в міждисциплінарних командах, адаптивності, здатності до інноваційної діяльності та креативного мислення.

Світовий досвід показує, що застосування STEAM-методів у поліграфічній освіті сприяє зростанню професійних компетенцій випускників. У багатьох університетах Європи та США впроваджуються міждисциплінарні курси, що включають:

- використання програмного забезпечення для 3D-дизайну та анімації;
- роботу з цифровими друкарськими технологіями;
- розробку інтерактивних електронних публікацій;
- використання AR/VR для створення мультимедійного контенту.

В Україні застосування STEAM-методик у видавничо-поліграфічній освіті знаходиться на етапі активного впровадження. Сучасні освітні програми потребують оновлення підходів до навчання, що включає інтеграцію практичних і проектних методів роботи.

Впровадження STEAM-елементів у навчальний процес спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» сприяє розвитку у здобувачів вищої освіти наступних компетенцій:

- креативність – розробка унікальних дизайнерських та друкарських рішень;
- аналітичне мислення – аналіз технологічних процесів, використання алгоритмів для оптимізації друку;

– практичні навички – робота з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням;

– проєктна діяльність – робота в команді, створення інноваційних видавничих продуктів.

Таким чином, STEAM-освіта відіграє важливу роль у підготовці спеціалістів видавничо-поліграфічної галузі, надаючи їм змогу інтегрувати новітні технології у професійну діяльність та адаптуватися до сучасних викликів індустрії.

На основі аналізу теоретико-методологічних основ створення інноваційних моделей інтеграції STEAM-елементів у професійну підготовку здобувачів вищої освіти визначимо основні підходи до впровадження STEAM-орієнтованого навчання в межах міждисциплінарного курсового проєкту для спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія». Такий підхід дозволяє забезпечити гармонійне поєднання технологічних, художньо-конструкторських, інженерних та математичних знань, спрямоване на розвиток творчих і технічних компетентностей майбутніх фахівців у сфері видавничо-поліграфічної діяльності.

Відповідно до проведеного аналізу, виділено низку базових принципів, які визначають логіку побудови змісту навчання, організацію навчальної діяльності та формування необхідних професійних компетентностей майбутніх фахівців у сфері видавництва та поліграфії. Методичні принципи впровадження STEAM-елементів узагальнено у табл. 3.

Таблиця 3 – Методичні принципи впровадження STEAM-елементів

№	Назва принципу	Зміст принципу
1	Міждисциплінарність	Органічне поєднання знань з технологій, мистецтва, інженерії та математики
2	Практична орієнтація	Розробка реальних продуктів і застосування знань у практичних завданнях
3	Творчий розвиток	Стимулювання креативного мислення, інноваційних підходів до вирішення завдань
4	Інтеграція теорії та практики	Одночасний розвиток глибокого розуміння теоретичних основ і практичних умінь
5	Самоорганізація та самостійність	Формування навичок планування, самоконтролю та відповідальності за результати
6	Використання цифрових технологій	Активне застосування сучасних цифрових інструментів для виконання проєктів
7	Зворотний зв'язок	Регулярна рефлексія через самооцінювання, взаємооцінювання та експертну оцінку

У процесі реалізації STEAM-орієнтованого підходу в підготовці здобувачів вищої освіти важливим є дотримання певних методичних принципів, що забезпечують ефективність інтеграції різних галузей знань у межах міждисциплінарного курсового проєкту.

2 Методологічні аспекти інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт здобувачів вищої освіти 3-го курсу

2.1 Оцінка існуючої структури та змісту міждисциплінарного курсового проєкту.

Нова компетентнісна концепція вимагає перебудови узвичаєної системи освітнього процесу, удосконалення змісту, форм, методів, засобів навчання, інструментів та процедур оцінювання результатів навчальних досягнень студентів. І передусім маємо суттєво оновити, модернізувати комплекс провідних принципів оцінювання результатів навчання. До таких основних правил сучасного оцінювання якості підготовки фахівців відносимо [5]:

- чітке визначення очікуваних результатів навчання;
- об'єктивність оцінювання компетентнісних досягнень здобувачів;
- системність і систематичність оцінювання результатів навчання здобувачів;
- єдності вимог;
- позитивний підхід в оцінюванні результатів навчання здобувачів;
- індивідуальний підхід під час оцінювання результатів навчальних досягнень здобувачів;
- багатовимірність оцінювання результатів навчальних досягнень здобувачів;
- адекватність інструментів оцінювання компетентнісних досягнень здобувачів;
- чітке визначення очікуваних результатів навчання об'єктивності оцінювання компетентнісних досягнень здобувачів.

Перед інтеграцією STEAM-елементів необхідно здійснити детальний аналіз існуючої структури міждисциплінарного курсового проєкту здобувачів вищої освіти 3-го курсу спеціальності G20 «Видавництво та Поліграфія» першого (бакалаврського рівня) вищої освіти.

Важливо оцінити відповідність її змісту сучасним технологічним і освітнім вимогам, визначити ключові теми та методи викладання. Це дозволить зрозуміти, які елементи STEAM можуть органічно доповнити навчальний процес, а які потребують суттєвого перегляду або вдосконалення.

Аналіз змісту міждисциплінарного курсового проєкту здобувачів вищої освіти 3-го курсу спеціальності G20 «Видавництво та Поліграфія» першого (бакалаврського рівня) вищої освіти проведемо за допомогою змісту, який представлено в табл. 4.

Оцінка існуючої структури та змісту навчальної дисципліни може базуватися на таких критеріях:

1. Аналіз відповідності навчальним програмам:
 - визначення відповідності змісту міждисциплінарного курсового проєкту стандартам спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія»;
 - аналіз наскрізних компетентностей, які закладені у навчальному плані.

Таблиця 4 – Приблизний зміст міждисциплінарного курсового проекту

№	Назва розділу
1	ЗМІСТ
2	ВСТУП
3	РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА
4	1.1 Визначення основних термінів
5	1.2 Особливості оформлення видань для дітей початкових класів
6	1.3 Технологія підготовки зовнішнього оформлення видання
7	1.4 Обґрунтування вибору програмних засобів, що використовуються під час підготовки видання і презентаційного матеріалу
8	1.5 Оформлення вихідних відомостей видання
9	1.6 Обґрунтування вибору способу друку та основних матеріалів друкарського процесу для видання
10	РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА
11	2.1 Концепція художнього оформлення видання та презентаційного матеріалу
12	2.2 Розробка макету та оригінал-макету зовнішнього оформлення видання
13	2.3 Розробка оригінал-макета внутрішніх сторінок видання
14	2.4 Обрані значення параметрів складання та верстання видання
15	2.4.1 Технічне завдання на верстання
16	2.4.2 Додаткові тексти
17	2.5 Розробка презентаційного матеріалу
18	ВИСНОВКИ
19	ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ
20	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
21	ДОДАТКИ

2. Структурний аналіз:

- перевірка логічності побудови міждисциплінарного курсового проекту (вступ, теоретична частина, практичні розрахунки, висновки);
- оцінка балансу між теоретичним і практичним компонентами.

3. Змістовий аналіз:

- аналіз використання сучасних технологій та методик у видавничо-поліграфічному процесі;
- визначення глибини опрацювання дисциплін, які інтегруються у проект.

4. STEAM-аналіз:

- оцінка рівня інтеграції природничих наук (Science), технологій (Technology), інженерії (Engineering), мистецтва (Arts) та математики (Mathematics);
- визначення можливостей для розширення STEAM-елементів.

5. Практична значущість:

- аналіз прикладної цінності міждисциплінарного курсового проекту (чи є він реальним проектом, що може бути впроваджений на практиці);
- виявлення можливих напрямів покращення.

6. Методи оцінки:

- опитування здобувачів вищої освіти і викладачів щодо ефективності міждисциплінарного курсового проекту;

- аналіз рецензій та відгуків на попередні курсові проекти;
- порівняння з аналогічними курсами в інших закладах освіти.

Для оцінки існуючої структури та змісту междисциплінарного курсового проекту сформована табл. 5 з критеріями та їхніми показниками.

Оцінка (1-5): Викладачі або експерти оцінюють кожен показник за шкалою від 1 (низький рівень) до 5 (високий рівень).

Таблиця 5 – Таблиця оцінювання междисциплінарного курсового проекту

№	Критерій оцінки	Оцінювані показники	Оцінка (1-5)
1	Відповідність навчальній програмі	Включення обов'язкових дисциплін, наскрізні компетентності	
2	Структурна логіка	Послідовність розділів, зв'язок між частинами	
3	Баланс між теорією та практикою	Відсоткове співвідношення теоретичної та практичної частини	
4	Використання сучасних технологій	Впровадження цифрових технологій, новітніх методів	
5	Інтеграція STEAM-компонентів	Включення науки (S), технологій (T), інженерії (E), мистецтва (A), математики (M)	
6	Практична значущість	Можливість реалізації проекту у видавничій або поліграфічній сфері	
7	Відгуки здобувачів	Опитування здобувачів освіти про складність, актуальність	
8	Відгуки викладачів	Оцінка науково-педагогічних працівників	

Такий підхід дозволяє структурувати аналіз і робить оцінку курсового проекту більш об'єктивною.

2.2 Визначення ключових STEAM-інструментів для інтеграції.

На основі проведеного аналізу необхідно визначити найбільш ефективні STEAM-інструменти, які можна використати у навчальному процесі. Серед них можуть бути:

- програмне забезпечення для 3D-моделювання та дизайну (AutoCAD, Blender, Adobe Creative Suite);
- інтерактивні платформи для навчання програмуванню (Scratch, Python, JavaScript);
- використання технологій доповненої реальності (AR) у розробці поліграфічної продукції;
- інтеграція машинного навчання та штучного інтелекту для автоматизації процесів верстки й аналізу текстових даних.

Оскільки здобувачі вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» у межах междисциплінарного курсового проекту розробляють, розраховують і проектують технологічний процес створення книжкового видання, а також підбирають необхідне обладнання, важливо інтегрувати STEAM-інструменти, які забезпечать комплексний підхід до навчання.

1. Наукові (Science) інструменти:

- колірні моделі (CMYK, RGB, LAB) – для аналізу та контролю кольору в поліграфії;
- оптичні вимірювальні прилади – денситометри, спектрофотометри для контролю якості друку;
- фізико-хімічний аналіз матеріалів – дослідження властивостей паперу, фарб, лаків.

2. Технологічні (Technology) інструменти:

- DTP-системи (Desktop Publishing) – Adobe InDesign, Affinity Publisher для верстки макету книжки;
- програмне забезпечення для управління кольором – Adobe Photoshop, CorelDRAW, GMG ColorProof;
- системи доповненої та віртуальної реальності (AR) – для моделювання друкарського процесу;
- онлайн-платформи для 3D-друку – Tinkercad, Blender (для створення 3D-моделей видавничих прототипів);

3. Інженерні (Engineering) інструменти:

- CAD-системи (AutoCAD, SolidWorks) – для проектування обладнання та книжкових макетів;
- симуляційні моделі друкарських процесів – Printflow, Heidelberg Prinect;
- програмні модулі для розрахунку витрат матеріалів – Heidelberg Signa Station, EFI Pace.

4. Мистецькі (Arts) інструменти:

- програмне забезпечення для ілюстрації та графічного дизайну – Adobe Illustrator, Procreate, Krita;
- типографічні платформи – Monotype, Google Fonts (для підбору шрифтів та створення стильових рішень);
- принципи UX/UI дизайну – розробка адаптивного макету видання, інтерактивного контенту.

5. Математичні (Mathematics) інструменти:

- Excel, MATLAB, Python (NumPy, SciPy) – для обчислення собівартості, витрат, економічних моделей;
- програми для розрахунку друкарських процесів – Printcalc, Enfocus PitStop;
- алгоритми оптимізації розміщення елементів макету – для зменшення витрат матеріалу.

STEAM-інструменти допомагають здобувачам комплексно підходити до розробки книжкового видання: від наукового аналізу матеріалів до технологічного проектування, інженерних розрахунків, художнього оформлення та математичного моделювання процесів. Це забезпечує не лише міждисциплінарний підхід, а й підготовку до реальної професійної діяльності.

2.3 Механізми поєднання технічних, художніх та цифрових технологій у навчальному процесі.

Міждисциплінарні зв'язки відіграють ключову роль у процесі формування професійної компетентності здобувачів вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія». Освітній і пізнавальний процеси мають будуватися на інтеграції знань із загальноосвітніх, загальнопрофесійних та фахових дисциплін. Упровадження STEAM-елементів забезпечує створення цілісного освітнього простору, де знання та практичні навички поєднуються через виявлення спільних закономірностей і концептуальних зв'язків між різними галузями науки і мистецтва. Для ефективного оволодіння професійними компетентностями здобувачам необхідно глибоко розуміти взаємозалежність технологічних процесів, дизайнерських рішень і інженерних підходів, що складають основу сучасної видавничо-поліграфічної діяльності.

Ефективна інтеграція STEAM-елементів вимагає створення механізмів взаємодії між технічними, художніми та цифровими аспектами освіти. Це може бути реалізовано через:

- впровадження міждисциплінарних командних проєктів, де здобувачі вищої освіти працюють у групах з різними компетенціями;
- використання цифрових симуляторів для моделювання реальних виробничих процесів;
- організацію практичних занять з використанням сучасного поліграфічного обладнання та програмного забезпечення;
- співпрацю з галузевими партнерами для проведення інтегрованих лекцій, майстер-класів і стажувань.

Таким чином, методологічні аспекти інтеграції STEAM-елементів спрямовані на створення комплексного, практико-орієнтованого освітнього середовища, що відповідає сучасним викликам професійної діяльності у сфері видавництва та поліграфії.

Для ефективної інтеграції технічних, художніх і цифрових технологій у навчальний процес під час курсового проєкту з розробки книжкового видання необхідно використовувати спеціальні моделі, методики та технологічні рішення. Розглянемо основні підходи до такого поєднання.

1. Проєктно-орієнтована модель навчання.

Суть: здобувачі вищої освіти працюють у командах над створенням книжкового видання, проходячи всі етапи:

- концепція;
- дизайн;
- технічні розрахунки;
- підбір обладнання;
- друк.

Інструменти:

- технічний блок: AutoCAD, Printflow (проєктування технологічного процесу);
- художній блок: Adobe InDesign, Illustrator (макетування та оформлення);

– цифровий блок: AR-моделювання виробничого процесу, автоматизовані розрахунки собівартості у Excel.

Результат: інтеграція всіх аспектів у комплексний проєкт.

2. STEAM-лабораторія для видавничих технологій.

Суть: впровадження лабораторії, де поєднуються технічні, мистецькі та цифрові інструменти.

Компоненти:

– цифрові друкарські технології: моделювання процесів на цифрових друкарських машинах (Heidelberg Prinect);

– 3D-друк та прототипування: використання 3D-моделювання для створення макетів палітурок, фігурних висічок;

– UX/UI-дизайн: розробка інтерактивних книжкових макетів для електронних публікацій (Figma, Adobe XD).

«FabLab (від англійського «Fabrication Laboratory») – це лабораторії, які спеціалізуються на цифровій фабрикації та робототехніці. Їхні головні компоненти – це комп'ютерно-обчислювальні машини, такі як 3D-принтери, лазерні різакі, верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ), електроніка та інструменти для роботи з різними матеріалами. Значення FabLab'ів на базі вищих навчальних закладів (ВНЗ) у STEM (Наука, Техніка, Інженерія, Математика) та STEAM (STEM плюс Мистецтво) освіти може бути великим і має декілька аспектів» [1].

Результат: поєднання класичних видавничих процесів із сучасними цифровими підходами.

3. Модель «Фабрика навчального друку» (Learning Print Factory).

Суть: створення симуляції реального поліграфічного виробництва.

Етапи роботи здобувачів вищої освіти.

1. Дослідження технологічного процесу – вивчення друкарського обладнання, розрахунок параметрів друку.

2. Цифрове моделювання – створення 3D-симуляції роботи друкарських машин (SolidWorks, Printflow).

3. Практична реалізація – друк і контроль якості відбитків на реальному обладнанні.

Результат: формування розуміння реального виробничого циклу та інтеграція цифрових технологій у друкарську справу.

4. Гібридна навчальна модель (Blended Learning).

Суть: поєднання очного навчання з цифровими технологіями.

Методи: AR-симуляції друкарських процесів – моделювання роботи офсетної машини у AR.

«Симуляції можуть навчити речам, які не можна опанувати за допомогою лекцій чи кейсів. Тут учні поринають у неоднозначні, часто суперечливі ситуації, що змушують їх мислити критично, стратегічно, швидко приймати рішення й, мабуть, саме головне, відразу бачити наслідки прийнятих дій, а отже, вчитися на власних, а не на чужих помилках. Такий підхід орієнтує не тільки на засвоєння

знань, але і на способи цього засвоєння, на зразки та способи мислення і діяльності, на розвиток пізнавальних здібностей і творчого потенціалу учнів у процесі розв’язування ними спеціально організованих педагогом навчальних задач. Однак, варто зазначити, що основна частина навчального процесу проходить поза межами симуляції. Тому важливим є необхідний контекст навчання, щоб зробити досвід, отриманий в ігровому процесі, важливим. Щоб симуляція стала частиною власного досвіду, отриманого в процесі навчання, має бути обговорення, де слід розв’язати проблемні питання, що виникли під час дослідження» [9].

Онлайн-платформи для тестування технологічних рішень (Heidelberg Prinect Workflow).

Гейміфікація процесу навчання – застосування інтерактивних курсів для самостійного вивчення поліграфічних технологій.

Результат: гнучке поєднання різних форматів навчання.

5. Інтерактивна карта технологічного процесу.

Суть: використання інтерактивних платформ для візуалізації всього технологічного процесу створення книжкового видання.

Інструменти:

- Miro, MindMeister – створення карт технологічного процесу;
- Notion, Trello – управління проєктом і координація роботи здобувачів.

Результат: покращення розуміння міждисциплінарних зв’язків.

Використання цих підходів дозволить синхронізувати технічні, художні та цифрові аспекти в междисциплінарному курсового проєкту, а також зробить навчання практикоорієнтованим, наближеним до реальних умов поліграфічної та видавничої галузі.

Оновлений змісту міждисциплінарного курсового проєкту з інтеграцією STEAM-елементів представлено в табл. 6.

Таблиця 6 – Оновлений зміст курсового проєкту з інтеграцією STEAM-елементів

№	Назва розділу
1	ВСТУП Актуальність дослідження Мета та завдання курсового проєкту Методологія дослідження Використання STEAM-методів у розробці видання
2	РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА МІЖДИСЦИПЛІНАРНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
3	1.1 Визначення основних термінів та STEAM-компонентів у видавничій справі Основні поняття, пов’язані з дизайном та поліграфією
4	Визначення STEAM-елементів у видавничому процесі
5	1.2 Особливості оформлення видань для дітей початкових класів Психологічні та педагогічні аспекти сприйняття книжкового дизайну Візуальна комунікація та інтерактивні елементи
6	1.3 Технологія підготовки зовнішнього оформлення видання Використання штучного інтелекту для генерації графічних елементів AR-інструменти для моделювання обкладинки

Продовження таблиці 6

№	Назва розділу
7	1.4 Обґрунтування вибору програмних засобів для підготовки видання та презентаційного матеріалу Аналіз сучасних цифрових рішень для дизайну (Adobe InDesign, Illustrator, Figma) Використання 3D-графіки у створенні книжкових макетів
8	1.5 Оформлення вихідних відомостей видання Автоматизація процесу генерації вихідних даних Використання QR-кодів та інтерактивних елементів
9	1.6 Обґрунтування вибору способу друку та основних матеріалів друкарського процесу Вплив матеріалів на екологічність та довговічність видань Розрахунок економічної ефективності різних способів друку
10	РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА МІЖДИСЦИПЛІНАРНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ
11	2.1 Концепція художнього оформлення видання та презентаційного матеріалу Використання STEAM-методів для розробки унікального стилю Застосування математичних алгоритмів для гармонійного макетування
12	2.2 Розробка макету та оригінал-макету зовнішнього оформлення видання Використання технологій 3D-візуалізації обкладинки Аналіз композиційних рішень та кольорових схем
13	2.3 Розробка оригінал-макета внутрішніх сторінок видання Адаптація верстки під різні формати (друкована, електронна, інтерактивна книга) Використання анімаційних елементів у цифрових виданнях
14	2.4 Обрані значення параметрів складання та верстання видання Інтеграція автоматизованих систем верстання Аналіз та оптимізація типографічних параметрів
15	2.4.1 Технічне завдання на верстання Впровадження автоматизованих розрахунків у верстку Використання AI-алгоритмів для адаптації шрифтових рішень
16	2.4.2 Додаткові текстові та інтерактивні матеріали Використання AR-контенту у дитячих виданнях Інтеграція мультимедійних елементів у презентаційні матеріали
17	ВИСНОВКИ Оцінка ефективності використання STEAM-елементів у проєкті Вплив цифрових технологій на процес розробки книжкового видання Подальші перспективи вдосконалення видавничих процесів
18	ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ (Додати терміни, пов'язані з STEAM-методикою та видавничими технологіями)
19	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ Література з видавничих технологій Джерела щодо цифрових рішень у поліграфії
20	Статті про STEAM-підхід у видавничій справі
21	ДОДАТКИ Графічні матеріали (ескізи, макети, 3D-моделі) Технічні розрахунки друкарського процесу Демонстрація інтерактивних можливостей видання

Цей оновлений зміст дозволяє оптимально інтегрувати STEAM-елементи у курсовий проєкт, зосереджуючи увагу на цифрових технологіях, автоматизації процесів, міждисциплінарному підході та інноваціях у видавничій справі.

3 Оцінка ефективності інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт

3.1 Розробка критеріїв оцінювання оновленого курсового проєкту.

Для оцінки ефективності інтеграції STEAM-елементів у курсовий проєкт необхідно розробити систему критеріїв, яка охоплюватиме різні аспекти навчального процесу та результатів роботи здобувачів вищої освіти. Основні критерії можуть включати наступні.

1. Рівень засвоєння знань та навичок:

- здатність здобувачів вищої освіти застосовувати знання з науки, технологій, інженерії, мистецтва та математики для вирішення практичних задач;
- якість виконання окремих етапів проєкту (наприклад, розробка дизайну, використання технологій, розрахунки).

2. Креативність та інноваційність:

- наявність оригінальних ідей у проєкті;
- використання нестандартних підходів до вирішення задач.

3. Практична цінність проєкту:

- відповідність результатів проєкту реальним вимогам галузі видавництва та поліграфії;
- можливість впровадження розробленого продукту у виробничий процес.

4. Командна робота та комунікація:

- здатність студентів ефективно працювати в команді;
- якість презентації результатів проєкту.

5. Рефлексія та самооцінка: здатність здобувачів вищої освіти аналізувати власну роботу та визначати шляхи її вдосконалення.

6. Рівень сформованості ключових компетентностей, зокрема:

- міждисциплінарних знань;
- цифрових і технологічних навичок;
- здатності до творчого мислення й інноваційного підходу.

7. Результати навчальної діяльності здобувачів вищої освіти у межах курсового проєкту (наприклад, якість макетів, використання технологій, дизайн-рішення тощо).

В роботі [5] зазначено, що дотримання охарактеризованих принципів можливе при забезпеченні певних умов оцінювання якості професійної підготовки фахівців, до яких відносимо наступні.

1. «Цілеспрямоване застосування валідних, надійних, точних методів об'єктивного оцінювання навчальних досягнень здобувачів.

2. Застосування декількох інструментів оцінювання (учені називають від 2 до 4) якості підготовки фахівців (тестування, спостереження, проєкт, практичне завдання, обговорення, презентація, інтерв'ю, рольові ігри та ін.), кожен з яких є найбільш адекватним для оцінки відповідного об'єкта, що діагностується (складника професійної компетентності – професійних знань, умінь, навичок, ставлень, особистісних якостей тощо).

3. Інструменти оцінювання якості підготовки фахівців мають бути релевантними об'єктам оцінки і особливостям здобувачів.

4. Продукування висновків про якість підготовки кваліфікованих робітників, фахівців здійснюється на основі триангуляційного методу підвищення надійності – урахування інформації з різних джерел.

5. Завчасне ознайомлення здобувачів з критеріями оцінювання якості їх підготовки у закладах професійної освіти».

Загальний рівень професійної готовності здобувачів до реальних викликів галузі.

Мотиваційні та особистісні зміни, які відбулися в результаті впровадження STEAM-методики (наприклад, підвищення зацікавленості, ініціативності, самостійності).

Оцінку ефективності інтеграції STEAM-елементів проведемо за допомогою рангової моделі критеріїв оцінювання, котра також є ефективним інструментом для кількісного аналізу ефективності інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт.

Кожному критерію надається ранг або вага (наприклад, за шкалою від 1 до 10) – відповідно до його значущості у контексті дослідження.

Оцінюється кожен здобувач вищої освіти або група за кожним критерієм (наприклад, за 5-бальною шкалою).

Обчислюється загальна оцінка ефективності, шляхом множення значення оцінки на вагу критерію та підсумовування всіх результатів.

Формуємо перелік основних критеріїв оцінювання (табл. 7):

- рівень міждисциплінарних знань;
- творче мислення;
- здатність до командної роботи;
- практичне застосування технологій;
- самостійність;
- мотивація до навчання;
- якість виконаного проєкту.

Ранг (вага) – задається на основі значущості кожного критерію для вашого дослідження.

Оцінка – визначається експертами, викладачем або самостійно студентом (якщо модель має елементи самооцінювання).

Ваговий бал – множення рангу на оцінку, що дозволяє підрахувати вплив кожного критерію на загальний результат.

Самооцінювання є ключовим елементом сучасної вищої освіти, спрямованим на формування у здобувачів вищої освіти навичок рефлексії, саморегуляції та відповідальності за власне навчання. Цей процес дозволяє студентам критично оцінювати свої досягнення, виявляти сильні та слабкі сторони, а також планувати подальший професійний розвиток.

«Навички самооцінки давно визначені як важливі якості випускників. Освітні заходи, які підтримують студентів у набутті цих навичок, часто включені

до вищої освіти, яка зазвичай є останньою фазою формальної освіти. Однак література про самооцінювання у вищій освіті все ще повідомляє неоднозначні результати щодо його впливу, особливо з точки зору точності, а також щодо загальної академічної успішності. Це вказує на те, що ще не до кінця зрозуміло, як розвивати самооцінку успішно та коли вона ефективна» [14].

Таблиця 7 – Перелік критеріїв оцінювання

Критерій	Ранг (вага критерію)	Оцінка (1-5 балів)	Ваговий бал (ранг × оцінка)
Рівень міждисциплінарних знань	5		
Творче мислення	4		
Здатність до командної роботи	3		
Практичне застосування технологій	5		
Самостійність	3		
Мотивація до навчання	2		
Якість виконаного проєкту	5		
Загальна підсумкова оцінка			Σ вагових балів

Важливість самооцінювання здобувачів вищої освіти:

– розвиток метапізнання та саморегуляції. Самооцінювання сприяє розвитку метапізнавальних навичок, дозволяючи студентам усвідомлювати власні процеси навчання та ефективно ними керувати. Це, в свою чергу, підвищує здатність до самостійного навчання та адаптації до нових освітніх викликів;

– підвищення академічної успішності. Дослідження показують, що студенти, які регулярно практикують самооцінювання, демонструють вищі академічні результати. Це пов'язано з тим, що вони краще розуміють критерії оцінювання та можуть ефективно коригувати власну навчальну діяльність;

– формування відповідальності та автономії. Залучення студентів до процесу самооцінювання сприяє розвитку почуття відповідальності за власне навчання та формує навички автономної роботи. Це особливо важливо в контексті підготовки до професійної діяльності, де самостійність є ключовою компетенцією;

– покращення якості освітнього процесу. Інтеграція самооцінювання в освітній процес дозволяє викладачам отримувати зворотний зв'язок від студентів, що сприяє вдосконаленню методів викладання та підвищенню якості освіти загалом.

Особливості самооцінки здобувачів вищої освіти залишаються актуальним питанням дослідників соціальної та вікової психології, психології вищої школи. Узагальнено зв'язок особливостей самооцінки студентів закладу вищої освіти та складнощів адаптаційних періодів навчання, якими є перший рік навчання та випускний курс. Специфіка останнього пов'язана з проходженням студентами виробничої практики, а на сьогодні для значної кількості молодих людей і початком професійної діяльності. З'ясовано, що найбільш складним періодом дослідниками виділено перший рік навчання, що пов'язано з проблемами

адаптації юнаків до умов та специфіки навчання у новому закладі освіти. Визначені переваги в цьому процесі студентів з об'єктивною самооцінкою [8].

«Здатність до самооцінки є фундаментальною для саморегульованого та безперервного навчання (Панадеро, Ліпневич та Бродбент). Хоча самооцінку можна розуміти як навичку чи здатність, у цій статті ми концептуалізуємо її як навчальну практику з педагогічної точки зору. Не просто самооцінка чи вгадування оцінки, самооцінка є суттєвим процесом, у якому студенти шукають і використовують відгуки з різних джерел, розмірковують над ними, а потім оцінюють свою ефективність навчання за вибраними критеріями (Панадеро, Браун і Стрійбос) емпірично продемонстрував модель циклічного процесу самооцінки з трьома основними діями: (1) визначення критеріїв оцінки, (2) самостійний пошук зворотного зв'язку та (3) саморефлексія. У цій статті ми переосмислюємо процес, висвітлюючи сприятливу роль пошуку зворотного зв'язку та формування внутрішнього зворотного зв'язку як основних елементів грамотності зворотного зв'язку (рис. 2)» [15].

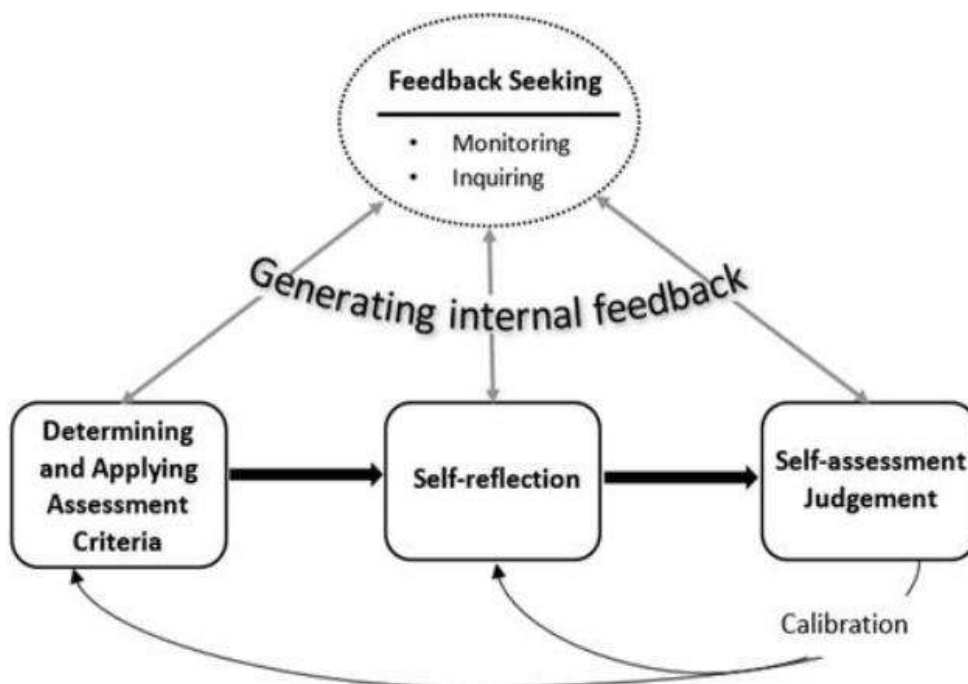


Рисунок 2 – Процес самооцінки, що включає зворотний зв'язок [15]

Для самооцінювання ефективності своєї роботи над міждисциплінарним курсовим проектом із використанням STEAM-елементів здобувач вищої освіти заповнює відповідну таблицю (табл. 8). У таблиці передбачено визначення рівня сформованості ключових компетентностей за обраними критеріями, а також можливість надати короткий коментар або приклад, що підтверджує оцінку.

Такий підхід сприяє розвитку рефлексивного мислення, усвідомленню власного поступу в навчанні та формуванню навичок саморегуляції. Результати самооцінювання можуть бути використані для подальшого вдосконалення індивідуальної траєкторії навчання та планування особистого професійного зростання.

Таблиця 8 – Таблиця самооцінки здобувачів вищої освіти

№	Критерій оцінювання	Самооцінка (1-5 балів)	Коментар або приклад із проєкту
1	Рівень міждисциплінарних знань		Я інтегрував(ла) знання з таких дисциплін:...
2	Творче мислення		Я запропонував(ла) креативне рішення, наприклад...
3	Здатність до командної роботи		Я взаємодіяв(ла) з командою у такий спосіб...
4	Практичне застосування технологій		Я використав(ла) наступні цифрові інструменти/технології...
5	Самостійність у прийнятті рішень		Я самостійно виконав(ла), обрав(ла), вирішив(ла)...
6	Мотивація до навчання		Я був(ла) залучений(на), тому що...
7	Якість виконаного проєкту		Результат відповідає цілям, виглядає професійно...
	Середній бал (Σ балів / 7)		

3.2 Аналіз результатів навчання та впливу STEAM-методології на здобувачів вищої освіти.

Методична система інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт здобувачів вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» реалізується через технологію оцінювання ефективності професійної підготовки здобувачів. Ця система передбачає чотири взаємопов'язані стадії:

На першому етапі здійснюється аналіз кваліфікаційних вимог і змісту освітньо-професійної програми з метою встановлення еталонних результатів навчання – визначення переліку знань, умінь та компетентностей, що мають бути сформовані в процесі впровадження STEAM-підходу.

Другий етап передбачає диференціацію еталонних результатів на окремі дидактичні елементи шляхом понятійно-змістового аналізу професійних умінь і визначення конкретних дій та операцій, що забезпечують досягнення поставлених цілей.

На третьому етапі розробляються інструменти діагностики – критерії оцінювання, матриці досяжності, орієнтовані графи взаємозв'язків, які дозволяють оцінити інтеграцію STEAM-елементів у навчальний процес.

Завершальний етап передбачає проведення процедур оцінювання та формулювання висновків щодо рівня сформованості професійних компетентностей здобувачів на різних етапах виконання міждисциплінарного курсового проєкту.

Таким чином, методична система забезпечує поетапний, обґрунтований підхід до моніторингу якості підготовки майбутніх фахівців у галузі видавництва та поліграфії з урахуванням вимог сучасної STEAM-освіти.

Структура технології оцінювання якості підготовки фахівців представлено на рисунку 3.

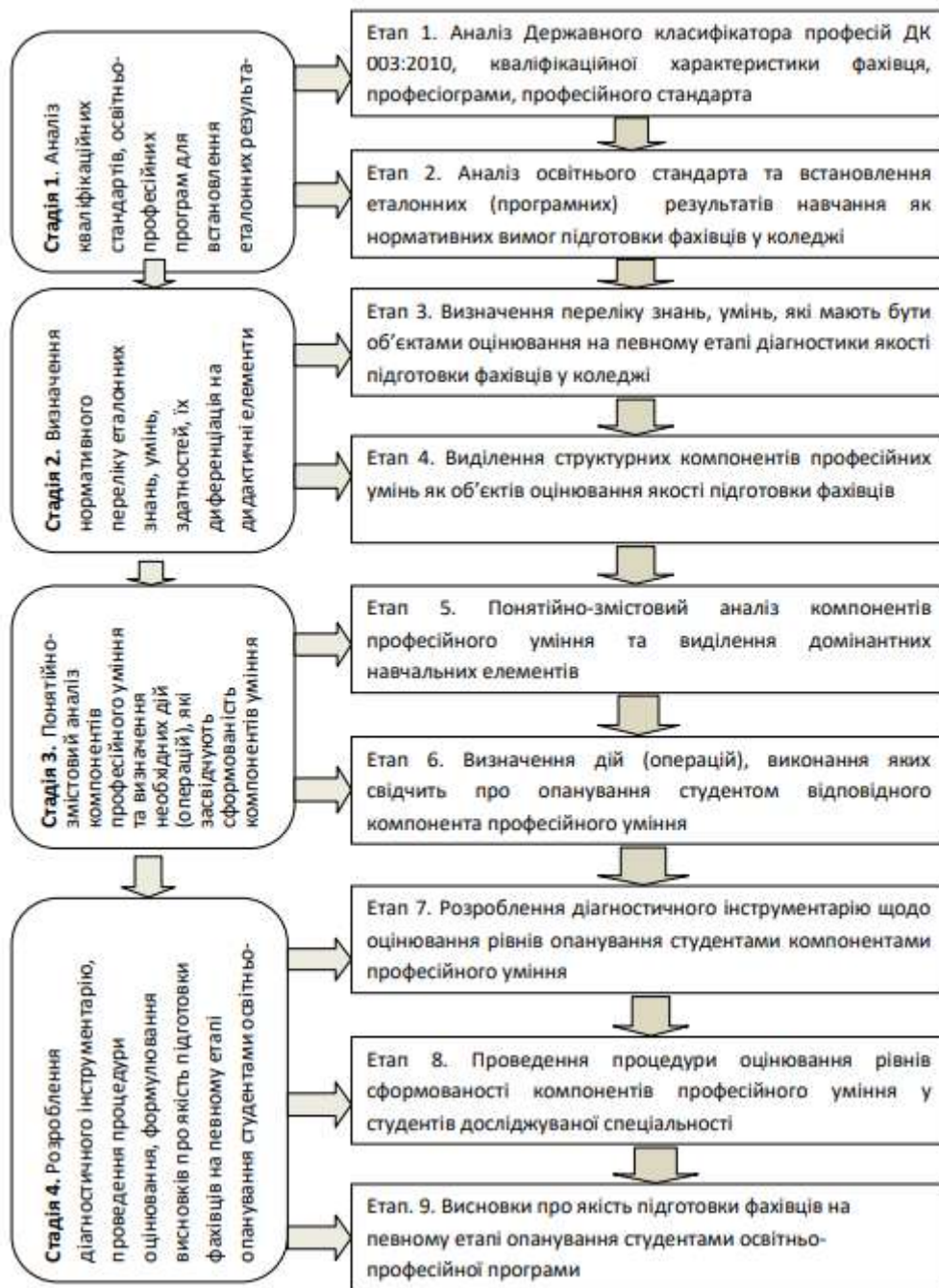


Рисунок 3 – Структура технології оцінювання якості підготовки фахівців [5]

Для оцінки ефективності інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт здобувачів вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» застосовано метод рангового оцінювання критеріїв. У сформованій таблиці наведено ключові критерії оцінювання, кожен із яких отримав певну вагу залежно від його значущості у розвитку професійних компетентностей студентів. Процедура самооцінювання здійснювалася за 5-бальною шкалою, після чого отримані результати множилися на відповідний ваговий коефіцієнт.

Розрахунок вагового балу для кожного критерію дозволив об'єктивно кількісно оцінити ступінь досягнення навчальних результатів. Сума вагових

балів дала змогу визначити інтегральний показник загальної ефективності виконання курсового проєкту, враховуючи міждисциплінарний характер завдань, креативність підходу та практичне застосування знань.

Такий формат оцінювання забезпечує вищий рівень об'єктивності, стимулює рефлексивне мислення здобувачів вищої освіти та сприяє їхньому усвідомленню власної освітньої динаміки.

В табл. 9 наведено розрахунок вагового балу для кожного критерію.

Таблиця 9 – Застосування методу рангового оцінювання критеріїв

Критерій	Ранг (вага критерію)	Оцінка (1-5 балів)	Ваговий бал (ранг × оцінка)
Рівень міждисциплінарних знань	4	5	20
Творче мислення	4	4	16
Здатність до командної роботи	5	3	15
Практичне застосування технологій	5	5	25
Самостійність	4	3	12
Мотивація до навчання	4	2	8
Якість виконаного проєкту	5	5	25
Загальна підсумкова оцінка			121

З метою наочної демонстрації результатів самооцінювання здобувачів вищої освіти було побудовано графік, який відображає розподіл вагових балів за ключовими критеріями оцінювання.

Графік самооцінювання за критеріями для міждисциплінарного курсового проєкту з використанням STEAM-елементів представлено на рис. 4. На графіку показано співвідношення вагових оцінок за такими критеріями, як рівень міждисциплінарних знань, творче мислення, застосування технологій на практиці, командна взаємодія, самостійність, навчальна мотивація та якість виконання проєкту.

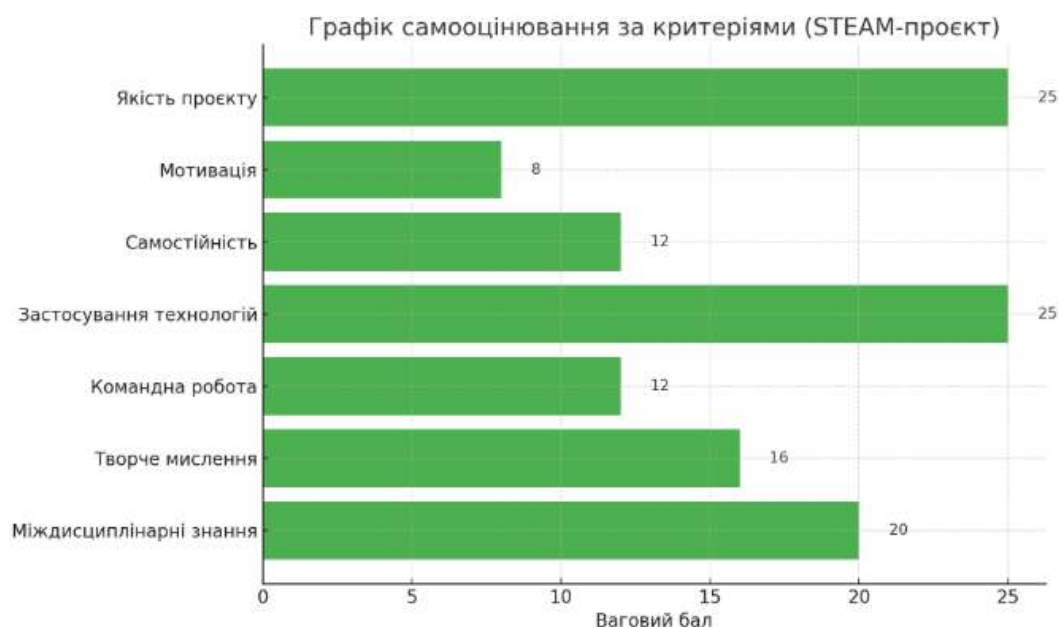


Рисунок 4 – Графік самооцінювання за критеріями для міждисциплінарного курсового проєкту з використанням STEAM-елементів

Використання такого візуального інструменту дозволяє оперативно виявити сильні й слабкі аспекти підготовки здобувачів, визначити провідні напрями їхнього професійного розвитку, а також сформулювати рекомендації для подальшого вдосконалення освітніх програм.

Для аналізу результатів навчання та впливу STEAM-методології на здобувачів вищої освіти можна використати такі методи.

1. Опитування здобувачів вищої освіти:

- збір зворотного зв'язку щодо їхнього досвіду роботи над проектом;
- оцінка рівня задоволеності від використання STEAM-елементів.

2. Порівняльний аналіз результатів:

- порівняння результатів студентів, які працювали за традиційною методикою, з тими, хто використовував STEAM-підхід;
- оцінка рівня креативності, якості виконання завдань та практичної цінності проєктів.

3. Експертна оцінка:

- залучення фахівців з галузі видавництва та поліграфії для оцінки якості розроблених проєктів;
- аналіз відгуків експертів щодо інноваційності та придатності проєктів до впровадження.

4. Кількісні та якісні показники:

- оцінка успішності студентів за бальною системою;
- аналіз кількості успішно захищених проєктів.

Результати аналізу:

- підвищення рівня зацікавленості здобувачів вищої освіти у навчанні;
- поліпшення якості виконання проєктів завдяки інтеграції STEAM-елементів;
- розвиток у здобувачів вищої освіти навичок критичного мислення, креативності та роботи в команді.

Орієнтований граф слугує ефективним засобом візуалізації взаємозв'язків між ключовими критеріями, що визначають сильні сторони впровадження STEAM-орієнтованого навчання. Його побудова дає змогу виявити, які саме професійні компетентності взаємно підтримують і посилюють одна одну в процесі підготовки здобувачів вищої освіти у сфері видавництва та поліграфії. На рис. 5 представлено орієнтований граф взаємозв'язків критеріїв STEAM-проекту.

У межах дослідження інтеграції STEAM-елементів у міждисциплінарний курсовий проєкт здобувачів вищої освіти спеціальності G20 «Видавництво та поліграфія» матриця досяжності використовується як ефективний засіб для комплексної – кількісної та якісної – оцінки рівня сформованості професійних компетентностей здобувачів вищої освіти.

Застосування матриці досяжності дозволяє:

- надати об'єктивну оцінку рівня досягнення освітніх результатів за основними критеріями, такими як розвиток творчого мислення, здатність до міждисциплінарної взаємодії, практичне використання технологій, самостійність і командна робота;

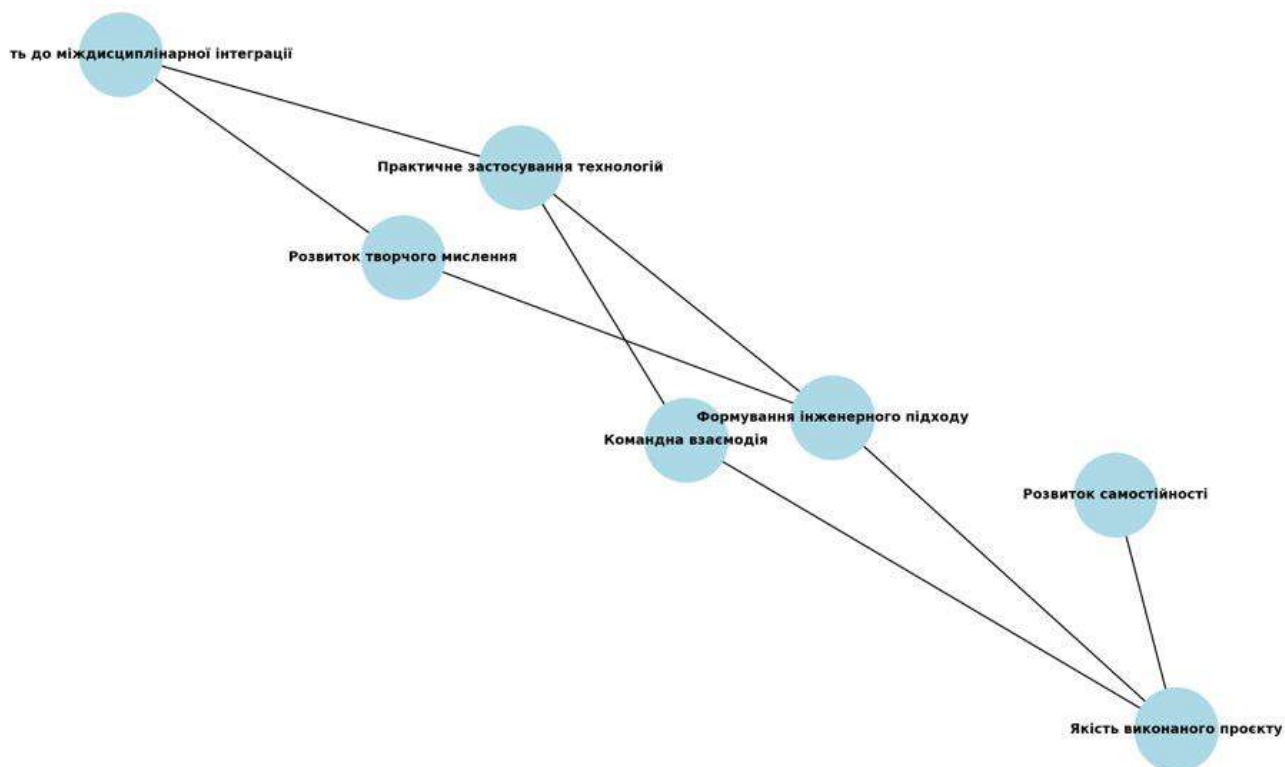


Рисунок 5 – Орієнтований граф взаємозв'язків критеріїв STEAM-проекту

- визначити ефективність реалізації міждисциплінарного підходу в рамках виконання курсового проєкту та рівень інтеграції STEAM-елементів у зміст навчальної діяльності;
- проаналізувати сильні сторони підготовки здобувачів вищої освіти та виявити аспекти, що потребують удосконалення, через деталізацію результатів за окремими критеріями;
- сформулювати рекомендації для оптимізації методики викладання, орієнтованої на посилення практичної складової, розвиток креативного та інженерного мислення;
- відстежувати динаміку розвитку професійних компетентностей здобувачів вищої освіти протягом виконання різних етапів міждисциплінарного проєкту;
- проводити порівняльний аналіз результатів між окремими здобувачами вищої освіти або групами з метою об'єктивного ранжування та моніторингу впливу впроваджених освітніх інновацій.

Отже, матриця досяжності є потужним аналітичним інструментом, який забезпечує обґрунтованість висновків дослідження та сприяє підвищенню його прикладної цінності.

Перш ніж побудувати матрицю досяжності необхідно:

- визначити критерії оцінювання. На першому етапі обираються основні критерії, що відображають досягнення навчальних результатів (наприклад: розвиток творчого мислення, міждисциплінарна інтеграція, практичне застосування технологій та інші);

- встановити шкали оцінювання. Запроваджується триступенева шкала: 3 бали – повне досягнення результату; 2 бали – часткове досягнення результату; 1 бал – результат не досягнуто;

- організувати самооцінювання або експертної оцінки. Оцінювання може здійснюватися самими здобувачами вищої освіти або залученою експертною комісією за кожним критерієм.

Заповнення матриці досяжності. Для кожного критерію виставляється відповідна оцінка (1, 2 або 3 бали), що фіксується у відповідній клітинці таблиці.

- розрахунок середнього балу або загальної суми балів. Після заповнення матриці обчислюється середнє арифметичне значення балів за всіма критеріями або загальна сума балів для визначення інтегрального рівня досягнень.

- проаналізувати отримані результати:

- високий середній бал (наближений до 3) свідчить про успішну інтеграцію STEAM-елементів і високу якість професійної підготовки;

- низький бал вказує на необхідність вдосконалення окремих аспектів навчальної діяльності.

В табл. 10. Показано побудова матриці результатів самооцінювання.

Таблиця 10 – Побудова матриці результатів самооцінювання

Критерій/ Результат	Досягнуто повністю (3 бали)	Досягнуто частково (2 бали)	Недосягнуто (1 бал)	Середній бал
Розвиток творчого мислення	1			
Здатність до міждисциплінарної інтеграції		1		
Практичне застосування технологій	1			
Самостійність у виконанні завдань		1		
Командна робота	1			
Якість виконаного міждисциплінарного проєкту	1			
Середній бал	≈2,83			

Аналіз критеріїв досяжності свідчить про високий рівень сформованості ключових компетентностей у здобувачів вищої освіти. Середній показник – близько 2,83 бали – засвідчує наближене до максимального виконання визначених навчальних цілей.

Максимальні результати (3 бали) було зафіксовано за такими позиціями:

- розвиток творчого мислення;
- практичне застосування технологій;
- командна взаємодія;
- якість реалізації міждисциплінарного проєкту.

Ці дані підтверджують ефективність освітнього середовища в аспектах формування креативних умінь, практичного застосування знань та розвитку командних навичок.

У той же час, часткове досягнення очікуваних результатів (2 бали) за критеріями:

- міждисциплінарна інтеграція,
- самостійність у виконанні завдань

– вказує на потребу в подальшому удосконаленні відповідних компонентів освітнього процесу. Ймовірно, ці аспекти потребують додаткового педагогічного супроводу або методичного коригування з метою посилення самостійної діяльності студентів та цілісного поєднання знань із різних предметних галузей.

Загалом, отримані результати засвідчують високий рівень залученості здобувачів вищої освіти у проєктну діяльність і підтверджують успішне впровадження принципів STEAM-освіти та студентоцентрованого підходу в навчальний процес.

Висновки

На основі отриманих результатів можна визначити наступні напрями вдосконалення методики інтеграції STEAM-елементів.

1. Розширення спектру STEAM-елементів:

- впровадження новітніх технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність, штучний інтелект;
- використання додаткових мистецьких та інженерних підходів для підвищення креативності проєктів.

2. Покращення інфраструктури:

- забезпечення здобувачів вищої освіти сучасним обладнанням та програмним забезпеченням;
- створення спеціалізованих лабораторій для реалізації STEAM-проєктів.

3. Підвищення кваліфікації викладачів:

- проведення тренінгів та семінарів з використання STEAM-методології;
- залучення фахівців з інших галузей для проведення міждисциплінарних занять.

4. Розробка нових навчальних матеріалів:

- створення підручників, посібників та онлайн-курсів, орієнтованих на STEAM-освіту;
- розробка типових завдань та кейсів для курсових проєктів.

5. Моніторинг та оцінка результатів:

- регулярне проведення опитувань здобувачів вищої освіти та викладачів для оцінки ефективності методики;
- впровадження системи постійного вдосконалення навчального процесу на основі зібраних даних.

Список літератури.

1. Асманкіна, А.А., & Сотнікова, Т.Г. (2024). STEM та STEAM: науково-практичні тенденції розвитку цифровізації в умовах євроінтеграції. Матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації. Львів – Торунь: Liha-Pres.
2. Горбенко, С., & Василяшко, І. (2023). Технології впровадження STEM-освіти у закладах вищої освіти. Актуальні аспекти розвитку STEAM-освіти в умовах євроінтеграції. (с. 130-132).
3. Завалевський, Ю., Гущина, Н., Василяшко, І., Коршунова, О., & Патрикеева, О. (2021). Створення педагогічних умов для впровадження дослідницького методу навчання з використанням ІТ- та STEM-технологій у закладах загальної середньої освіти. Наукові записки Малої академії наук України, 2-3(21-22), 50-60.
4. Калюжна, Ю.С. (2024). Інтеграція міждисциплінарного підходу в навчальні процеси екологічних дисциплін. Збірка матеріалів 88-ї Міжнародної науково-технічної та науково-методичної конференції університету. Секція кафедри Екології. (с. 28-35). <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8a0cbff0-20cc-4aab-ab99-3e24a177e319/content>
5. Лузан, П.Г., Каленський, А.А., Пащенко, Т.М., Мося, І.А., & Ямковий, О.Ю. (2021). Методичні основи оцінювання якості підготовки фахівців у закладах фахової передвищої освіти: методичний посібник. Житомир: «Полісся».
6. Освіта: STEM і STEAM – додайте трохи творчості до науки! <https://innovationhouse.org.ua/statti/osvita-stem-i-steam-dodajte-trohi-tvorchosti-do-nauki/>.
7. Патрикеева, О., Горбенко, С., Лозова, О., & Василяшко, І. (2021). Проблема розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Проблеми освіти, 2(95), 53-67. <https://doi.org/10.52256/2710-3986.2-95.2021.04>.
8. Пухно, С.В. (2023). Самооцінка студентів закладів вищої освіти як чинник успішності навчання. Слобожанський науковий вісник. Серія: Психологія, (2), 65-74.
9. Когут, О.І., Кривокульський, Л.Є., & Німко, Н.М. (2023). Цифрові інструменти для впровадження STEM-освіти: Методичний посібник. Тернопіль: ТАЙП.
10. Кравченко, Ю.А., & Симоненко, Т.В. (2024). Цифрові тренди Stem-освіти у системі професійної педагогіки (аналітичний огляд). Освіта і наука в умовах війни (онлайн-проект). Віртуальний читальний зал освітянина ДНПБ України ім. В.О. Сухомлинського. Київ.
11. Langdon, D., McKittrick, G., Beede, D., Khan, B., & Doms, M. STEM: Good jobs now and for the future. Washington, DC: U.S. Department of Commerce. http://www.esa.doc.gov/sites/default/files/stemfinaljuly14_1.pdf.
12. Peters-Burton, E.E., Lynch, S.J., Behrend, T.S., & Means, B.B. (2014). Inclusive STEM high school design: 10 critical components. Theory Into Practice, 53(1), 67-71.
13. STEM-освіта в Україні: Перспективи. <http://womo.ua/stem-obrazovaniyev-ukraine-perspektivy-i-razvitiya/>.
14. Tai, J., et al. (2024). Elements for understanding and fostering self-assessment of students in higher education. Frontiers in Education. Sec. Assessment, Testing and Applied Measurement, (9). <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/>.
15. Zi, Yan, & Carless, D. (2022). Self-assessment is about more than self: the enabling role of feedback literacy. Assessment & Evaluation in Higher Education, 47(7), 1116-1128. <https://doi.org/10.1080/02602938.2021.2001431>.
16. Lathan, J. Complete Guide to Student-Centered vs. Teacher-Centered Learning. <https://onlinedegrees.sandiego.edu/teacher-centered-vs-student-centered-learning/>.

ОСОБЛИВОСТІ ШИРОКОФОРМАТНОГО ДРУКУ НА ТКАНИНІ, ОЦІНКА ЯКОСТІ ДРУКУ ТА КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯ НА РІЗНИХ МАТЕРІАЛАХ

Чеботарьова І.Б.

ст.викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Григор'єв О.В.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Манаков В.П.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Яценко Л.О.

ст.викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** В роботі досліджено технології, які використовуються для широкоформатного друку на тканині та особливості матеріалів, на яких здійснюється друк. Зроблено аналіз тенденцій розвитку зовнішньої реклами і можливості використання широкоформатного друку для виготовлення рекламної продукції та оформлення інтер'єру. На підставі вимог діючих нормативних документів, регламентуючих процес широкоформатного друку і практичних рекомендацій виробників рекламної продукції та виробників плотерів визначена номенклатура показників якості для оцінки широкоформатного друку на полотні і розроблені тест-об'єкти для проведення дослідження. Проведено експериментальне дослідження якості друку на різних матеріалах; розроблена методика комплексної оцінки якості друкування на широкоформатних принтерах та надані рекомендації щодо оптимального вибору матеріалів для широкоформатного друку з урахуванням вимог замовника та особливостей діючого поліграфічного підприємства.*

***Ключові слова:** ТЕХНОЛОГІЯ ШИРОКОФОРМАТНОГО ДРУКУ, СОЛЬВЕНТНИЙ ДРУК, УФ-ДРУК, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, ПОЛОТНО, КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК ЯКОСТІ.*

Вступ

Друк на полотні – особливий метод друку на синтетичному або тканинному матеріалі. Він використовується як для прикраси інтер'єру (офісів або житлових приміщень), так і в якості презенту. Відмінною рисою картини в якості подарунка є високий рівень персоналізації, що робить його більш цінним.

Друк фото на полотні виконується за допомогою UV-принтерів у високій роздільній здатності, що гарантує гарну деталізацію навіть самих дрібних елементів зображення. Завдяки особливостям виробництва, картина на полотні може радувати не один рік без втрати насиченості фарб.

Друк може здійснюватися як на синтетичному полотні, яке не втрачає своєї форми і не провисає, так і на натуральному матеріалі, який вважається більш екологічним, фактурним і в більшості випадків більш привабливим для замовника.

Вже понад 500 років полотно є одним з традиційних і найбільш популярних матеріалів для живопису. Зараз, з розвитком технології цифрового широкоформатного друку полотно ще і основа для друку художніх та рекламних матеріалів – плакатів, репродукцій і фотографій [1].

Полотно має красиве плетіння, фактурний матеріал, що надає відбитку схожість на реальну картину, особливо якщо використовується додаткове покриття спеціальними лаками. Так на виході виходить зображення, яке практично не відрізняється від намальованого руками. Тому така продукція і такий вид друку зараз дуже популярний.

В останні роки також значно збільшилися об'єми використання широкоформатного друку як для зовнішньої або транзитної реклами, так і для внутрішніх робіт. Різні технології друкування та різні матеріали забезпечують використання цього виду друку для виготовлення самої різноманітної продукції – від маленьких картин до супервеликих брендмауерів.

Багато поліграфічних підприємств, які займаються широкоформатним друком, надають послуги друкування на полотні [2]. Але не всі підприємства можуть задовольнити повні потреби споживачів. Це пов'язано з рядом факторів:

- по-перше, друкування здійснюється на різних за фактурою матеріалах і це впливає на зовнішній вид та якість відбитку;
- по-друге, полотно може бути як натуральним (з різних матеріалів), так і синтетичним, що позначається на екологічності виробу і впливає на її ціну;
- по-третє, для друкування можуть використовуватись різні технології друку, що теж впливає як на якість продукції, так і на інші властивості (ціну, екологічність, реалістичність тощо).

Всі ці фактори необхідно враховувати на етапі формування замовлення даної продукції для задоволення потреб споживачів, а також необхідно об'єктивно оцінювати якість друку цієї продукції [3-7].

Це актуалізує проблему оцінки та контролю якості широкоформатного друку. Дана проблема є недостатньо вивченою. Тому в даній роботі досліджена проблема контролю якості широкоформатного друку на різних матеріалах та розроблена методика комплексної оцінки відбитків, отриманих на різному полотні з використання різних технологій друку.

Мета та задачі дослідження

Мета роботи – дослідження особливостей широкоформатного друку на полотні, аналіз різних технологій друкування та оцінка якості відбитків на різних типах матеріалів.

Об'єкт дослідження – технології широкоформатного друку сольвентними та УФ-чорнилами на різних видах полотна.

Предметом дослідження є властивості синтетичних та натуральних полотен, на яких здійснюється друк, особливості технологічних операцій для різних видів друку та методи контролю і оцінки якості друку.

Для практичної цінності дослідження проводились на діючих поліграфічних підприємствах з використанням їх виробничого обладнання. Для наближення до реальних умов було обрано матеріал, який використовується на підприємствах. Це дозволило дослідити реальні технологічні процеси широкоформатного друку, виявити проблемні місця і розробити рекомендації для цих підприємств щодо підвищення якості широкоформатного друку

Для реалізації мети в роботі вирішується ряд задач:

- огляд і аналіз літературних джерел за темою дослідження;
- дослідження особливостей технологій та матеріалів, які використовуються для широкоформатного друку на тканині;
- вивчення вимог діючих нормативних документів, регламентуючих процес широкоформатного друку та практичних рекомендацій виробників рекламної продукції та виробників обладнання;
- визначення номенклатури показників для оцінки якості широкоформатного друку на полотні;
- розробка тест-об'єктів для проведення дослідження та друкування їх на різних матеріалах для експериментального дослідження якості друку;
- розробка методики комплексної оцінки якості широкоформатного друку на полотні;
- аналіз отриманих результатів та надання рекомендацій щодо покращання процесу друку на полотні для поліграфічних підприємств;
- розробка методики вибору матеріалів відповідно до побажань замовника та вимог технологій друкування.

Основна частина

1 Аналіз способів друкування на тканині

Для друку на тканинах застосовуються різні методи друку: цифровий друк, сублімаційний друк, трафаретний друк на тканинах, термоперенос [8-10].

Розглянемо особливості цих технологій друкування для обґрунтування подальшого дослідження.

Сублімаційний друк ґрунтується на явищі сублімації, перехід речовини з твердого стану в газоподібний, оминаючи рідкий стан [11]. Друк, при якому фарба при температурі 180-200°C і тиску переходить з матового паперу на поверхню. Друк наноситься на вироби, які не бояться термообробки, наприклад, синтетичні білі тканини (на кольорових колір тканини змішується з кольором друку), сувенірну продукцію, оброблену сублімаційним лаком. Друк сублімації

може застосовуватися для нанесення зображень на тканину. На відміну від інших способів друку дозволяє наносити на тканину фотографічні зображення з високою якістю. Технологія дозволяє отримати яскраві кольори, стійкі до впливу навколишнього середовища. Зі збільшенням популярності сублімації стали з'являтися нові матеріали, що використовуються здебільшого в рекламній та сувенірній продукції. Особливої популярності набули листи фарбованого алюмінію, керамічна плитка, покриті шаром особливого полімеру, в який проникає сублімаційна фарба. Таким чином виготовляються нагородні дошки, офісні таблички, фотоплитка і багато іншого.

Слід зазначити, що стійким до впливу навколишнього середовища (у випадку з друком на текстилі) відбиток стає тільки в тому випадку, якщо об'єктом переносу є синтетичне (поліестрове) полотно. Тобто, якщо перенести зображення сублімаційним способом на сумішеві тканини і просто його випрати, зображення зблякне. Причому ступінь зміни насиченості кольору залежить від процентного вмісту бавовни в полотні.

Технологія сублімації дозволяє отримувати чудову якість на таких видах тканини: шовк, атлас, сітка для прапорів, габардин, сатин.

Переваги та недоліки сублімації:

- сублімаційний принтер друкує дуже довговічні зображення за рахунок того, що фарба тверда і знаходиться під поверхнею паперу. Захисний шар перешкоджає випаровуванню фарби з-під поверхні;

- сублімаційні принтери друкують більш якісне зображення, ніж струменеві принтери при тій же роздільній здатності. Це обумовлено тим, що піксель не має чіткої межі, тому навіть під мікроскопом не помітні «краплі». Також якість підвищується за рахунок можливості змішувати на носії зображення кольору в досить широкому діапазоні (до 6 біт кожного з базових кольорів). Найбільш світлі тони формуються так само природно, як і темніші;

- сублімаційний принтер досить дорогий, також, як і витратні матеріали до нього;

- до серйозних проблем друку сублімації можна віднести вкрай повільне виведення фотографій (фото 10 × 15 см друкується більше 1 хвилини) і чутливість застосовуваних чорнила до ультрафіолету. Однак зараз вводяться нові типи захисної фарби, що забезпечує захист від ультрафіолету [9-11].

Технологія прямого цифрового друку на тканині дозволяє зробити практично будь-який одяг та інші вироби з тканини абсолютно унікальними. Можливий друк на футболках, джинсах, сорочках, регланах, кофтах і інших предметах одягу тиражем від одного екземпляра. Фарба, нанесена таким методом друку, стає ніби частиною одягу і не зникає згодом, її можна гладити з будь-якого боку, одяг під час прання не втрачає свого кольору досить довго.

Прямий друк по текстилю (або прямий цифровий друк по текстилю, direct-to-garment, digital textile printing) – це спосіб нанесення зображення на тканину за допомогою принтера DTG (Direct to Garment) без необхідності додаткової підготовки. Він передбачає прямий друк зображення без проміжних носіїв [2, 12].

Ця технологія є найсучаснішим видом друку на текстильних виробках. Перенесення зображення подібно звичайному друку на папері або інших стандартних носіях, але вимагає принципово іншого друкарського блоку і фарб на основі оксидів металів, здатних надійно утримуватися на тканині. Для світлої тканини використовується звичайний алгоритм роботи струминного принтера, для темної – нанесення спеціального праймера і далі повторення процесу для світлої тканини.

Підготовка матеріалу має на увазі згладжування, постпроцес – фіксацію нагріванням (до 150°C). Для прямого друку можуть використовуватися як спеціалізовані пристрої, так і широкоформатні струменеві принтери зі спеціальним блоком. З точки зору операційної системи в цьому випадку відбувається звичайний друк, тобто не потрібно ніякої спеціальної підготовки пристрою крім профілювання при установці. Повний процес обробки одного виробу займає близько 15 хвилин, з яких безпосередньо друк – близько 3-5 хвилин.

Переваги:

- а) оптичний дозвіл від 1440 dpi (залежить від текстури тканини);
- б) рівень деталізації набагато вище термотрансферного та шовкотрафаретного друку (шовкографії);
- в) технологія має всі перевагами цифрової поліграфії: низька собівартість при малих тиражах, швидкість друку, гнучкість зміни макета від копії до копії (персоніфікація);
- г) зображення витримує більше 60 циклів прання без істотної втрати якості, так як полімеризовані фарби стають буквально частиною тканини;
- д) можливий чотирьох, шести або восьмикольоровий друк (СМΥК + Dark blue + Red + Grey + Golden Yelllow) с дозволом до 2880 * 1440 dpi.

Для прямого друку на одязі підходить практично будь-який вид тканини, на якому може полімеризуватися фарба [8]. На практиці це будь-який високоякісний текстиль, застосовуваний в рекламній і промо-сфері, а також звичайний одяг. Метод прямого друку неможливо використовувати для синтетичних тканин, зазвичай використовують 100% бавовна, або 95% бавовни і 5% лайкри. Також можливий друк на темних тканинах з використанням білих чорнил, які використовуються в якості підкладки перед нанесенням кольорового зображення.

Трафаретний друк (або шовкотрафаретний друк, шовкографія) – це спосіб друку, при якому зображення наноситься на поверхню за допомогою спеціального трафарету (шаблону) та сітчастої форми [13].

Суть процесу – фарба протискується через відкриті ділянки сітки (трафарету) на матеріал, що задруковується. Закриті частини сітки не пропускають фарбу, завдяки чому формується зображення.

Найбільш поширений метод для друку на тканинах великими тиражами (тиражі рекомендуються від 20 штук). Чим більше тираж, тим менше вартість малюнка на тканині. Це дуже стійкий і довговічний друк, але прання рекомендується до 40° C.

Використовується для нанесення різних зображень, логотипів та написів на текстильні вироби. Для цього способу нанесення застосовують спеціальні фарби і лаки, які безпечні й екологічні, тому широко використовуються для нанесення зображень на дитячих речах. Також за допомогою трафаретного друку можна робити рельєфні та структуровані зображення при використанні спеціальних фарб та флоків.

Переваги та можливості трафаретного друку [8]:

а) нанесення на матеріал шарів різної товщини. Такий шар в рази щільніше, ніж при офсетному друці, що в свою чергу дозволяє фарбі інтенсивніше переноситися на матеріал. Використання криючих фарб дає можливість зберігати бажаний, тобто первісний колір;

б) шовкографія дозволяє створювати більш глибокий ефект насиченості і блиску за рахунок підвищеної товщини шарів;

в) дозволяє покривати матеріал, товщина якого перевищує десятки міліметрів;

г) трафаретний друк використовується у випадках, де необхідно нанести зображення на гнучкі матеріали, або матеріали, які деформуються (поліетилен, пластик, фольга тощо);

д) дозволяє наносити зображення на вже готові вироби;

е) економічність використання даного методу при великих тиражах.

Якщо необхідно віддрукувати поліграфічні вироби, трафаретна технологія допомагає економічніше витратити матеріал на різні технічні потреби.

Термоперенос (термотрансферний друк) – це спосіб перенесення зображення з спеціальних термотрансферних носіїв на вироби з тканини, такі як футболки, кепки, спецодяг, сумки і т.д. Спочатку зображення наноситься на спеціальний носій за допомогою принтера або трафаретного друку, потім за допомогою термопреса відбувається перенесення зображення. Даний спосіб дозволяє отримувати високоякісні повнокольорові зображення практично на будь-яких матеріалах, як на темних, так і на світлих [8].

Друк флексом або флоком оптимальний при нанесенні написів, логотипів, коли зображення можна розділити на складові кольору. Флекс і флок – спеціальні текстильні термоплівки для друку зображень і малюнків на тканині. Цей вид нанесення в результаті багатьох зарубіжних тестувань і відгуків користувачів визнаний найбільш екологічно чистим і нешкідливим при носінні, а також найбільш міцним і довговічним. В процесі експлуатації і при пранні таке нанесення не змінює свої характеристики, краї зображення завжди акуратні й рівні, і на відміну від шовкотрафарету такий вид нанесення на тканину ніколи не потріскається. Можливий друк дуже маленьких деталей, що важливо при виготовленні фірмового одягу з логотипом або фірмовою символікою. І на відміну від інших видів нанесення друкувати можна і на рукавах, і на боках футболки, а не тільки на грудях або спині. Малюнок для друку спочатку вирізається плотером, а потім під спеціальним термопресом впікається в тканину при температурі 200°C.

Плівки бувають різних кольорів і відтінків, а також світловідбиваючі та голографічні. Якщо потрібний друк зображення на тканині в декілька кольорів – зображення вирізається кілька разів по черзі з потрібних кольорів плівок, а потім по черзі комбінується і наноситься на тканину. Основний недолік - цим методом можна надрукувати тільки напис або малюнок, але не фотографію.

Друк може виконуватися не тільки на одязі. Прапори, транспаранти, парасолі, скатертини, серветки і навіть картини. Це не повний перелік текстильної продукції. Для отримання якісної продукції можна використовувати різні види друку на тканинах (сублімаційний друк, прямий цифровий друк, трафаретний друк, термоперенос, широкоформатний друк), головне правильно обрати відповідно до матеріалу. Якість друку безпосередньо залежить від правильності вибору технології друку і вихідного матеріалу. Друк картин на полотні має свої особливості, які необхідно враховувати при виборі матеріалу і відповідної технології. Для аналізу переваг та недоліків різних видів друку рекомендується використовувати метод морфологічного аналізу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Аналіз способів друкування на текстилі

Спосіб друку	Показатели																	
	Тип тканини			Вид зображення		Зносо-стійкість		Стій-кість матеріалу до температури	Вартість обладнання			Оптималь-ний тираж, шт.			Колір тканини		Нане-сення фак-тур-них зобра-жень	Об-ме-жен-ня
	синтетична	<50%	натуральна	растрове	векторне	невисока	висока		висока	середня	низька	1-30	30-100	>100	білий	кольоровий		
Офсетний			+	+	+	+			+					+	+	+		1
Цифровий	+	+	+	+	+		+	+		+		+	+/-		+	+/-		
Термо-перенос методом аплікації	+	+	+		+		+	+			+	+	+		+	+	+	2
Субліма-ційний	+	+		+	+		+	+			+	+	+	+	+			
Термотрансферний перенос			+	+	+	3		+			+	+	+/-		+	+/-		3
Трафарет-ний	+	+	+	+	+		+			+		-	+	+	+	+	+	4

Пояснення до таблиці:

+ – показники, які характеризують спосіб друку;

+/- – показники, які допускаються при спеціальних умовах;

1 – друк тільки на тканинах з натурального шовку;

2 – зображення не переноситься на тканини з нейлону, тканини, які містять силікон і з водовідштовхувальними речовинами;

3 – прання тільки ручне при температурі 30-40 °С;

4 – немає можливості друку на лляній тканині, полотні, мішковині, сітчастих тканинах.

За результатами складеної таблиці можна зробити наступні висновки: термоперенос методом аплікації виправданий для нанесення векторних фактурних зображень; сублімаційний друк рекомендується при використанні синтетичних тканин білого кольору (наприклад, для виготовлення прапорів), трафаратний друк має багато переваг, але використовувати його рентабельно тільки для великих тиражів. Для друку одиничних екземплярів на текстилі (друк картин на полотні, персоніфікованої продукції) доцільно використовувати цифровий друк [8, 9, 11, 14, 15].

Для більш якісного продукту також необхідно правильно вибрати вид цифрового друку та витратні матеріали. Для тканин використовується прямий цифровий друк та широкоформатний. Який, в свою чергу, може бути сублімаційним, струменевим і твердочорнильним [16].

Термосублімаційні принтери наносять зображення під поверхню паперу. Нагрівальний елемент всередині принтера впливає на плівку, розташовану над спеціальним фотопапером. При нагріванні з плівки починає випаровуватися фарба і вбиратися в папір. В результаті чого виходить безрастрове зображення фотографічної якості. Крім фотодруку, цю технологію застосовують для нанесення зображень на футболки, кружки та іншу сувенірну продукцію.

У твердочорнильних принтерах замість рідких чорнил використовуються брикети твердих чорнил, які в процесі друку розплавляються. Дана технологія має ряд переваг, дозволяючи друкувати на широкому асортименті матеріалів, забезпечуючи яскраві насичені кольори і рівномірне нанесення зображення. Однак вона не отримала широкого поширення в силу високої початкової вартості і необхідності постійно підтримувати барвник в розплавленому стані.

Принцип подачі і розпилення чорнила в струменевих принтерах дещо різниться. Деякі виробники використовують технологію безперервної подачі чорнила. В цьому випадку в друкуючій голівці під тиском подається фарбник, який на виході з сопла розбивається на мікрокраплі.

Використання водних чорнил досить поширене. Водні чорнила не приносять шкоди навколишньому середовищу. Надруковані відбитки можна використовувати всередині приміщення без будь-яких наслідків. Крім того, саме водні принтери дають найвищий дозвіл друку. У той же час відбитки вимагають спеціального покриття і не можуть використовуватися зовні приміщення.

Найбільш часто водні чорнила застосовуються для друку пробних відбитків, професійних фотографій, творів мистецтва, інтер'єрної реклами, банерів для короткострокового застосування на вулиці. Використовуються різні матеріали на зразок полотна або тканини. Однак будь-який матеріал потрібно обробити, щоб чорнило в ньому утримувалося.

Різновид водних – пігментні чорнила. Вони відрізняються більш тривалим терміном використання і насиченим кольором.

Для зовнішнього застосування найчастіше використовують сольвентні чорнила, під якими часто мають на увазі будь-які чорнила не на водній основі. Як правило, у формулі задіюються нафтопродукти, наприклад, ацетон.

Сольвентні чорнила дозволяють отримати дуже міцне і стійке до подряпин, води та УФ-випромінювання зображення. Шкідливі випари – головний недолік такого виробництва. Різні виробники використовують різні хімічні компоненти, тому іноді мова йде про «справжній» сольвент, а іноді – про «м'який» сольвент і «екосольвент». Екосольвентні чорнила менш токсичні, але і не такі стійкі.

Останні розробки в області струменевого друку привели до появи латексних і полімерних чорнил. Основний інгредієнт – вода, як сполучник використовується латекс або полімер. Це один з найбільш стійких типів чорнил. Відбитки не схильні до вицвітання на сонці і як наслідок, вони є навіть більш довговічними, ніж сольвентні або екосольвентні чорнила. Така довговічність відбитків стала можлива завдяки використанню нового матеріалу – латекс. Однак необхідна умова латексного друку – підігрів носія до і після друку, що дозволяє матеріалу краще вбирати чорнила і прискорює їх висихання. Тому матеріал повинен не боятися високих температур. Що не дозволяє використовувати латексні чорнила для синтетичного полотна.

Низку переваг мають у своєму розпорядженні УФ-принтери. На відміну від водних або сольвентних чорнил, УФ-чорнила не висихають і не випаровуються самі по собі, а тільки під впливом УФ-світла. При цьому виходить дуже яскраве зображення з живими кольорами.

При УФ-друці не потрібна спеціальна підготовка носіїв, що істотно заощаджує кошти. Закріплення відбувається дуже швидко, при цьому виходить дуже стійке зображення. Краплі зберігають форму (рис. 2.1). УФ-чорнила дозволяють задруковувати практично будь-який матеріал, включаючи гофрокартон, скло, дерево, вініл, метал, фактурну тканину.

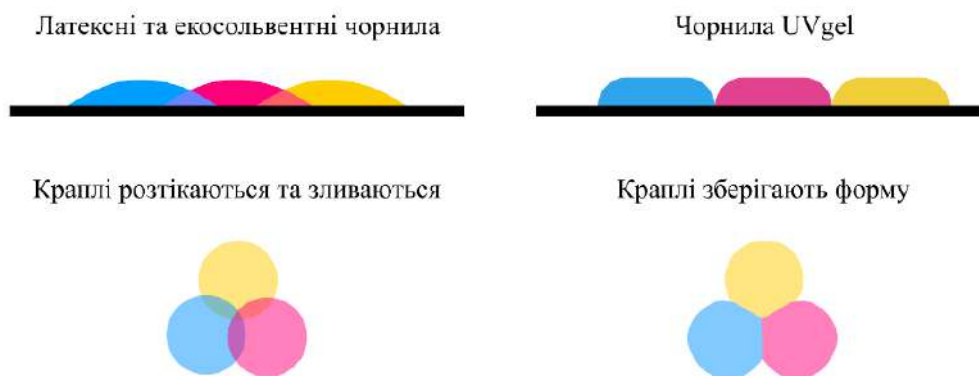


Рисунок 2.1 – Порівняння крапель різних видів чорнил

Проведений аналіз особливостей друкування на тканині дозволяє вибрати найбільш оптимальні матеріали та технологічні режими для виготовлення якісного продукту – для прикладу будемо розглядати картини на полотні [8, 9].

Проаналізувавши розглянуті способи друку на тканині для друкування картин прийнято рішення використовувати широкоформатний друк УФ-чорнилами та екосольвентними чорнилами. Ці методи дозволяють отримати яскраві і стійкі до впливу навколишнього середовища полотна. Технології екологічно безпечні, тому можуть використовуватися для виготовлення картин, які будуть розміщені в приміщенні.

2 Особливості широкоформатного друку

Широкоформатний друк зустрічається на кожному кроці. Вивіски, банери, рекламні оголошення – все це притягує погляд під час прогулянок або навіть поїздки в громадському транспорті. Інтер'єрна реклама також супроводжує нас всюди, будь то афіші, постери або рекламні стенди в офісі.

Розглянемо відмінності широкоформатного і інтер'єрного друку [2, 11].

Говорячи про широкоформатний друк, всі представляють тільки один вид продукції – власне зовнішню друковану рекламу, яку найчастіше ми зустрічаємо на вулицях. Але мало хто знає, що інтер'єрний друк також є різновидом широкоформатного. В чому ж відмінності між цими двома видами.

Більш висока якість інтер'єрного друку. Широкоформатний друк банерів не вимагає високої деталізації зображення, оскільки часто їх розглядають з відстані. А тому там немає необхідності в такій передачі кольору, як у інтер'єрних банерів.

Роздільна здатність. Для інтер'єрного друку характерний показник в 1440 пікселів, тоді як широкоформатного зазвичай досить 360-720 точок на дюйм.

Устаткування. Для друку інтер'єрної продукції часто використовуються невеликі принтери, які дозволяють досягти кращої передачі півтонів і деталізації. Друк великих банерів здійснюється на великих апаратах, основним завданням яких є саме робота з великими площами матеріалів.

Матеріали. Для різних способів друку вибирають різну основу. Так, в широкоформатному друці частіше звертаються до самоклеючої плівки, банерним сіткам і тканинам. А ось для інтер'єрного друку затребуваними є фотошпалери, полотна, перфорована плівка та інше. В цілому, ніщо не забороняє друкувати на будь-якому матеріалі, але більш дорогі матеріали зазвичай використовуються саме в інтер'єрному друці.

Чорнила. В широкоформатному друці використовують сольвентні та іноді екосольвентні чорнила; в інтер'єрному друці використовують також і водорозчинні фарби, латексні фарби, УФ-чорнила. Сольвентні чорнила не використовують для розміщення у приміщеннях, у зв'язку з їх токсичністю.

Міцність. Оскільки широкоформатний друк зазвичай розміщують зовні, він повинен бути стійким до зовнішніх чинників і досить міцним, щоб служити довгий час без пошкоджень. Для інтер'єрного друку показник міцності не настільки важливий, оскільки зсередини таких факторів як опади і вітер просто немає. Тому нерідко застосовуються навіть паперові носії.

Відстань сприйняття. Інтер'єрний друк зазвичай розглядають поблизу, саме тому так важлива чіткість і якість зображення. А ось у широкоформатних виробів якість і деталізація картини оцінюються не так ретельно. Досить подивитися на банер з 5-10 метрів – це і буде адекватною оцінкою.

Площа і ціна. Інтер'єрний друк – більш доступний, розрахований він на оформлення великих приміщень або роздруківку зовсім маленьких картинок. Широкоформатний друк – це тільки великі зображення, а тому і ціна їх вище.

2.1 Особливості технологічних режимів для широкоформатного друку.

Широкоформатний друк виконується за допомогою широкоформатних принтерів і плотерів, які дозволяють виконати якісний друк практично будь-якого формату і на будь-якому матеріалі.

Сучасний ринок широкоформатних принтерів різноманітний. Це проявляється і з точки зору технологій, і форматів одержуваних зображень і, звісно, цін. Ось уже кілька років лідерами цього ринку є струменеві плоттери. Існує безліч ознак, за якими можна робити диференціацію струменевих плоттерів. Зупинимось на двох основних.

Класифікація за типом струменевої системи [16].

Принтери по типу струменевої системи прийнято розділяти на два класи: термоструменеві (thermal inkjet printer) та п'єзoeлектричні принтери (piezoelectric printers). В даний час ціни на термоструменеві принтери безперервно знижуються і вони все більше захоплюють ринок принтерів початкового рівня, для п'єзoeлектричних систем залишається ринок продукції середнього і вищого класу.

Термоструменева система – активізація фарби і її викид відбуваються в результаті їх нагрівання. До переваг даної системи можна віднести лише одне – низька вартість друкуючої голови. Всі інші її характеристики – це одні недоліки. По-перше, друкуюча голова має дуже маленький термін служби. По-друге, для безпроблемної роботи термоструменевого принтера необхідно використовувати тільки оригінальні (досить дорогі) чорнила. По-третє, друк здійснюється тільки одним типом чорнила – на водній основі. По-четверте, друк на таких принтерах не дотягує до фотореалістичної якості. І, нарешті, для друку на термоструменевих принтерах необхідні тільки спеціальні носії.

П'єзoeлектрична система (викид фарби відбувається під тиском, створюваним коливанням мембрани).

П'єзотехнології базуються на властивості п'єзокристала розширюватися-стискатися під впливом електричного імпульсу. При виготовленні п'єзокристалів використовуються оксиди свинцю, цинку і титану.

Тут все навпаки – один недолік і багато переваг. Як недолік можна відзначити досить високу вартість друкуючої головки. Проте ресурс п'єзoeлектричних головок варіюється від семи місяців і значно перевищує ресурс головок термоструменевого друку. Друкуюча головка розташована стаціонарно, що зменшує механічний вплив на неї і значно підвищує термін служби.

До переваг системи відноситься можливість використання, по-перше, чорнила будь-якого типу і не самої відмінної якості, по-друге, самих різних матеріалів-носіїв. Завдяки перевагам цієї системи альтернатив цифровим струменевим плоттера на базі п'єзoeлектричній головки поки не існує.

Класифікація за типом чорнила [2, 11].

Чорнила для великоформатного повнокольорового друку діляться на наступні типи: водні, сольвентні, екосольвентні, масляні і УФ-затверджувані.

Водні. Як основа чорнил, використовуються водорозчинні органічні барвники на водній основі. Такі чорнила використовуються для високоякісного друку з високою роздільною здатністю і найбільш правильною передачею кольору тільки для інтер'єрного друку, тому що мають найнижчу світлостійкість і не має можливості друкувати на полімерних матеріалах без спеціального покриття, яке не дає чорнила розтікатися на поверхні матеріалу. Це спецпокриття не є водостійким і вимагає додаткового ламінування. Але навіть УФО ламінат не набагато подовжує термін служби подібних зображень. Приблизний термін служби всередині приміщень становить приблизно 2-2,5 року, поза приміщеннями – 0,5 року максимум, з урахуванням ламінування – близько року. В той же час даний вид друку є високоякісним по перенесенню кольорів і роздільній здатності.

Сольвентні. Ці чорнила являють собою колоїдний розчин пігменту в розчиннику, за рахунок чого утворюється емульсія. Пігменти можуть бути органічними і неорганічними. Останні мають найвищу світлостійкість, але вибір кольорової гами серед них обмежений у порівнянні з органічними. Тому у виробництві чорнила в основному використовують органічні пігменти з середньою світлостійкістю 2,5-3,5 року, в залежності від виробника і підбору ними колірних складових пігменту. Завдяки цьому сольвентні чорнила широко застосовуються для друку зовнішньої реклами. Для інтер'єрного друку їх використовують рідко, тому що в яскравості і насиченості кольорів вони істотно поступаються водним.

Сольвентні чорнила дешеві за вартістю, але дуже шкідливі для людини і навколишнього середовища, тому в приміщенні, де стоять сольвентні принтери необхідно встановлювати витяжну систему. Сольвентні чорнила не вибагливі до носія, так як за рахунок розчинника, який міститься в чорнилі, відбувається відмінна вбираність (проникнення) в матеріал.

Основна відмінність друкуючих сольвентними чорнилом принтерів від інших моделей на базі п'єзоголовок полягає в незрівнянно більшій стійкості надрукованого зображення до впливів зовнішнього середовища.

Слід уточнити, що стійкість зображення залежить від розмірів краплі барвника, що наноситься на матеріал. Чим крапля більше, тим більше кількість стійкого до вигорання пігменту і незмивного сполучного – сольвенту в ній. При цьому на принтерах невеликого формату (до 1 кв.м) картинка виходить яскравою і соковитою, незважаючи на відсутність зовсім дрібних деталей, властивих фотографії. Широкоформатні принтери для сольвентних чорнил здатні відтворити текст з висотою букви від 4-5 мм, при тому, що рекомендована відстань до глядача – не менше 3 м. Основний козир такої картини в порівнянні з більш якісними і менш продуктивними фотопринтерами – стійкість і довговічність, що забезпечується сольвентними чорнилом при хорошій якості передачі кольору.

Екосольвентні чорнила – це щось середнє між водними і сольвентними чорнилами. Вони містять невелику кількість органічних розчинників, завдяки

чому є більш безпечними в роботі, помірно лягають на матеріали. Для них рекомендується використовувати матеріали зі спеціальним покриттям. Їх світлостійкість вище, ніж у водних чорнил, але значно нижче, ніж у сольвентних. Термін служби друку такими чорнилами на вулиці без ламінування становить 3-6 місяців, на матеріалах із спецпокриттям (водо і УФО стійкими) він збільшується до 2-х років.

Найчастіше екосольвентні чорнила використовуються для інтер'єрного друку з високою роздільною здатністю, так як завдяки своїй консистенції здатні проходити через сопла друкованих головок з малим вихідним діаметром (отримується роздільна здатність до 1600 dpi).

Принтери, що працюють на екосольвентних чорнилах, не призначені для використання інших типів чорнил.

Масляні. Масляні чорнила в своїй основі мають масло. Для колірної складової використовуються жиророзчинні органічні барвники або звичайні дисперсні пігменти. Вони нешкідливі для людини, дуже насичені за кольором, але вибагливі до носія (необхідно, щоб він мав відповідне просочення, інакше чорнило не будуть вбиратися в матеріал; замість ламінування для масляних чорнил використовується спеціальна рідина, яка наноситься після друку зображення). Термін служби такого зображення на вулиці в середньому не перевищує навіть півроку, тому частіше масляні чорнила використовують для інтер'єрного друку.

Принтери, які друкують такими чорнилами, мають досить високу продуктивність – від декількох десятків квадратних метрів за годину.

УФ-чорнила. Ультрафіолетові чорнила (УФ-затверджувані чорнила або чорнила, що затверджуються під дією УФ-випромінювання) – новий виток розвитку рекламної індустрії. УФ-принтера можуть друкувати по гнучким рулонним матеріалам до 2 мм і по твердим матеріалами товщиною до 10 см. Використання УФ-чорнил забезпечує ряд істотних переваг в порівнянні з традиційними сольвентними і екосольвентними принтерами.

До переваг УФ-принтерів слід віднести:

- а) стійкість зображення при зовнішньому експонуванні до п'яти років;
- б) найширший спектр матеріалів для друку, який набагато перевершує перелік матеріалів для сольвентних принтерів (крім звичайних паперу, плівок і банеру, можна друкувати на склі, пластикових аркушах, металі, дереві тощо);
- в) гранично низька витрата чорнила (від 5 мл на 1 м² у виробничому режимі);
- г) екологічність виробництва – УФ-чорнило не містять шкідливих розчинників, тому не потрібна установка додаткового вентиляційного обладнання;
- д) надійність принтера і його компонентів – УФ-чорнила на відміну від сольвентних не містять агресивних розчинників, тому можливість хімічного руйнування системи подачі чорнила в принтері відсутня навіть теоретично.

Один з найважливіших факторів при виборі промислового принтера – це собівартість продукції, що виготовляється на ньому. Велика популярність сольвентних принтерів багато в чому пов'язана саме з цим показником.

Низька собівартість досягається можливістю апаратів друкувати на непідготовлених матеріалах і невеликою ціною на сольвентні чорнила. Що стосується чорнил, то тут потрібно враховувати два фактори: витрата чорнила на квадратний метр і їх вартість за літр. За показником витрат чорнила УФ-принтер в кілька разів ефективніше сольвентних апаратів. Одна з причин цього – різні принципи закріплення чорнил на матеріалі. Сольвентні чорнила висихають завдяки швидкому випаровуванню розчинника, який міститься в них. Таким чином, частина маси чорнила залишається на матеріалі, а частина випаровується в навколишнє середовище. При закріпленні УФ-чорнила вся кольорова маса залишається на матеріалі, так як процес випаровування відсутній – його замінює процес УФ-полімеризації [11].

2.2 Рекомендації щодо вибору матеріалів для друкування.

Для широкоформатного друку картин на полотні, фоторепродукцій та інших поліграфічних робіт використовують натуральні і синтетичні полотна.

Натуральні – справжні полотна, тому вважається, що роздруківки на них більш схожі на оригінали. Але при цьому вони вимагають до себе дбайливого ставлення. Для захисту основи і роздрукованого на ній зображення натуральні полотна необхідно покривати лаком. Лак забезпечує захист від проникнення пилу і вологи, а також захищає від механічних впливів. Адже набагато простіше очистити від пилу плівку, утворену лаком, а не кольоровий шар. Ну і крім того лак створює глянець.

Якщо планується надрукувати репродукцію, особливо картину, написану олійними фарбами, варто вибирати полотна з більшою щільністю (300 г/м² і більше). Таке полотно відрізняється грубою фактурою, яка і надає йому вид зітканої вручну тканини. Матеріал дуже міцний і без проблем витримує не тільки лакування, але і обробку гелями, що імітують мазки олійною фарбою.

Для друку фотографій на полотні краще використовувати тонкоткане полотно. Його поверхня більш гладкіша і біліша, а переплетення ниток рівномірно по всій поверхні полотна. Крім того, натуральні полотна можуть бути льняними і бавовняними. Взагалі професійні художники для роботи з маслом вибирають льон, він краще протистоїть вологості і перепаду температур. Але при цьому у льону більш зерниста і груба фактура.

При виборі матеріалу потрібно також враховувати те, що натуральні полотна майже завжди – матові, хоча виробники і намагаються робити поверхню більш глянцевою в порівнянні з природною.

Синтетичне полотно – рівне, що добре виглядає при друці фотографій. Вони бояться вологи менше натуральних і можуть бути як абсолютно білими, так і виконаними в іншому кольорі. По складу синтетичне полотно складається з поліестрових і бавовняних ниток, при цьому поліестеру більше. Бувають як

матовими, так і глянсовими. Можуть використовуватися як недорога і якісна основа для друку. При цьому на ньому ще й будуть мати гарний вигляд фотографії або модульні картини [2].

3 Дослідження якості друку на полотні

3.1 Вибір обладнання.

Провідними фірмами, що випускають принтери для широкоформатного друку, є Epson, Roland, Canon та Gongzheng [16, 17].

Сольвентні принтери – це найбільш поширений тип широкоформатних принтерів, застосовуваних для виробництва зовнішньої реклами. Представлені в даній категорії принтери володіють незаперечною перевагою – найбільш низькою собівартістю друку серед всіх типів широкоформатних принтерів, одночасно забезпечуючи високу продуктивність друку.

Принцип друку сольвентними чорнилом ґрунтується на тому, що сольвент, як основне середовище, роз'їдає поверхню друкованого матеріалу, таким чином, дозволяючи часткам пігменту проникнути вглиб поверхні носія і зафіксуватися після моментального випаровування розчинника.

Технологія друку сольвентними чорнилом набула найбільшого поширення і довгий час залишалася передовою, і в багатьох країнах, включаючи Україну, як і раніше займає основну частку на ринку зовнішньої друку. Якісні сольвентні чорнила мають високу адгезію і світлостійкість, швидко сохнуть і не вимагають додаткової обробки для захисту відбитка від вигорання і впливів навколишнього середовища.

Чорнила на основі сольвенту є найбільш дешевими з усіх можливих альтернативних варіантів, завдяки цій очевидній перевазі, сольвентні принтери є найбільш конкурентоспроможним рішенням для виробництва широкоформатної зовнішньої реклами.

Сольвентні принтери застосовуються для друку на традиційних для широкоформатного друку носіях, таких як: папір для сітілайтів, плівки ПВХ, банерна тканина, папір для скролів, тканина для прапорів, ПВХ сітка Mesh і багато інших. Також, крім зовнішньої реклами, сольвентні принтери з дозволом друку 1440dpi, іноді використовуються для друку на рулонних полотнах для широкоформатного друку, безшовних фотошпалерах і текстильному банері для сольвентного друку.

Крім низької вартості чорнила, обладнання для сольвентного друку, також є оптимальним бюджетним рішенням. Основне виробництво сольвентних принтерів зосереджено в Китаї, лідируючі позиції займають такі всесвітньо відомі виробники, як Gongzheng та Flora (рис. 3.1, 3.2).

Друк ультрафіолетовими чорнилами – це технологія нанесення фарб, які полімеризуються (твердіють) під впливом ультрафіолетового випромінювання. Барвник не вбирається в матеріал, залишаючись на його поверхні, що забезпечує яскраві та насичені кольори. Завдяки цьому, оброблений матеріал набуває характеристик, які особливо цінні як для рекламної сфери, так і для

промислового виробництва. Полімеризовані таким чином чорнила мають високу стійкість до факторів зовнішнього впливу, вони не вицвітають і не розчиняються у воді і розчинниках.

Крім того, чорнила мають високу покривну, або низьку прозорість, що дозволяє отримувати насичені та яскраві зображення, що працюють на просвіт.



Рисунок 3.1 – Принтер для широкоформатного друку екосольвентними чорнилами Gongzheng ThunderJet C1601S



Рисунок 3.2 – Сольвентний принтер Flora LJ-320P

УФ-технологія дозволяє друкувати як на рулонних, так і на твердих листових матеріалах, таких як стінові та стельові панелі, композитні матеріали, керамічна плитка, коркове покриття, лінолеум, килимове покриття, дерево, ДВП, ДСП, оргскло і скло, шпалери, полотно, тканина, картон і папір, плівка, пластик і ПВХ, металеві поверхні та багато іншого.

Як правило, більшість УФ-принтерів дозволяють друкувати як на жорстких листових, так і на рулонних матеріалах. Можливість стикувати декілька аркушів дозволяє отримувати зображення великих розмірів. Друк може здійснюватися з роздільною здатністю 600, 1200 і 2400 dpi [16, 17].

На рис. 3.3 показано принтер для широкоформатного друку ультрафіолетовими чорнилами Gongzheng GZM3200UV.



Рисунок 3.3 – УФ-принтер Gongzheng GZM3200UV

Принтер оснащений друкуючою головкою Epson DX5, що дозволяє отримувати зображення з роздільною здатністю 1440 dpi. Друк краплями змінного розміру (технологія GZGreyscale) дозволяє досягти тілесного відтінку з бездоганною точністю, плавністю градієнтів, тонка деталізація тексту та дрібних елементів зображення без втрати швидкості друку. У систему подачі чорнил можна встановити ємності об'ємом до 1,5 л, що забезпечує їх безперервну подачу. Автоматична система чищення і парковки зберігає вихідний отвір друкованої головки ідеально чистим та забезпечує найвищу якість друку.

Технологія широкоформатного ультрафіолетового друку (UV- або УФ-друку) отримує останнім часом все більшого поширення. Вона користується популярністю не тільки завдяки своїм незаперечним перевагам перед іншими видами друку, але й за рахунок нанесення високоякісних зображень практично на будь-які поверхні (скло, пластик, дерево, метал, картон, кераміку, плівку). Особливо широкий спектр текстильних матеріалів, натуральних (полотна) та синтетичних тканин, які використовуються для виробництва різних рекламних конструкцій, оформлення комерційних приміщень, декорування житлових інтер'єрів.

У цього способу друку є кілька важливих переваг, які роблять її «технологією майбутнього»:

- друк може бути нанесена практично на будь-який матеріал;
- УФ-друк наноситься буквально за кілька хвилин;
- мінімальні вимоги підготовки матеріалу для нанесення друку;
- друк білим кольором (дозволяє друкувати щільним, криючим білим кольором, в тому числі на прозорих матеріалах з двостороннім друком);
- висока швидкість висихання відбитків – лист висихає відразу ж після проходження через плоттер, фарба затвердіє під УФ-лампами. Можна зразу ж виконувати післядрукарську обробку або використовувати за призначенням;
- друкування з фотоякістю майже на всіх невбираючих матеріалах;
- вологостійкість. Звичайно, папір набуває вологостійкість після ламінування. Але зображення, роздруковані з УФ-технології на пластиці, вологи

не бояться, тому що фарба після висихання і затвердіння утворює міцну плівку, яка витримує як вологу, так і механічні дії. Позначається висока міцність утворюється плівки і хороші показники адгезії;

– стійкість до зовнішнього впливу: різкі перепади температур, сонячне світло, механічне пошкодження і т.д.;

– екологічність та безпечність для людини (при опроміненні ультрафіолетовою лампою не виділяють шкідливих речовин).

У поєднанні з прийнятною вартістю друку виходить, що за УФ-друком явне і очевидне майбутнє в плані внутрішнього та зовнішнього рекламного широкоформатного друку.

3.2 Вибір матеріалів.

Для оформлення інтер'єрів та, зокрема, цифрового друку картин використовуються переважно полотна (канва). Завдяки оригінальним фактурам, які створюються різним переплетенням ниток, багато репродукцій картин ледь відрізняються від оригіналу. Крім того, деякі види полотен, наприклад, Гойя Преміум, Далі Преміум, Матісс Преміум, Уорхол Преміум, мають особливе водовідштовхувальне покриття, що дозволяє використовувати їх для виготовлення рекламних конструкцій для зовнішнього використання. Подібна властивість має і канва Бавовняна Ексклюзив, яка має й іншу важливу якість – вогнестійкість.

Для проведення експерименту були розглянуті матеріали, які використовуються на реальних виробництвах (табл. 3.1) [2].

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики полотен

Назва	Зовнішній вигляд	Опис	Характеристики
Канва Матісс		Характеризується слабо вираженою фактурою. Матеріал виготовлений із 100% поліефіру. Тканина наділена невеликою щільністю, в той же час вона досить гнучка, тому зручно її кріпити на каркас. З Канви Матісс виготовляють середні за розміром панно, картини, фотополотна, банери. Для тканини підходить латексний друк, сольвентний друк, УФ-друк	Щільність – 270 г/м ² Ширина – 152 см
Канва Міро		Складається зі 100% бавовни. Полотно має значну щільність і фактуру художнього полотна. На своєму лицьовому боці тканина має спеціальне покриття, яке покращує якість друку, що наноситься на нього. Канва Міро Преміум підтримує латексний друк, сольвентний друк, УФ-друк. Тканина підходить для виготовлення настінних панно, банерів, фотошпалер, фотохолстів	Щільність – 360 г/м ² Ширина – 152 см

Продовження таблиці 3.1

Назва	Зовнішній вигляд	Опис	Характеристики
Канва Гойя		Полотно виготовлене з 40% бавовни, 60% поліефіру. Поверхня тканини має яскраво виражену структуру художнього полотна. Матеріал підходить для сольвентного, латексного та УФ друку. Канва просочена спеціальним водо-відштовхувальним складом, тому зображенню не буде страшна волога. Нанесений на тканину орнамент має тривалий термін служби. Він не блякне з часом, не стирається і не ламається. Канва Гойя ідеальна для виготовлення банерів, настінних панно, картин, фотошпалер та фотополотнів. Матеріал має підвищену щільність	Щільність – 330 г/м ² Ширина – 310 см

Дослідження проводились в рекламному агентстві, яке займається широкоформатним та цифровим друком, та на невеликому підприємстві, де здійснюють тільки широкоформатний друк. Аналіз заказів підприємств дозволив обрати два матеріали, які найчастіше обирають замовники, а саме синтетичне та натуральне полотно Канва Матисс і Канва Миро відповідно. Ці матеріали дозволяють друкувати як картини, так і фоторепродукції (тобто зображення з фотоякістю).

Напівсинтетичне полотно Канва Гойя має підвищену щільність та спеціальний водовідштовхувальний склад і, відповідно, значно більшу ціну. Тому в дослідженнях вона не буде використовуватись. Її обирають замовники на спеціальні замовлення.

Основна задача вибору матеріалу завжди виникає під час порівняння майже однакових за якістю матеріалів. Тому об'єктивно оцінити якість цих матеріалів і допомогти замовнику отримати якісну продукцію з урахуванням його переваг щодо екологічності, або яскравості, або реалістичності картини допоможе комплексний показник якості. Під час розробки цього показника були враховані особливості друкування картин на різному полотні та різними способами друку – екосольвентним та УФ-друком.

3.3 Методика проведення досліджень.

Комплексна методика оцінки якості друкованих картин на полотні (тобто широкоформатного друку на полотні) передбачає декілька етапів, в результаті яких виробляється єдина концепція оцінки з розрахунком комплексного показника [5, 18]. Він і визначає рівень якості досліджуваних друкованих зразків.

Алгоритм комплексної оцінки якості широкоформатного друку на тканині наведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Комплексна оцінки якості широкоформатного друку на тканині

Комплексна оцінка якості друкованої поліграфічної продукції пов'язує візуальну оцінку отриманих зразків експертами та інструментальну оцінку фізичних показників якості відбитків на різних матеріалах, отриманих за допомогою широкоформатного друку на двох типах принтерів – екосольвентному та УФ.

Комплексний підхід до оцінювання якості широкоформатного рекламного друку здатний дати максимально точні і об'єктивні результати. Він включає в себе розгляд відбитків за кількома важливими параметрами та їх оцінювання.

Після цього визначається вагомість кожного з властивостей за певною методикою. Вагові коефіцієнти визначаються групою експертів. Сума всіх коефіцієнтів дорівнює одиниці. Після розрахунку комплексного показника, його значення порівнюється з суб'єктивною оцінкою експертів.

3.4 Критерії оцінки якості широкоформатного друку.

Зовнішня та інтер'єрна реклама користується величезною популярністю. Вона досить ефективна і прибуткова, оскільки кольорові, великі банери та плакати видно здалеку, а грамотне використання підсвічування дає можливість продовжити час їх роботи на темний час доби. При виробництві плакатів і банерів активно використовують можливості цифрового широкоформатного друку.

Основні переваги та особливості цифрового друку.

Найважливішою перевагою цифрового друку є його оперативність у порівнянні з іншими видами поліграфії. Серед інших привабливих особливостей технології фахівці також виділяють:

- можливість друку малих тиражів при збереженні рентабельності;
- короткі терміни виконання будь-яких замовлень;
- друк змінних даних;
- можливість використання і редагування користувальницького макета;
- оперативне створення макета і виконання пробного відбитка для попередньої оцінки результату з подальшим внесенням (при необхідності) правок;
- наявність в друкарнях обладнання, що дає можливість друку банерів будь-якого формату;
- простота використання друкарських цифрових машин з мінімумом налаштувань
- доступні ціни.

Всі ці та деякі інші переваги роблять технологію вельми популярною і затребуваною в оперативній поліграфії.

Все більше поліграфічних підприємств набувають і активно використовують цифрове обладнання. Але поки якість результатів оцінюється чисто візуально за принципом «подобається / не подобається», оскільки чітких, офіційно визнаних критеріїв оцінки не існує. Тому дуже актуальною є проблема комплексної оцінки результату друкування, тобто оцінки об'єктивно, без обліку якихось особистих уподобань.

В дослідженнях, які проведені попередніми дослідниками [5, 7, 18-20], сформульовано загальний перелік параметрів оцінки цифрового друку, який включає 11 пунктів.

Повний перелік критеріїв оцінки цифрового друку наступний.

1. Загальна рівномірність друку. Готовий продукт не містить погано надрукованих, занадто світлих або темних місць.

2. Чітка передача градацій. На банері повинні добре простежуватися всі переходи.

3. Нормальна оптична щільність зображення. Картинка не повинна виглядати перевантаженою.

4. Відсутність зайвої оптичної щільності фону. Ніщо не повинно перешкоджати сприйняттю основного контенту.

5. Достатня дозвіл друку. Картинка виглядає чіткою, контури не розпливаються.

6. Роздільна здатність. Добре помітні дрібні деталі при розгляді на відстані.

7. Фактура поверхні. Може виконуватися різної, повинна відповідати змісту реклами.

8. Глянець. Повинен бути рівномірним по всій площі рекламного плаката.

9. Колірний обхват. Якісний відбиток містить всі кольори макета.

10. Ступінь адгезії тонера до основи. Фарба не повинна обсипатися і змиватися водою.

11. Реалістичність передачі пам'ятних кольорів [7, 19].

Для друкування картин на холсті можна не розглядати всі критерії для оцінки якості, тому що дана продукція має свої специфічні риси.

Розглянемо основні з них і спробуємо визначити перелік критеріїв, які суттєво впливають на якість репродукцій на холсті.

Для виготовлення репродукцій і портретів відповідного розміру використовується полотно з високою щільністю, так як в цьому випадку роздруковане зображення виглядає природніше і об'ємніше, що як раз і потрібно для картини, особливо великого формату.

Художники теж вибирають для творчості бавовняні або лляні полотна, що мають грубу фактуру, обов'язково піддаючи їх ґрунтовці. Вони добре виглядають на підрамнику в класичній рамі.

При нанесенні фотографій краще вибирати полотна меншої щільності, що мають більш гладку поверхню. Це дозволяє краще передати насичені відтінки фотографій та їх повноту.

Синтетичне полотно добре підходить для виготовлення фотографій будь-якого розміру, в тому числі з високою роздільною здатністю, а також плакатів та іншої рекламної продукції, яку планується використовувати не тільки у приміщеннях. Такий матеріал має гарну стійкість до впливу вологи і він може використовуватись в вітринах та інших складних умовах.

Після аналізу особливостей друку на холсті, пункти 5 та 10 були виключені з розгляду, тому що друкування виконується якісними принтерами з високою роздільною здатністю, що забезпечує і достатній дозвіл друку, і добру адгезію.

Пункти 4, 7 та 8 також не будуть розглядатись, тому що друкування здійснюється на матеріалах з різним фоном і різною поверхнею. Тому глянець, як і фактурність не завжди необхідні. Також неможливо вказати мінімальну оптичну щільність фону в тих випадках, коли буде використовуватись не білий фон.

Основні оптичні характеристики фону та зображення будуть контролюватись іншими параметрами.

Кінцеве уточнення показників якості друкування картин на холсті було здійснено за допомогою експертного опитування.

На першому етапі обрано така номенклатура показників:

- контраст;
- кольорове охоплення;
- відхилення за кольорами;
- рівномірність друку;
- лінійність друку (передача градацій).

3.5 Розробка тестового зображення для оцінки якості широкоформатного друку на полотні.

Тестова полоса була розроблена на підставі аналізу різних тестових зображень, які рекомендовані в літературі та використовуються на виробництві для тестування процесу цифрового. Аналіз тест-об'єктів, які включені в розглянуті тестові смуги, дозволив вибрати необхідні елементи тестових об'єктів для контролю показників оцінки якості широкоформатного друку на полотні.

Всі векторні елементи створюються у векторному Adobe Illustrator, растрові – в растровому редакторі Adobe Photoshop. Це дозволяє забезпечити їх високу якість. Вихідний файл зберігається у форматі TIFF.

Формат тестової смуги – 500x1000 мм із врахуванням розмірів тестових елементів, а також принтерів, які розглядалися (Gongzheng ThunderJet C1601S та Gongzheng GZM3200UV). Вони мають максимальну ширину 1600 мм та 3200 мм відповідно.

Тест-об'єкти доцільно розділити на дві категорії з метою проведення як суб'єктивного, так і об'єктивного аналізу якості широкоформатного друку на полотні. Якщо дослідження проведено правильно, результати цих двох оцінок повинні збігатися. Тобто серед досліджуваних відбитків експерти повинні визначити найкращим той, у якого загальна кількісна оцінка найвища.

Таким чином, тестова смуга повинна включати тест-об'єкти, необхідні для кількісної оцінки показників якості (контраст, кольорове охоплення, відхилення за кольорами, рівномірність та лінійність друку) та елементи для візуальної оцінки споживачем (додатково зображення для оцінювання якості відтворення пам'ятних кольорів та баланс по сірому) [7, 18, 19, 21].

Розглянемо ці елементи більш докладно.

3.5.1 Тест-об'єкти для дослідження градаційних характеристик.

Для досліджування градаційної точності розроблена градаційна шкала для основних та додаткових кольорів, які мають поля з різними відносними розмірами растрової крапки: від 0 до 100 % (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Тест-об'єкт для визначення показника «Градаційна передача»

Поступову передачу доцільно контролювати по градаційній шкалі, розділеної на 20 полів від 5% до 100%, з кроком 5%. Для візуального контролю лінійності градієнту були використані 7 прикладів градієнту в кольорах CMYK і RGB, та тестові зображення (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Тест-об'єкт для визначення показника «Лінійність градієнту»

3.5.2 Тест-об'єкти для дослідження відтворення кольорів.

Для оцінки колірного охопту буде використана спеціальна шкала для побудови колірного профілю TC2.83 RGB i1 (рис. 3.7).

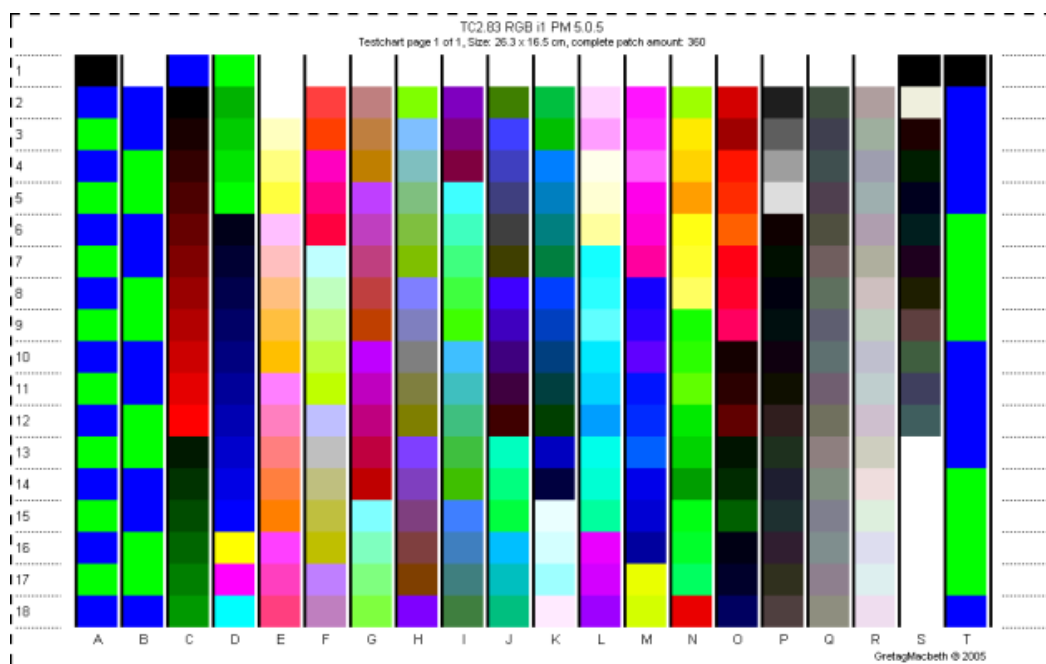


Рисунок 3.7 – Шкала для побудови колірного профілю

Вимірювання проводяться за допомогою спектрофотометра.

Ще один показник який не включається в розрахунок комплексного показника, але він необхідний для контролю якості друкарського процесу – баланс по сірому. Це нормоване співвідношення розмірів растрових елементів, що дозволяє отримати під час друку нейтрально-сірий тон з тріадних друкарських фарб при нормалізованому процесі друкування (рис. 3.8). Він дає уявлення про узгодженість кольорів основних тріадних фарб та допоміжних кольорів (їх накладань) у світах, напівтонах та тінях, тобто збалансованість зображення за ахроматичною складовою.

Оцінка відтворення пам'ятних кольорів, як і баланс по сірому не входить в розрахунок, але цей показник дуже важливий для відтворення кольорів на картинах та фоторепродукціях, тому було підібрано оптимальний комплект зображень, які дозволять оцінити цей показник групі експертів під час суб'єктивного оцінювання якості друку (рис. 3.9).

K75			C75 M66 Y66	K70			C66 M56 Y56
K50			C50 M40 Y40	K50			C45 M36 Y36
K25			C25 M19 Y19	K30			C27 M19 Y20

Рисунок 3.8 – Тест-об'єкт для визначення показника «Баланс по сірому»



Рисунок 3.9 – Зображення для оцінки пам'ятних кольорів.

3.5.3 Тест-об'єкти для оцінювання рівномірності та контрасту друку.

Тест-об'єкт для визначення рівномірності друку є запечатаний чорним тонером прямокутник, розташований як по довжині, так і по ширині відбитка. Для зручності вимірювання розділимо даний прямокутник по всій довжині на квадрати зі стороною 10 мм. Для горизонтального напрямку (по 20 значенням оптичної щільності плашки), а вертикального (13 значень).

Контраст визначається як різниця між максимальною та мінімальною оптичними щільностями зображення. Тому для обчислення контрасту необхідні шкали для контролю світлих та темних відтінків з максимальними і мінімальними значеннями оптичної щільності. Це градаційні шкали кольорів від 1 до 10% та від 91 до 100% (рис. 3.10).

Розроблена тестова смуга з контрольними елементами роздруковується на обраних широкоформатних принтерах (Gongzheng ThunderJet C1601S, Gongzheng GZM3200UV), які пройшли попереднє калібрування.

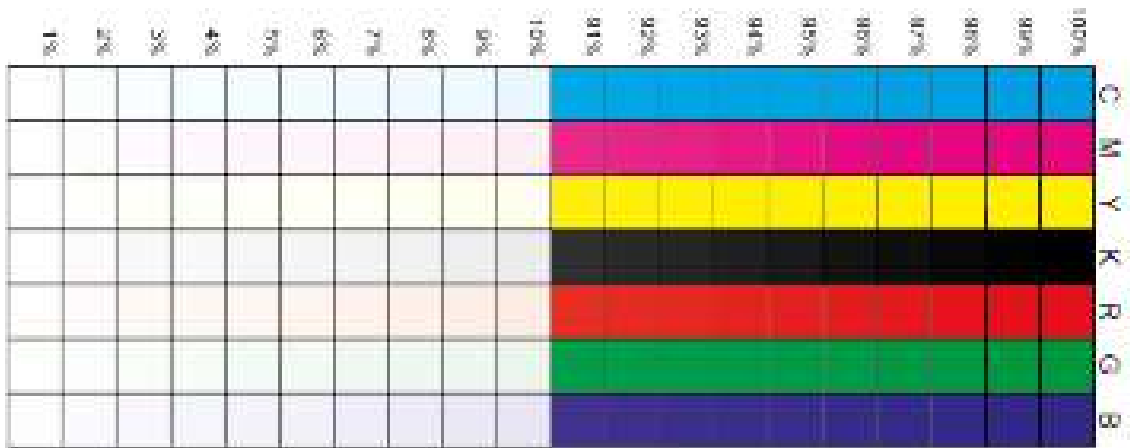


Рисунок 3.10 – Шкали для контролю оптичної щільності та контрасту

Вимоги до експериментального широкоформатного друку на холсті:

- зображення передається в форматі TIFF для збереження максимальної кольорової інформації;
- друкування здійснюється у виробничих умовах на матеріалах, які використовуються для виготовлення картин (синтетичне полотно Канва Матисс та натуральне полотно Канва Мירו);
- формат відбитка – до 1600 мм шириною;
- обов’язково дотримання масштабу друку.

3.6 Оцінювання показників якості друку на полотні.

Для оцінювання якості широкоформатного друку було вирішено застосувати комплексний метод, який дозволяє виділити найбільш значущі одиничні показники. Для визначення коефіцієнтів вагомості цих одиничних показників використовується експертний метод, що ґрунтується на опитуванні працівників поліграфічних підприємств, які є професіоналами в галузі додрукарської підготовки та друку.

Після попереднього аналізу були виділені найбільш значущі показники, які впливають на якість широкоформатного друку на полотні. Кінцеве уточнення цих показників якості було здійснено за допомогою експертного опитування.

3.6.1 Вибір членів експертної групи.

Основне завдання під час виборів членів експертної групи полягає у залученні фахівців галузі, здатних максимально точно вирішити поставлене завдання. Для нашого дослідження за допомогою експертного опитування необхідно уточнити номенклатуру показників якості широкоформатного друку, а також визначити значення коефіцієнтів вагомості цих показників окремо для друкування картин і фоторепродукцій.

Проблема підбору експертів є однією з найскладніших у теорії експертних оцінок, оскільки необхідна наявність знань як теоретичних, так і практичних у досліджуваній предметній області. Кількість експертів у комісії впливає на точність та надійність її результатів. Переважно кількість експертів приймають 7 (рідше – 11 або 13).

З урахуванням перелічених завдань та відповідно до рекомендацій було визначено сім експертів з досліджуваних підприємств (РА – рекламне агентство, ПП – поліграфічне підприємство):

- дизайнер 1 (РА);
- дизайнер 2 (ПП);
- художник 1 (РА);
- художник 2 (ПП);
- технолог (ПП);
- препрес-інженер (РА);
- начальник відділу реклами (РА).

Основними критеріями при виборі експертів є:

- формальні показники (посада, стаж роботи у галузі та ін.);
- успішність участі в попередніх експертизах (чітке розуміння поставлених завдань, адекватна оцінка тощо);
- знайомство експерта з іншими членами групи (довіра до результатів інших експертів, особиста відповідальність перед іншими учасниками).

Обрана група експертів ствердила номенклатуру показників для оцінки якості широкоформатного друку, визначених на попередньому етапі, а саме:

- контраст;
- кольорове охоплення;
- відхилення за кольорами;
- рівномірність друку;
- лінійність друку (передача градацій).

Кожен з цих показників повинен мати граничне значення, перехід якого говорить про брак.

Еталонні (базові) та граничні значення цих параметрів були визначені, виходячи з вимог нормативної документації та практичних рекомендацій [17].

Базові значення даних параметрів наведено в таблиці 3.2. Їх визначення описано нижче.

Таблиця 3.2 – Базові та граничні значення одиничних показників

№ п/п	Показник якості широкоформатного друку на полотні	Значення базового показника (еталону)	Граничне значення показника	
			мінімум	максимум
1.	Контраст	45	35	–
2.	Кольорове охоплення	16107	7425	–
3.	Відхилення за кольорами, ΔЕ (середнє)	1,8	–	3
4.	Рівномірність друку	0,017	–	0,024
5.	Лінійність друку	71	50	–

3.6.2 Визначення базових та граничних значень показників якості друку.

1. Контраст друку.

Для аналізу контрасту друкування на обраних матеріалах будемо використовувати показник відносного контрасту, тому що саме він забезпечує баланс між максимальною оптичною щільністю на плашках та мінімальним збільшенням растрових елементів на зображенні. Об'єктивний метод знаходження даного балансу полягає у застосуванні формули Ширмера – Ренцера [22]:

$$K = \frac{D_p - D_r}{D_p}, \quad (3.1)$$

де K – відносний контраст друку;
 D_p – оптична щільність плашки (100%);
 D_r – оптична щільність растрового поля.

При визначенні відносного контраста друку вимірюється відносна площа растрового поля 80%, оскільки це поле розташовується на крайній межі «сірого», де заходиться більшість півтонів.

Нижче наведені значення відносного контраста друку для різних матеріалів, визначених експериментально та рекомендованих у нормативних документах:

- звичайний папір – 23-25;
- каландрований папір для офсетного друку – 33-35;
- крейдований папір для офсетного друку – 40-45;
- папір типу «cast-coated» – 45-50;
- просвітний папір для широкоформатного друку – 45-50;
- банерна тканина – 40-45.
- плівка – 35-40.

За еталонне значення візьмемо значення контрасту для банерної тканини. Дослідження проводились як екосольвентними, так і УФ-чорнилами. За граничне значення прийнято контраст каландрованого паперу для офсетного друку.

2. Кольорове охоплення.

Цей показник дозволяє оцінити максимальну кількість кольорів, які здатні відтворити плотери на обраних матеріалах (охоплення кольорів друку).

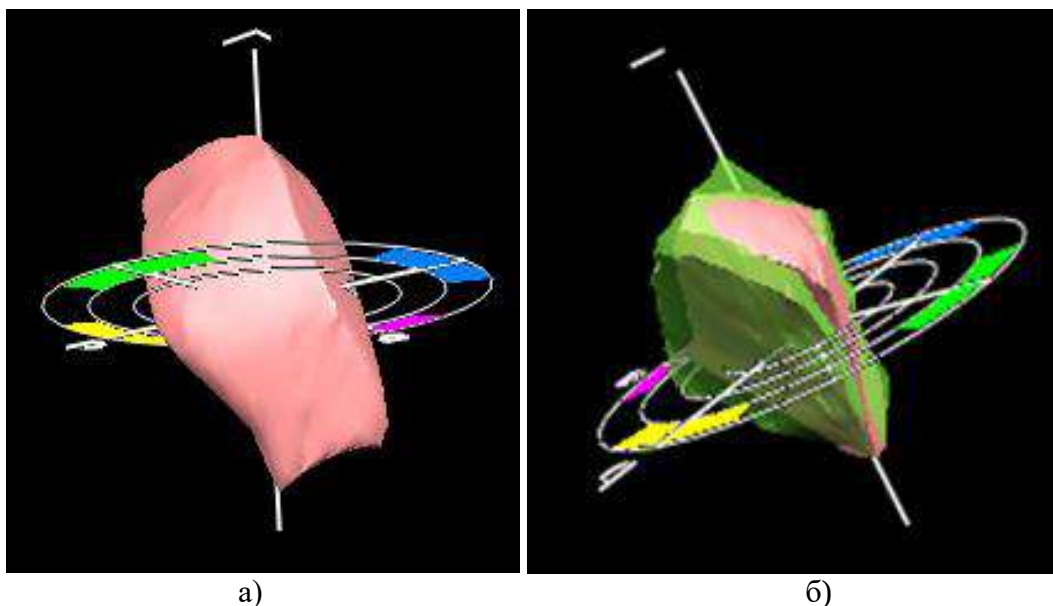
У процесі субтрактивного синтезу (друк фарбами та тонером) кольірне охоплення набуває форми шестикутника. Вершинами шестикутника є точки, відповідні фарбам синтезу (блакитний, пурпурний, жовтий) і кольорам їх попарних накладень (синій, зелений, червоний). Кольори, які увійдуть в область на кольоровому графіку, обмеженому отриманим шестикутником, будуть визначати кольірне охоплення цього процесу – сольвентний та УФ-друк. Чим більша площа кольорового охоплення, тим більше кольорів можна відтворювати [7].

Для порівняння кольірних охоплень були виміряні Lab координати основних та допоміжних кольорів за допомогою спектрофотометра.

На основі відповідних шкал були побудовані профілі плотерів для кожного з матеріалів. Надається можливість візуально порівняти колірні охоплення плотерів під час їх візуального оцінювання експертами.

За допомогою інструмента Gamut View програми GretagMacbeth Eye-One Share на монітор було виведено об'ємну візуалізацію отриманих профілів і зроблено їх порівняння.

Приклад об'ємної візуалізації тіла кольорового охоплення сольвентного принтеру для синтетичного матеріалу наведено на рисунку 3.11, а. Порівняння його з УФ-принтером для цього матеріалу представлено на рисунку 3.11, б.



а) б)
Рисунок 3.11 – Порівняння колірних охоплень УФ-принтера та сольвентного принтера для синтетичного матеріалу

Проекції тіла кольорового охоплення на осі ab для всіх досліджуваних надають можливість візуально порівняти колірні охоплення принтерів.

Розрахуємо кольорові охоплення всіх принтерів для всіх матеріалів. Для цього розрахуємо площу проекції колірного охоплення на площину ab . Зауважимо, що всі отримані результати доцільно звести в одній колориметричній системі CIE Lab.

Приймемо, що площа проекції охоплення кольорів в рівноконтрастній системі CIE Lab на площину a^*b^* пропорційна колірному охопленню. Площа цієї проекції може бути розрахована за допомогою простої формули, яка полегшить обчислення. Кількісна оцінка колірного охоплення дозволяє порівняти зображення один з одним і може бути результатом експерименту.

Площа цієї проекції може бути розрахована за допомогою формули Герона [19]:

$$S_{TP} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \quad (3.2)$$

де a, b, c – вершини трикутника;
 p – величина напівпериметра трикутника.

Площу шестикутника обчислимо як суму площ чотирьох трикутників:

$$S = \sum_{i=1}^4 S_{TPi} \quad (3.3)$$

Для розрахунку площі проекцій колірною охоплення S для відбитків, отриманих на різних матеріалах, потрібно мати колірні координати, які отримали шляхом вимірювання в системі Lab.

Для дослідження колірною охоплення сольвентного та УФ-друку розраховані площі проекцій колірних охоплень для всіх відбитків на синтетичному полотні (табл. 3.3) та натуральному холсті (табл. 3.4).

Таблиця 3.3 – Значення колірною охоплення для синтетичного холста

Фарба/Вид друку	Gongzheng GZM3200UV (ультрафіолет)			Gongzheng ThunderJet C1601S (сольвент)		
	L	a	b	L	a	b
Cyan	51,4	-35,3	-49,5	51,9	-32,6	-42,6
Magenta	53,1	71,2	6	54,9	63,7	-4,0
Yellow	86,8	-6,8	88,5	87,9	-8,5	69,2
Black	19,7	1,3	3,6	35,3	1,7	5,3
Red	52,6	64,9	55,8	52,6	59,3	38,1
Green	46,4	-71,1	22,2	48,1	-66	15,1
Blue	22,8	21,1	-41,2	27,4	13,4	-43,1
Площа колірною охоплення	12 855,00			9 751,03		

Таблиця 3.4 – Значення колірною охоплення для натурального холста

Фарба/Вид друку	Gongzheng GZM3200UV (ультрафіолет)			Gongzheng ThunderJet C1601S (сольвент)		
	L	a	b	L	a	b
Cyan	52,8	-33,7	-51,4	54,8	-36,6	-52,7
Magenta	45,6	60,7	6,2	51,8	74,6	-5,6
Yellow	86,4	-6,9	87	89,3	-9,2	77
Black	22,4	1,3	3,1	22,1	2	5,2
Red	53,4	65,6	56,2	50,3	64,4	45,6
Green	46,5	-67,5	21,6	51,1	-78,1	17,2
Blue	23,1	20,8	-40,7	19,1	18,7	-46,2
Площа колірною охоплення	12 030,32			11 686,65		

Розрахуємо площу проекції охоплення кольорів також і для еталонного зразка (табл. 3.5), колірні координати якого отримаємо шляхом вимірювання Lab-координат вихідного файлу нашого тестового зображення у програмі Adobe Photoshop.

Таблиця 3.5 – Lab-координати еталонного зразка

Колір	L	a*	b*
Cyan	62	-44	-50
Magenta	52	81	-7
Yellow	95	-6	96
Black	12	2	0
Red	52	74	54
Green	57	-74	30
Blue	25	25	-55

Колірне охоплення еталона наведено на рисунку 3.12. за розрахунком його значення.

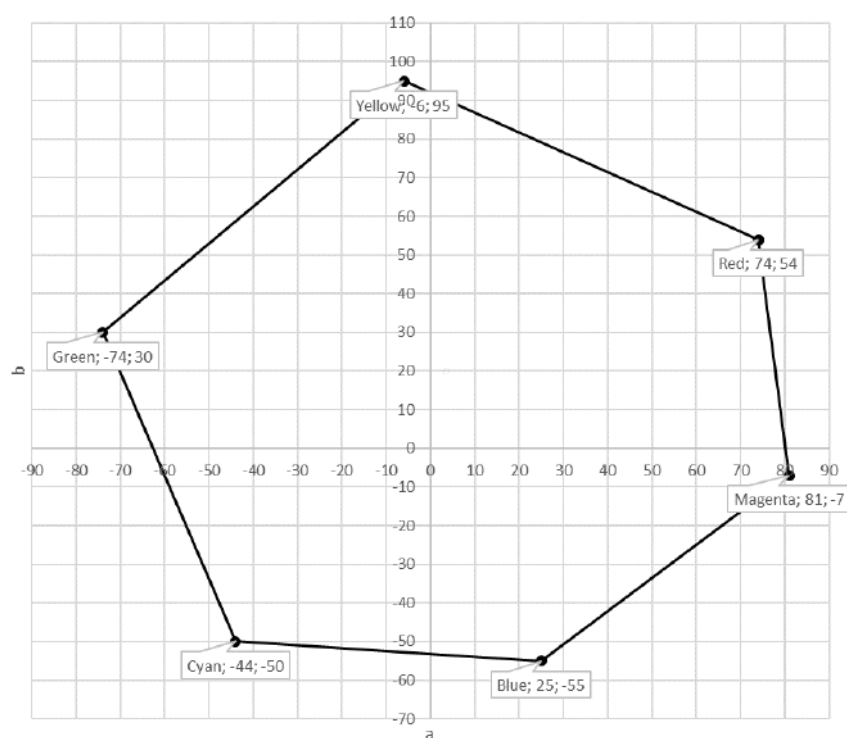


Рисунок 3.12 – Колірне охоплення еталону

Результати розрахунку площ проекцій колірного охоплення на площину a^*b^* наведено у зведеній таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Площі проекцій колірного охоплення

Колірне охоплення S			
Еталон		16107	
УФ-принтер		Сольвентний принтер	
Синтетичний холст Канва Матисс	12 855,00	Синтетичний холст Канва Матисс	9 751,03
Натуральний холст Канва Миро	12 030,32	Натуральний холст Канва Миро	11 686,65

Візуальне представлення колірного охоплення відповідно для натурального та синтетичного холстів наведено на рисунках 3.13 та 3.14.

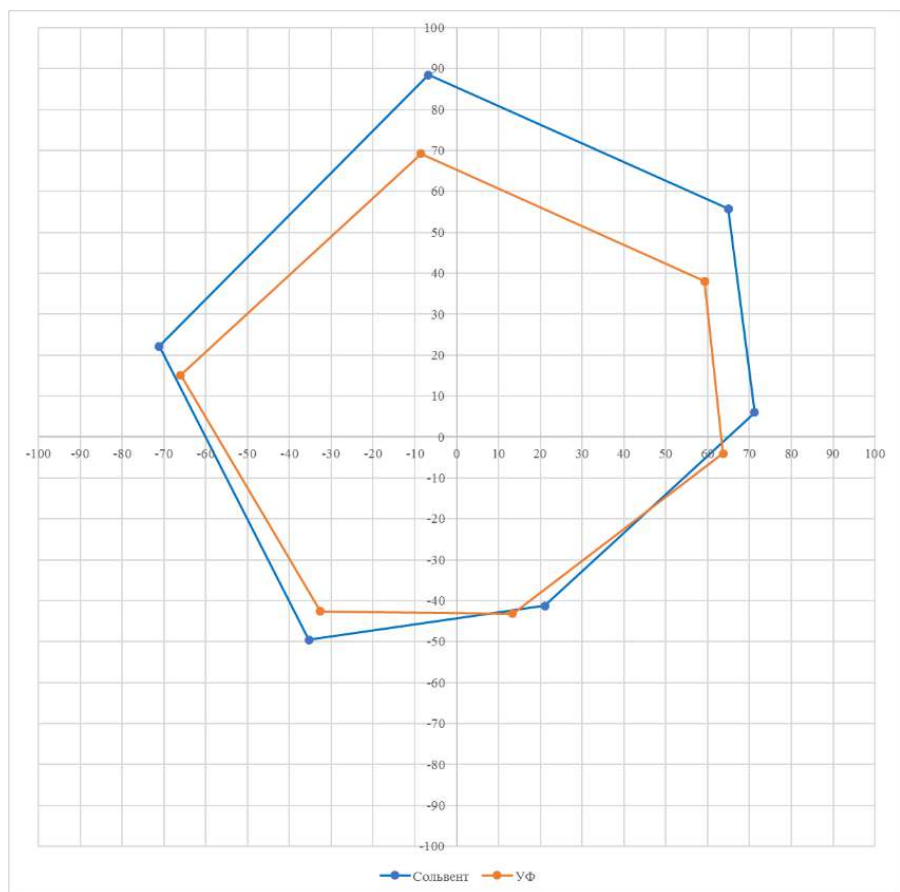


Рисунок 3.13 – Колірне охоплення для натурального холста

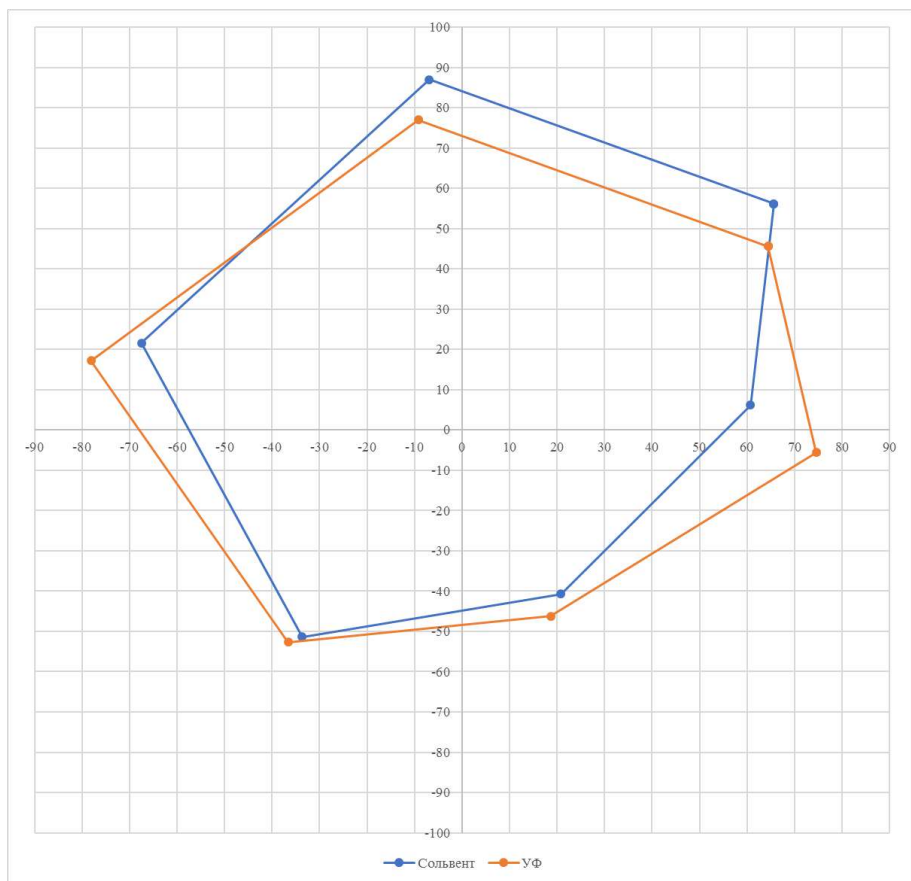


Рисунок 3.14 – Колірне охоплення для синтетичного холста

Проведений аналіз показує, що надруковані відбитки на синтетичному полотні мають більш розширене колірне охоплення, тобто більший динамічний діапазон. Це дозволяє друкувати з фотореалістичною якістю, а також відтворювати яскраві та насичені блакитні, зелені, рожеві та пурпурні відтінки. Це також покращує відтворення тілесних тонів. Що дозволяє друкувати будь-які картини на холсті і задовольняти будь-якого замовника. Сольвентний друк також перевищує граничне значення, тому замовнику можна рекомендувати будь який вид друку для отримання якісної продукції.

Насичені і яскраві кольори не блякнуть під час друку. Особливо це помітно для УФ-чорнил, що підтверджується і візуальною оцінкою.

3. Відхилення за кольорами.

Це властивість системи відтворювати кольори, ступінь відповідності яких на оригіналі та відбитку пропонується оцінювати за показником різниці кольору ΔE [23].

У просторі CIE Lab різниця між кольорами оцінюється за допомогою Евклідової відстані:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (L_1 - L_2)^2} = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2} . \quad (3.4)$$

Граничне значення для цифрового друку 3 одиниці. Всі зразки не перевищують це значення.

Розрахунок середнього значення для кожного зразка здійснюється за шкалою UGRA/FOGRA та наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Колірне розходження

ΔE		3	
УФ-принтер		Сольвентний принтер	
Синтетичний холст Канва Матисс	1,88	Синтетичний холст Канва Матисс	2,6
Натуральний холст Канва Миро	2,08	Натуральний холст Канва Миро	2,73

Дослідження підтверджують можливість використання цих принтерів для якісного друкування як картин, так і фоторепродукцій (УФ-принтера). Причому синтетичний матеріал має кращі характеристики.

4. Рівномірність друку.

Даний показник дозволяє оцінити рівномірність задрукування плашки, що особливо важливо під час друку зображень з великими суцільними ділянками. Цей параметр слід контролювати, що підтверджують багато дослідників якості друку.

В роботі [19] пропонується оцінювати рівномірність друку за значенням середньо квадратичного відхилення:

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{\text{сер}})^2}{n-1}}, \quad (3.5)$$

де M – показник макронеоднорідності друку;

$D_i, D_{\text{сер}}$ – значення оптичної щільності i -го поля плашки та середнє значення оптичної щільності по всій довжині плашки;

n – кількість полів плашки.

З наведеної формули видно, що тест-об'єкт для визначення рівномірності друку є чорні прямокутники, розташовані як по довжині, так і по ширині відбитка. Якщо вважати, що в ідеальному випадку плашка повинна бути рівномірною по всій довжині та ширині друку, то для розрахунку еталонного значення даного показника приймемо різницю оптичних щільностей нерозрізнених для ока на рівні 0,05D. Отже, за (3.2) еталонне значення становитиме $M=0,024$.

Показник «Рівномірність друку» розраховується як середня арифметична макронеоднорідність друку в горизонтальному та вертикальному напрямках. Значення макронеоднорідності відповідає середньоквадратичному відхиленні.

Значення оптичних щільностей задрукованих полів були виміряні у двох напрямках. Показники макронеоднорідності друку досліджуваних принтерів було зведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Показник рівномірності друку

УФ-принтер		Сольвентний принтер		Еталон
Синтетичний холст Канва Матисс	Натуральний холст Канва Миро	Синтетичний холст Канва Матисс	Натуральний холст Канва Миро	
0,016	0,019	0,021	0,023	0,024

Найкращий результат у цьому експерименті було отримано на синтетичному холсті Канва Матисс, роздрукованому на УФ-принтері. Загалом результати перевищили всі очікування.

Даний результат свідчить про те, що сучасний широкоформатний друк, вже не містить дефекту нерівномірності друку, як раніше. Причому ці принтери друкують якісно на будь-якому матеріалі, як синтетичному, так і натуральному з різною фактурою.

Ці результати можна рекомендувати замовнику, який сумнівається, що отримає якісне зображення на холсті.

5. Градаційна передача.

Це один із найважливіших показників якості друку. Дану властивість можна оцінити за кількістю напівтонів, що передаються. Використовуємо шкалу із різними відносними розмірами растрової точки: від 0 до 100%.

Для визначення використовуємо метод, що ґрунтується на підрахунку порогів світловідмінності в кожній області та враховує особливості тонопередачі на різних ділянках градаційної кривої (світлах, півтонах та тінях). Це градаційна (тональна) характеристика чорно-білого або кольорового зображення на відбитку, яка є різницею в світлоті (насиченості кольору) його найбільш світлих і темних ділянок [22].

Показник градаційної передачі:

$$n = \sum_{0,02}^{0,3} \Delta D_1 + \sum_{0,3}^{1,1} \Delta D_2 + \sum_{1,1}^{2,0} \Delta D_3, \quad (3.6)$$

де ΔD – число переходів оптичної щільності, виражене в значення порогової чутливості ока для ахроматичних зображень і в кольірних відмінностях при дотриманні балансу «сірого» для кольорових зображень.

Для чорного кольору значення порогової чутливості відповідає середньому значенню, визначеному по Лаурі [22]:

$$\Delta D1 = 0,01, \Delta D2 = 0,02 \text{ та } \Delta D3 = 0,31.$$

Ідеальна градаційна передача є графіком вигляді прямої лінії, отже, розрахувати еталонне значення можна за (3.4):

$$n = \frac{0,3 - 0,02}{0,01} + \frac{1,1 - 0,3}{0,02} + \frac{2,0 - 1,1}{0,3} = 71. \quad (3.7)$$

Лінійність друку також оцінюється візуально. Якщо градієнтна заливки виглядає практично бездоганною: кольірні переходи в цілому плавними, помітна ступінчастість майже відсутня – градієнтну передачу можна вважати відмінною.

Значення вимірної оптичної щільності та розрахунок лінійності наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Вимірювання оптичної щільності та розрахунок лінійності

Матеріал	Технологія друку	Dфон	D _{25%}	D _{75%}	D _{100%}	n
Холст натуральний	УФ	0,1	0,32	1,01	1,72	59
Холст синтетичний	УФ	0,02	0,45	1,15	1,98	81
Холст натуральний	Екосольвент	0,1	0,27	0,98	1,58	55
Холст синтетичний	Екосольвент	0,02	0,41	1,03	1,60	72

Для оцінки градаційних властивостей зображень, отриманих на широкоформатних принтерах, необхідно виміряти значення оптичної щільності контрольних шкал з різними відносними розмірами растрової крапки: від 0 до 100 %.

Для найбільш повного уявлення лінійності друку досліджуваних принтерів шкали розроблені для основних та допоміжних кольорів. Вимірювання

здійснюється для кожного типу матеріалу (синтетичні та натуральні холсти і для кожного тестованого пристрою).

Результати вимірювань градаційних кривих, побудованих за результатами експерименту, показують, що оптична щільність зображення залежить від типу принтера. Менші значення оптичної щільності спостерігаються на сольвентному принтері Gongzheng ThunderJet C1601S.

На відміну від екосольвентних чорнил, ультрафіолетові чорнила не висихають і не випаровуються самі по собі, а тільки під впливом ультрафіолетового світла. Тому виходить дуже яскраве зображення з насиченими кольорами та яскравою фактурою (нібито об'ємне зображення, як намальоване справжніми фарбами). Для ультрафіолетового друку не потрібна спеціальна підготовка носіїв, що істотно заощаджує кошти. Закріплення відбувається дуже швидко, при цьому виходить дуже стійке зображення з фотографічною якістю, яке можна використовувати для будь-яких картин на полотні.

3.7 Розрахунок комплексних показників якості відбитків для широкоформатного друку.

Формула розрахунку комплексного показника наступна:

$$Q = \frac{K}{45} + \frac{S}{16107} + \frac{3}{\Delta E} + \frac{0,024}{M} + \frac{71}{n}, \quad (3.8)$$

де Q – комплексний показник якості широкоформатного друку;

K – показник контрасту;

n – показник градаційної передачі (лінійності);

ΔE – значення різниці кольорів;

S – значення площі колірною охоплення;

M – показник рівномірності друку.

Для порівняння якості отриманих відбитків на різних матеріалах використовується комплексний показник, який розраховується для кожного експериментального зразка.

В таблицю 3.10 зведені значення всіх показників для кожного експериментального зразка.

Таблиця 3.10 – Показники експериментальних зразків за якістю друку

Полотно	Технологія друку	Показники				
		Контраст	Кольорове охоплення	Різниця кольорів	Рівномірність друку	Лінійність
натуральне	УФ	41,00	12 030,32	2,08	0,019	59
синтетичне	УФ	42,00	12 855,00	1,88	0,016	81
натуральне	Сольвент	38,00	11 686,65	2,73	0,023	55
синтетичне	Сольвент	36,00	9 751,03	2,6	0,021	72

Отримані результати розрахунку комплексного показника для широкоформатного друку на різних видах тканин та їх ранжування наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Ранжування експериментальних зразків за якістю друку

Експериментальний зразок	Комплексний показник якості	Ранг
УФ друк на синтетичному холсті	0,575	1
УФ друк на натуральному холсті	0,570	2
Екосольвентний друк на синтетичному холсті	0,523	3
Екосольвентний друк на натуральному холсті	0,490	4

Комплексна оцінка якості друку пов'язує візуальну оцінку, інструментальну оцінку та фізичні показники якості відбитка, отриманих за допомогою УФ-друку та сольвентного друку.

3.8 Експертне оцінювання якості друку.

Експертні оцінки не використовуються для обчислення комплексного показнику, але вони потрібні для подальшого порівняння з результатами обчислень. Для візуальної оцінки роздрукованих зображень було проведено експертне опитування тієї ж групи експертів, які визначали вагові коефіцієнти для об'єктивної оцінки показників якості широкоформатного друку на холсті.

Зважаючи на професійність експертів, перевага віддана методу рангу.

Для кожного з експертів ставилася задача пронумерувати відбитки від 1 до 6, де 1 – найгірша якість, 6 – найкраща.

За допомогою простого порівняння якості відтворювання тестових зображень, кожен з експертів може швидко відсортувати за якістю відбитки. При цьому експерти оцінюють як об'єктивні показники (наприклад, градаційні характеристики, рівномірність друку), так і суб'єктивні показники якості друку (відтворення пам'ятних кольорів, глянець та фактура поверхні тощо).

Оцінювання експертів наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Оцінювання експертів

Експериментальний зразок	Експерт							Сума балів	Ранг
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7		
УФ друк на синтетичному холсті	6	5	6	5	6	6	6	28	1
УФ друк на натуральному холсті	3	4	3	4	4	4	4	18	2
Сольвентний друк на синтетичному холсті	1	2	2	2	1	1	1	8	3
Сольвентний друк на натуральному холсті	2	1	1	1	2	2	2	7	4

У процесі відбору експертів значну увагу приділяють узгодженістю їх

рішень.

Міру узгодження рішень групи експертів оцінюють за допомогою коефіцієнта конкордації, який визначається за формулою [5]:

$$K_w = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)}, \quad (3.9)$$

де S – сума квадратів відхилень суми рангів кожного об'єкта експертизи від середнього арифметичного рангів;

r – кількість експертів;

n – кількість об'єктів експертизи.

Коефіцієнт конкордації може мати значення від нуля до одиниці (для повного узгодження):

- при $K_w = 1$ – повна узгодженість;
- при $K_w = 0$ – узгодженість відсутня
- при $K_w > 0,70$ – добра.

Для підтвердження узгодженості цього експертного дослідження також розраховано коефіцієнт конкордації, який дорівнює 0,91. Це високий ступень узгодженості думок експертів. Під час порівняння результатів експертної оцінки з комплексним показником ми бачимо повне узгодження ранжування оцінюваних відбитків.

Це дозволяє стверджувати, що комплексну оцінку якості широкоформатного друку можна рекомендувати для практичного використання як типову на аналогічних підприємствах.

Висновки та рекомендації

В роботі були досліджені особливості широкоформатного друку на полотні, здійснено аналіз різних технологій друкування. Експериментальні дослідження проводились в умовах діючих поліграфічних підприємств, які мають екосольвентні та УФ-плотери і спеціалізуються на виготовленні широкоформатної продукції. Матеріали були обрані з асортименту цих виробництв, як найбільш доступні за якістю і ціною. Це дозволило провести всебічне дослідження як властивостей цих матеріалів (їх переваги та недоліки), так і особливості широкоформатного друку на цих матеріалах та надати необхідні рекомендації щодо покращання процесу широкоформатного друку для підприємств.

Обидва підприємства займаються друкуванням картин, тобто виконують друк на холсті. І мають великий попит на цей вид поліграфічних послуг. Для полегшення вибору матеріалів і технологій друкування під час замовлення споживачем була розроблена методика вибору найбільш оптимального сполучення матеріал – вид друку. Ця методика базується на ранжуванні матеріалів за узагальненим показником якості відповідно до вимог друку. Від того, що бажає отримати замовник – картину на полотні чи фоторепродукцію.

Отримані результати однозначно підтверджують якість всіх технологій на всіх матеріалах. Дослідження матеріалів, проведені в роботі, підтверджують екологічність як екосольвентного друку, так і УФ-друку, що дає можливість їх використання не тільки для зовнішніх робіт, але й навіть для виготовлення тканинних полотен для оформлення кімнат. Теж саме можна сказати і про властивості матеріалу – і синтетичне, і натуральне полотно повністю відповідають всім вимогам якості як для внутрішнього застосування, так і для зовнішньої реклами, яку можуть друкувати на холсті.

Для полегшення вибору замовнику пропонується алгоритм вибору, де він може вказати який з параметрів його більш за все цікавить – реалістичне зображення, фактурність, ціна і йому буде підібрано оптимальний варіант.

Це дає змогу стверджувати, що комплексну оцінку якості широкоформатного друку на полотні для досліджуваних матеріалів (синтетичного та натурального полотна) як за сольвентними та УФ-чорнилами можна рекомендувати для практичного використання на підприємствах, які займаються широкоформатним друком.

Результати дослідження можна пропонувати замовникам під час узгодження вибору матеріалу для друкування картин чи фотографій на полотні, або іншої поліграфічної продукції на цих матеріалах.

Комплексний підхід для оцінювання якості дає можливість уникнути суперечки і розбіжності як під час технологічного процесу виготовлення поліграфічної продукції, так і під час спілкування із замовниками.

Список літератури.

1. Чеботарьова, І.Б., & Івлева, А.О. (2020). Використання технології «ЖИКЛЕ» при художньому друці на полотні. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 102-103).
2. Сайт Формат-Харків. URL: <https://for-k.com.ua/>.
3. Григор'єв, О.В., & Вовк, О.В. (2022). Метрологічне забезпечення якості поліграфічної продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 16-17).
4. Григор'єв, О.В., Вовк, О.В., & Петренко, А.І. (2022). Метрологічне забезпечення виробництва в Україні. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 20-21).
5. Манаков, В.П., Чеботарьова, І.Б., Чеботарьов, Р.І., & Муравйова, А.В. (2016). Розробка та апробація методики комплексної оцінки рівня якості флексодруку екструзійного пакування. *Traektoriâ Nauki = Path of Science*, (4). <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-iaprobatsii-metodiki-kompleksnoy-otsenki-urovnya-kachestva-fleksopechati-ekstruzionnoy-upakovki>.
6. Manakov, V., Chebotareva, I., & Muraviova, O. (2017). Integrated evaluation of the quality of extrusion packaging flexo-print. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 11-12).
7. Гавриш, Є.В., Григор'єв, О.В., & Чеботарьова, І.Б. (2020). Оцінка якості широкоформатного друку. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 87-89).
8. Чеботарьова, І.Б., Бізюк, А.В., & Стадник, А.Д. (2024). Аналіз способів друкування на тканині для брендування одягу. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 26-30).
9. Григор'єв, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Козаченко, А.О. (2021). Особливості друкування картин на полотні. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 42-44).
10. Ткаченко, В.Ф., & Манаков, В.П. (2007). Цифровий оперативний друк: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ.

11. Chebotarova, I., Havrysh, Y., & Kozachenko, A. (2020). Creation of decorative photo zone elements using sublimation print. Perspective directions for the development of science and practice. (p. 22-26).
12. Вовк, О.В. (2022). Організація виробничого процесу на поліграфічному підприємстві «Формат-Харків». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації: монографія. (с. 5-36). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».
13. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
14. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Сокольников, В.О. (2021). Аналіз виробничих факторів на етапі додрукарської підготовки широкоформатної продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 38-39).
15. Донський, Д.О., Манаков, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2025). Оцінка впливу виробничих факторів на якість продукції цифрової друкарні «Мадрид». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 49-51).
16. Вовк, О.В., & Григор'єв, О.В. Технологія та обладнання поліграфічних процесів: конспект. Харків: ХНУРЕ, 2021. 160 с.
17. Каталог Orly. Принтери і обладнання. https://orly.dp.ua/catalog/printers_and_equipment/.
18. Чеботарьова, І.Б., & Манаков, В.П. (2021). Дослідження засобів та методів управління якістю на підприємстві «Бурунін і К». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: монографія. (с. 164-188). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».
19. Кульбич, І.К., & Лотоцька, О.І. (2013). Оцінка якості відбитків при цифровому друці. Технологія і техніка друкарства, (4), 25-39.
20. Diakov, D., & Chebotarova, I. (2025). Colorimetric parameters of national flags of Ukraine and Bulgaria. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 233-234).
21. Григор'єв, О.В., Вовк, О.В., & Кириллова, Д.В. (2024). Контрольно-вимірювальне обладнання додрукарського етапу – гарантія якості друкованої продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 207-209).
22. Гавенко, С.Ф., & Мельников, О.В. (2020). Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посібник / під ред. Е.Т. Лазаренко; Укр. акад. друкарства. Л.: Афіша.
23. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: Вид-во УАД.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Король А.Л.

аспірант, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

Манаков В.П.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** Сучасне поліграфічне виробництво характеризується складністю використовуваної технологічної бази, великою різноманітністю характеристик продукції, що виробляється, і значним набором базових технологічних операцій. Це викликає необхідність розробки та запровадження ефективних методів планування виробничих процесів. Ця робота присвячена дослідженню методів оптимізації технологічного процесу календарного планування поліграфічного виробництва.*

***Ключові слова:** ПОЛІГРАФІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО, МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, КАЛЕНДАРНЕ ПЛАНУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.*

Вступ

Поліграфічне підприємство, в сучасних умовах, це виробництво з великим асортиментом продукції, що випускається, і відповідно з великою кількістю базових технологічних операцій, обладнанням та різними фахівцями. Сукупність цих параметрів дозволяє організувати різні технологічні процеси та необхідність впровадження методів планування виробничих процесів. Одним з таких методів є система мережевого планування та управління, що представляє комплекс графічних та розрахункових методів, організаційних заходів та контрольних прийомів, що забезпечують моделювання, аналіз та динамічну перебудову плану виконання складних проектів, розробок та виробничих програм. У зв'язку з характером продукції поліграфічне виробництво є дискретним і актуальність автоматизації завдання календарного планування просто необхідна.

Мета та задачі дослідження

Завдання календарного планування займає важливе місце у продуктивній організації робочого процесу. Правильне планування виробничої діяльності є запорукою узгодженого функціонування всіх підрозділів підприємства, як наслідок, отримання максимального прибутку та підвищення продуктивності праці при оперативному та якісному виконанні замовлень зі зниженням їхньої собівартості. В умовах сучасної конкурентної боротьби за сегменти ринку перед багатьма поліграфічними підприємствами стоїть проблема оптимізації існуючих та впровадження нових методів організації виробництва.

В роботі розглядаються такі цілі та завдання як:

- забезпечення мінімальної тривалості виробничого циклу видань за мінімальної собівартості готової продукції;
- оптимізація системи календарного планування технологічного процесу для підприємства.

Основна частина

1 Постановка завдання дослідження

Проблема автоматизації управління у поліграфії залишається досить гострою, то до розгляду подано оптимізацію стратегії комплексної роботи підприємства. У цій роботі розглядається проблема автоматизації складання раціонального плану виробництва та його оптимізація у тимчасовому розрізі за рахунок залучення додаткових ресурсів.

Розглянемо поліграфічне підприємство, у якому є фіксований набір устаткування й штат співробітників, достатні до виконання певного технологічного процесу. На підприємстві немає простою устаткування, оскільки циклічно повторюється той самий технологічний процес – виготовлення брошури на скріпці. У табл.1 наведено характеристичні дані, які замовник надає поліграфічному підприємству для початку роботи.

Таблиця 1 – Вихідні дані для виготовлення брошури

№ з/п	Найменування параметра, одиниці виміру	Значення параметра
1	Тираж, екземплярів	9360
2	Кількість сторінок	48
3	Тип палітурки	Обкладинка, на скріпці
4	Тип паперу	Книжковий блок: газетна; обкладинка: крейдована.
5	Фарбовість	Книжковий блок: 1+1; обкладинка: 4+0.
6	Фінішингові процеси: - ламінування; - тиснення фольгою; - блінтівка.	ні ні ні

У даному ідеалізованому випадку технологічний процес залишається незмінним, як з точки зору параметрів видань, що виготовляються, так і з точки зору використання на кожному етапі технологічного процесу певних одиниць обладнання і оперують ними працівників. Отже оптимізації підлягає технологічний процес як одиниця цілісного виробничого процесу. Виходячи з цього, можна сформулювати наступне завдання оптимізації – зменшення часових витрат на один технологічний процес з метою збільшення обсягів виробництва продукції та, відповідно, прибутку підприємства на деякому часовому відрізку (1 рік).

Це завдання може бути розділена на кілька етапів (табл. 2).

Таблиця 2 – Етапи оптимізації роботи поліграфічного виробництва

№ з/п	Назва етапу	Засоби реалізації
1	Побудова технологічного процесу для виготовлення брошури на скріпці на базовому обладнанні	Облікова система видавництва
2	Побудова мережевого графіка робіт, що проводяться	Система календарного планування або побудова вручну
3	Оптимізація мережного графіка	Спеціалізовані програмні засоби
4	Підбір необхідного обладнання	Довідкові інформаційні джерела
5	Побудова нового технологічного процесу виготовлення брошури на скріпці на доповненому устаткуванні	Облікова система видавництва
6	Побудова нового мережевого графіка робіт, що проводяться	Система календарного планування або побудова вручну

Найбільш раціональним шляхом покращення плану робіт є скорочення часу на виготовлення книги. Однак форсування робіт з метою зменшення часу вимагає вкладення додаткових коштів, тому що при цьому доводиться залучати додаткове обладнання та робочу силу. Тому постановка конкретної задачі оптимізації може бути наступною: які додаткові кошти необхідно вкласти і в які операції, щоб термін виконання робіт був не більший за задану величину, а витрата додаткових коштів була мінімальною [2].

Коректне проведення досліджень потребує ретельного планування.

2 Методика досліджень

2.1 Мережеві методи календарного планування.

При плануванні складних робіт: випуску видань, заміни старого обладнання більш досконалим, ремонту обладнання – необхідно прагнути їхньої раціональної організації. При цьому роботи повинні виконуватися у визначені терміни при раціональному використанні трудових та матеріальних ресурсів.

Особливістю складних комплексних робіт є те, що вони складаються з окремих більш простих робіт, які зазвичай взаємно обумовлюють одне одного. Це означає, що виконання деяких робіт не може бути раніше, ніж виконані деякі інші роботи.

Сукупність взаємозалежних операцій, які виконуються у певній послідовності задля досягнення заданої мети, носить найменування програми робіт. Мережеве планування та управління програмами робіт включає три етапи (рис. 1).

Структурне планування включає розбиття роботи на прості операції і побудова мережевої моделі, на якій кожна стрілка позначає просту операцію. На мережній моделі явно простежується взаємозалежність між окремими операціями.

Завданням календарного планування є побудова календарного графіка, у якому зазначено початок і закінчення кожної операції. Календарний план дозволяє виявити критичні операції, яким необхідно приділяти особливу увагу. Операція називається критичною, якщо затримка її початку призводить до збільшення терміну закінчення програми робіт. Часом початку та закінчення не критичних операцій можна змінювати, так як їх виконання має тимчасовий резерв, який

можна використовувати з метою підвищення ефективності. У роботі най докладніше розглядається етап календарного планування.



Рисунок 1 – Етапи мережевого планування та управління програмами робіт

Оперативне управління процесом реалізації програми має на меті контроль за своєчасним виконання окремих операцій та запровадження корекції мережевої моделі, призначенням якої є виконання директивного терміну виконання програми робіт [4].

2.2 Пряма та зворотна задача календарного планування технологічного процесу.

Метод мережного планування дозволяє вирішувати як прямі, і зворотні задачі дослідження операцій. Прямі завдання відповідають питанням: що буде, якщо ми прийнемо цю схему організації операції? Зворотні завдання відповідають на питання: як потрібно організувати (спланувати) операцію, щоб вона мала в якомусь сенсі максимальну ефективність? [2].

Зворотні задачі, як правило, набагато складніші за прямі. Щоб вирішувати зворотні завдання, необхідно, перш за все, навчитися вирішувати прямі. Зворотні завдання вирішуються з метою оптимізації програми робіт. Нижче наведено кілька прикладів типових зворотних завдань, які можуть бути вирішені за допомогою мережових методів планування.

1. Задача розподілу інвестицій. Загальний час виконання робіт T представляється керуючому виробництвом надто тривалим. Виникає питання, як потрібно форсувати роботи для того, щоб загальний час не перевищував нового заданого терміну T_0 . Очевидно, для цього має сенс форсувати саме критичні роботи, зниження тривалості яких безпосередньо позначиться на часі T . Однак при цьому може виявитися, що критичний шлях зміниться і найбільш слабкими місцями виявляться інші операції. Якщо припустити, що форсування робіт потребує вкладення певних коштів. Виникає типове завдання дослідження операцій: які додаткові кошти необхідно вкласти й у які операції, щоб термін виконання робіт був не більше заданої величини, а витрата додаткових коштів була мінімальною.

2. Задача перерозподілу ресурсів. Усі роботи, окрім критичних, мають якісь тимчасові резерви. У деяких випадках виявляється можливим, перекинувши сили та засоби з некритичних ділянок плану на критичні, домогтися зменшення

сумарного часу виконання програми робіт. Завдання дослідження операцій у цьому випадку така: які сили та засоби необхідно перекинути з одних робіт на інші для того, щоб час виконання комплексу робіт став мінімальним.

3. Задача встановлення оптимального терміну виконання програми робіт. Після побудови мережного графіка стало відомо, що мінімальний час виконання всього комплексу робіт укладається в заданий термін з надлишком: $T' < T_0$. Отже, є відомий запас часу, яким ми маємо право розпорядитися, збільшивши час виконання робіт (не перевищуючи T_0) і тим самим заощадивши деякі кошти. Завдання оптимізації формулюється так: до яких меж можна збільшувати час виконання операцій та яких саме операцій, щоб отримана від цього економія коштів була максимальною.

У цій роботі розглядається завдання розподілу інвестицій, а також досліджується залежність інвестицій від загальної тривалості програми випуску.

2.3 Методи оптимізації розв'язання задач календарного планування технологічного процесу.

Оптимізація розв'язання задачі календарного планування технологічного процесу може бути реалізована за допомогою двох методів – розв'язання задачі календарного планування при зведенні її до стандартної форми задачі лінійного або дискретного програмування. Обидва методи видають необхідне рішення, якщо коректно складена цільова функція і чітко задані обмеження.

3 Математична постановка задачі календарного планування при зведенні її до стандартної форми задачі лінійного програмування

3.1 Особливості розв'язання задачі лінійного програмування.

Загальна постановка задачі лінійного програмування у разі виглядає так: програма випуску складається з робіт $a_1, a_2, \dots, a_n$ із часом виконання $t_1, t_2, \dots, t_n$. Відомий критичний шлях – послідовність робіт, особливість яких полягає в наступному: для того, щоб було дотримано мінімального часу виконання програм випуску, кожна з них повинна починатися точно в той момент, коли закінчена остання з робіт, на які вона спирається. Сумарна тривалість робіт, що лежать на критичному шляху, є мінімальним часом, за який може бути завершена програм випуску. Час виконання комплексу дорівнює

$$T = \sum_{(кр.)} t_i > T_0, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де T_0 – заданий термін виконання програми робіт, а підсумовування поширюється лише на роботи критичного шляху.

Відомо, що вкладення певної суми x_i додаткових коштів у роботу a_i скорочує час виконання роботи з t_i до $t'_i = f(x_i) < t_i$, $i = \overline{1, n}$, де n – кількість операцій (робіт) на критичному шляху. У кожену роботу a_i можна вкласти додаткові кошти x_i у розмірі, що не перевищує значення c_i .

Необхідно визначити, які додаткові кошти $x_1, x_2, \dots, x_n$ слід вкласти у кожну з робіт, щоб:

- термін виконання програми випуску T_{min} був не вище заданого T_0 ;
- сума вкладених коштів сягала мінімуму.

Таким чином, завдання лінійного програмування в загальному випадку полягає у мінімізації функції цілі:

$$L = \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

За умов:

$$T_{0_{min}}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$c_i - x_i \geq 0, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$x_i \geq 0, i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де L – цільова функція;
 x_i – інвестиції в i -у операцію;
 c_i – вартість одиниці обладнання для i -ї операції;
 n – кількість операцій на критичному шляху;
 T_0 – обмеження на новий час виконання програми випуску;
 T_{min} – новий час виконання програми випуску.

$$T \sum_{(кр.)} f(x_i)_{min}, i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де відповідно до [4]

$$f(x_i) = t'_i = t_i(1 - b_i x_i), i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де t_i – початковий час виконання i -ї операції програми випуску;
 t'_i – новий час виконання i -ї операції програми випуску.
 Розрахунки коефіцієнта b_i буде описано у п. 4.1.

Для коректного розв'язання задачі слід визначити c_i . Виходячи зі специфіки даного завдання, додаткові вкладення, які можуть зменшити час виконання i -ї операції, повинні бути кратні вартості одиниці обладнання, яке може бути встановлене додатково на цій операції. Отже, x_i – це дискретна величина, що дорівнює $k * c_i$, де k – кількість одиниць обладнання, що встановлюються додатково на i -у операцію.

Так як лінійне програмування не дозволяє отримати точне значення x_i через обмеження (4), то одержані значення x_i слід округлювати до найближчого дискретного значення (у бік збільшення, виходячи з умови (3)).

Завдання лінійного програмування можна вирішити:

- за допомогою симплексного методу [5];
- графічно.

Алгоритм розв'язання задачі лінійного програмування:

- визначення цільової функції як суми інвестицій на кожну операцію технологічного процесу, що лежить на критичному шляху;
- визначення нового часу кожної операції, що залежить від інвестицій та отримання обмеження на підставі твердження, що новий сумарний час $T_{\min}$ менший або дорівнює заданому T_0 ;
- визначення обмежень на інвестиції, які передбачається вкласти у кожну операцію (4);
- вираження нового сумарного часу як суми значень часів усіх операцій;
- отримання наближених значень інвестицій;
- отримання значень x_i , що шукаються, шляхом округлення до найближчого більшого дискретного значення.

3.2 Математична постановка задачі календарного планування при зведенні її до стандартної форми задачі дискретного програмування.

1. Особливості розв'язання задачі дискретного програмування.

Завдання, що розглядається, за своєю суттю є завданням дискретного програмування, оскільки необхідно знайти оптимум у просторі змінних, що визначаються вартістю обладнання, а це – фіксовані дискретні значення.

Для того, щоб звести розглянуту задачу календарного планування до стандартної форми завдання дискретного програмування, необхідно задати цільову функцію, яка підлягає мінімізації, та відповідні оптимізації задачі обмеження. В даному випадку мінімізована функція матиме вигляд:

$$L = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n b_i \cdot c_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

де $x_i = b_i c_i$ – інвестиції в i -у операцію;

b_i – кількість одиниць обладнання чи найманих працівників, які можна додати на i -у операцію:

$$b_i \in N; N = \{0; 1; 2\}, i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

де n – кількість операцій, що знаходяться на критичному шляху;

c_i – вартість одиниці обладнання або усереднена заробітна плата найманого працівника..

Вираз для загальної тривалості оптимізованого технологічного процесу $T_{\min}$ виглядатиме так:

$$T \min = \sum_{i=1}^n t'_i = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{1+b_i}, i = \overline{1, n}, \quad (10)$$

де t'_i – нова тривалість i -ї операції (після встановлення додаткового обладнання);

t_i – вихідна тривалість i -ї операції.

Таким чином, математична постановка задачі дискретного програмування має такий вигляд ((11) – (14)):

$$L = \sum_{i=1}^{n\Sigma} b_i \cdot c_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

При умовах:

$$b_i \in N; N = \{0, 1, 2\}, i = \overline{1, n}, \quad (12)$$

$$c_i \in M, i = \overline{1, n}, \quad (13)$$

де M – безліч всіх дискретних значень вартості устаткування;

$$T0_{min}, i = \overline{1, n}, \quad (14)$$

де T_{min} визначається з виразу (10);

T_0 – задана нова тривалість програми випуску.

Завдання дискретного програмування можна вирішувати за допомогою:

- методу гілок та кордонів;
- способу повного перебору.

2. Алгоритм розв'язання задачі дискретного програмування.

Для оптимізації розв'язання задачі календарного планування технологічного процесу, що розглядається, можна використовувати метод повного перебору, так як кількість варіантів перебору цілком можливо для розрахунку за допомогою ЕОМ. Метод повного перебору та знаходження з його допомогою мінімальної суми інвестицій з метою зменшення тривалості технологічного процесу може бути реалізовано за допомогою наступного алгоритму (рис. 2).

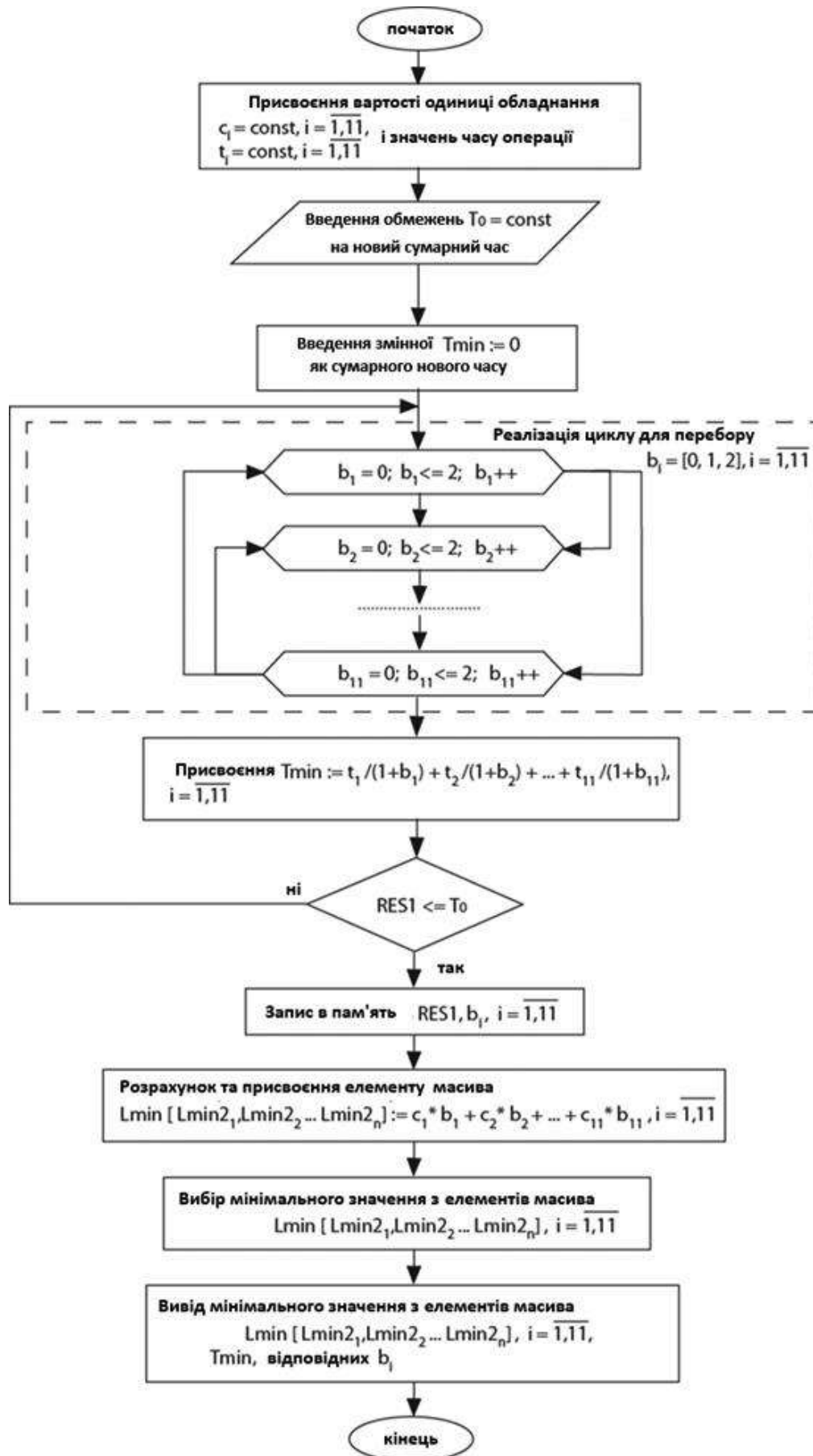


Рисунок 2 – Алгоритм повного перебору

4 Дослідження результатів розв'язання задачі календарного планування

4.1 Реалізація завдання календарного планування поліграфічного виробництва (прямого завдання) та побудова результуючого мережевого графіка.

Створюємо новий технологічний процес виготовлення брошури на скріпці і задаємо параметри технологічного процесу (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри технологічного процесу

№ з/п	Матеріали та напівфабрикати	Значення	Одиниця виміру
1	алюміній для офсетних пластин	7,24	кг.
2	блок необрізаний критий	9505	шт.
3	блок підібраний	9647	шт.
4	папір листовий на обкладинку	2734	арк.
5	папір рольовий на текст	1075,27	кг.
6	вода фільтрована	12,52	літр
7	гумуючий розчин	0,41	літр
8	досточки пакувальні формат 2	0,7	шт.
9	запресовані в пачки елементи зошита	115,88	шт.
10	книги обрізані з 3-х сторін	9365	шт.
11	книги відконтрольовані	9360	шт.
12	книги штриховані	9360	шт.
13	кількість пачок пакувальної продукції	120	шт.
14	фарба ротаційна чорна	2,65	кг.
15	фарба блакитна	0,45	кг.
16	фарба замовлена 1	0,58	кг.
17	фарба замовлена 2	0,42	кг.
18	фарба чорна	0,24	кг.
19	лак офсетний захисний	1,58	кг.
20	лист для друку обкладинки	2716,5	шт.
21	лист для пакування	243	арк. упак.
22	лист надрукований обкладинки	2430	шт.
23	макулатура МС1	124,54	кг.
24	Машина паперорізальна одноножова БР-125. марзан БР-125	36,61	шт.
25	Машина паперорізальна одноножова БР-125. ніж БР-125	0,13	шт.
26	Машина друкована листова Рапіда 52х72. пластина офсетна Рапіда 52х72	7	шт.
27	Машина друкована листова Рапіда 52х72. чохол зволожуючий Рапіда 52х72	1,31	шт.
28	Машина друкована ротаційна Циркон Ультрасет 72-3. пластина офсетна Ультрасет 72	8	шт.
29	монтаж для Рапіда	5	шт.
30	намотана бобіна дроту поліграфічного	644,42	м.
31	фальцована обкладинка	9657	шт.
32	обкладинка формована	9658	шт.
33	друкована форма для Рапіда 52х72	6	шт.
34	друкарська форма для Циркон Ультрасет-72	7	шт.
35	приладна друкована форма для друку обкладинки на Рапіда 52х72	6	шт.

Продовження таблиці 3

№ з/п	Матеріали та напівфабрикати	Значення	Одиниця виміру
36	приладна друкована форма для друку Циркон Ультрасет -72	6	шт.
37	дріт поліграфічний	0,36	кг.
38	Проявник	1,79	літр
39	розчин зволожуючий для листових машин	0,38	літр
40	розчин зволожуючий для рольових машин	9,84	літр
41	ремені пакувальні	1,86	шт.
42	рольовий елемент зошита фальцований	28971	шт.
43	скотч пакувальний	326	м.
44	зошити білі 1/32	600	шт.
45	зошит укомплектований	28971	шт.
46	тираж, відвантажений замовнику	120	пачка
47	тираж, відвантажений на склад	120	пачка
48	електроенергія	135,57	кВт.

Розраховуємо вартість матеріалів, використаних для виготовлення продукції, що розглядається (табл. 4).

Таблиця 4 – Розрахунки вартості матеріалів

№ з/п в табл. 3	Матеріали	Вартість за одиницю виміру	Загальна вартість, грн.
4	папір листовий на обкладинку	7,50 грн/кг або 1,05 грн./лист	2870,70
5	папір рольовий на текст	3,65 грн./кг	3924,70
7	гумуючий розчин	20,40 грн./л	8,36
14	фарба ротаційна чорна	45,60 грн./кг	120,84
15	фарба блакитна	117,17 грн./кг	52,73
16	фарба замовлена 1	117,17 грн./кг	67,96
17	фарба замовлена 2	117,17 грн./кг	49,43
18	фарба чорна	48,64 грн./кг	11,67
21	лист для пакування	2,21 грн./кг або 0,18 грн./лист	43,74
25	Машина паперорізальна одноножова БР-125. ніж БР-125	582,60 грн./ніж	75,74
26	Машина друкована листова Рапіда 52х72.пластина офсетна Рапіда 52х72	16,38 грн./пластина	114,66
28	Машина друкована ротаційна Циркон Ультрасет 72-3.пластина офсетна Ультрасет 72	20,76 грн./пластина	166,08
37	дріт поліграфічний	105,00 грн./кг	37,80
38	Проявник	33,55 грн./л	60,05
39	розчин зволожуючий для листових машин	25,64 грн./л	9,74
40	розчин зволожуючий для рольових машин	25,64 грн./л	252,30
43	скотч пакувальний	0,50 грн./м	163,00
48	електроенергія	0,30 грн./кВт	41,27
Загальна вартість матеріалів			8070,77

Процес виробництва брошури на скріпці включає низку узагальнених операцій, отриманих шляхом побудови технологічного процесу. Характеристики операцій наведені у (табл. 5).

Для побудови мережного графіка [2] першою операцією, що виконується з таблицею, є ранжування операцій. Після ранжування та нумерації операцій кожна наступна операція може спиратися лише попередні операції.

Щоб зробити ранжування операцій, необхідно поділити їх на певні ранги. Операції першого рангу це ті операції, до виконання яких не потрібно ніяких попередніх операцій. Якщо операція спирається одну чи кілька робіт першого рангу, вона належить до другого рангу. До операцій третього рангу слід віднести такі, які спираються на операції трохи більше другого рангу.

Таблиця 5 – Технологічний процес виготовлення брошури на скріпці

Номер операції	Назва операції	На які операції спирається	Ранг	Новий номер
b ₁	Книжковий блок: Виготовлення монтажів	-	1	a ₁
b ₂	Книжковий блок: Виготовлення друкованих форм	b ₁	2	a ₃
b ₃	Книжковий блок: Приладка друкованих форм	b ₂	3	a ₅
b ₄	Книжковий блок: Друк	b ₃	4	a ₇
b ₅	Книжковий блок: Запресовка	b ₄	5	a ₉
b ₆	Обкладинка: Виготовлення монтажів (4 фарби)	-	1	a ₂
b ₇	Обкладинка: Виготовлення друкарської форми (4 фарби)	b ₆	2	a ₄
b ₈	Обкладинка: Приладка друкарських форм (4 фарби)	b ₇	3	a ₆
b ₉	Обкладинка: Друк обкладинки	b ₈	4	a ₈
b ₁₀	Формування обкладинки	b ₉	5	a ₁₀
b ₁₁	Фальцювання обкладинки	b ₁₀	6	a ₁₁
b ₁₂	Добірка блоку	b ₁₁ , b ₅	7	a ₁₂
b ₁₃	Криття скобою	b ₁₂	8	a ₁₃
b ₁₄	Обрізання блоку з трьох сторін	b ₁₃	9	a ₁₄
b ₁₅	Контроль готової продукції	b ₁₄	10	a ₁₅
b ₁₆	Упаковка у пачки	b ₁₅	11	a ₁₆
b ₁₇	Флатівка пакувального паперу	-	1	a ₀

Після ранжування операцій їм призначаються нові номери, починаючи з операцій першого рангу, потім другого, третього рангів тощо. Усередині кожного рангу операції можуть нумеруватися у будь-який послідовності. Після перетворення таблиця набуває наступного вигляду (табл. 6).

З (табл. 6) випливає, що кожна з наступних операцій залежить від операцій із меншими порядковими номерами. Години виконання робіт відомі за даними облікової системи.

Таблиця 6 – Технологічний процес виготовлення брошури на скріпці (після ранжування)

Номер операції	Назва операції	На які операції спирається	Час, годин
a ₀	Флатівка пакувального паперу	-	5,00
a ₁	Книжковий блок: Виготовлення монтажів	-	1,50
a ₂	Обкладинка: Виготовлення монтажів (4 фарби)	-	4,00
a ₃	Книжковий блок: Виготовлення друкованих форм	a ₁	0,75
a ₄	Обкладинка: Виготовлення друкарської форми (4 фарби)	a ₂	1,00
a ₅	Книжковий блок: Приладка друкованих форм	a ₃	0,60
a ₆	Обкладинка: Приладка друкарських форм (4 фарби)	a ₄	0,50
a ₇	Книжковий блок: Друк	a ₅	1,50
a ₈	Обкладинка: Друк обкладинки	a ₆	0,30
a ₉	Книжковий блок: Запресування	a ₇	15,00
a ₁₀	Формування обкладинки	a ₈	10,00
a ₁₁	Фальцювання обкладинки	a ₁₀	4,50
a ₁₂	Добірка блоку	a ₁₁ , a ₉	4,50
a ₁₃	Криття скобою	a ₁₂	12,00
a ₁₄	Обрізання блоку з трьох сторін	a ₁₃	3,20
a ₁₅	Контроль готової продукції	a ₁₄	1,50
a ₁₆	Упаковка у пачки	a ₁₅	2,00

4.2 Розв'язання зворотній задачі календарного планування при зведенні її до стандартної форми задачі лінійного програмування.

Дані (табл. 6) можуть бути використані для оптимізації програми випуску виробу. Найбільш раціональним шляхом оптимізації програми випуску є скорочення часу виготовлення брошури. Загальний час програми випуску дорівнює:

$$T = t_2 + t_4 + t_6 + t_8 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15} + t_{16} = 43,7. \quad (15)$$

Для того, щоб звести задачу оптимізації до стандартної форми задачі лінійного програмування, необхідно поставити такі умови. У кожену роботу a_i можна вкласти додаткові кошти x_i в розмірі, що не перевищує значення c_i . При цьому новий час виконання кожної операції дорівнюватиме [2]:

$$t'_i = t_i \cdot (1 - b_i \cdot x_i), \quad (16)$$

де t'_i – новий час виконання кожної із робіт на критичному шляху, годин;
 t_i – початковий час виконання кожної з робіт на критичному шляху, годин;
 b_i – коефіцієнт, який необхідно проаналізувати.

Наведемо вираз (16) до виду рівняння прямої $y = k \cdot x + d$, виразивши співвідношення нового часу до старого як функцію:

$$\frac{t'_i}{t_i} = 1 - b_i \cdot x_i. \quad (17)$$

Побудуємо графік цієї функції, по черзі приймаючи $\frac{t'_i}{t_i}$ і x_i рівними нулю (рис. 3).

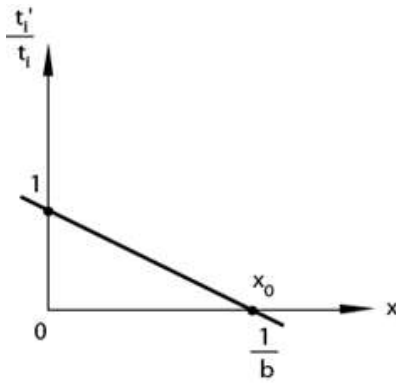


Рисунок 3 – Графік, що ілюструє залежність x від коефіцієнта b

Оскільки значення $\frac{t'_i}{t_i}$ позитивне, то точка x_0 , позначена на (рис. 3), буде точкою мінімуму цієї функції, оскільки у ній $\frac{t'_i}{t_i} = 0$. З цього випливає, що $b = \frac{1}{x_0}$, де x_0 – максимальне значення інвестиції в операцію, коли її виконання наближується до нуля. Оскільки максимальне значення інвестиції x_i обмежено значенням c_i , то $b = \frac{1}{c}$. Однак, виходячи з того, що вкладення інвестиції у розмірі c_i зменшує час виконання операції у 2 рази, то в даному випадку:

$$b_i = \frac{1}{2 \cdot c_i}. \quad (18)$$

Перше з обмежень, які необхідно враховувати під час вирішення завдання:

$$c_i - x_i \geq 0. \quad (19)$$

Щоб знайти друге обмеження, потрібно знайти новий час виконання програми робіт:

$$T_{222444666888101010min} = t_{11}(1 - b_{11} \cdot x_{11}) + t_{12}(1 - b_{12} \cdot x_{12}) + t_{13}(1 - b_{13} \cdot x_{13}) + t_{14}(1 - b_{14} \cdot x_{14}) + t_{15}(1 - b_{15} \cdot x_{15}) + t_{16}(1 - b_{16} \cdot x_{16}). \quad (20)$$

При цьому має виконуватися умова:

$$T \geq T_{min}. \quad (21)$$

Цільова функція (2) при цьому має такий вигляд:

$$L = \min(x_2 + x_4 + x_6 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16}). \quad (22)$$

Наведемо обмеження до числової форми. Параметр розраховується для всіх 11 операцій, що знаходяться на критичному шляху, за формулою (18). Обмеження на інвестиції c_i накладаються в залежності від вартості обладнання, яке може бути додатково встановлене на кожну операцію, та заробітної плати працівника, який може бути додатково найнятий для реалізації операцій, що здійснюються вручну.

Дані зведені (табл. 7).

Таблиця 7 – Параметри, що використовуються для обмежень під час вирішення задачі лінійного програмування

№ операції	Найменування операції	Тривалість операцій t_i , годин	Обмеження на інвестиції c_i , грн.	Параметр b_i , 1/грн.
a_2	Обкладинка: Виготовлення монтажів (4 фарби)	4,00	10 000	0,00005
a_4	Обкладинка: Виготовлення друкарської форми (4 фарби)	1,00	33 500	0,000015
a_6	Обкладинка: Приладка друкарських форм (4 фарби)	0,50	1000	0,0005
a_8	Обкладинка: Друк обкладинки	0,50	45 000	0,000011
a_{10}	Формування обкладинки	10,00	15 000	0,000033
a_{11}	Фальцювання обкладинки	4,50	500	0,001
a_{12}	Добірка блоку	4,50	500	0,001
a_{13}	Криття скобою	12,00	1 500	0,000333
a_{14}	Обрізання блоку з трьох сторін	3,20	35 000	0,000014
a_{15}	Контроль готової продукції	1,50	500	0,001
a_{16}	Упаковка в пачки	2,00	700	0,000714

Обмеження (19) при цьому матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 x_2 &\leq 10000, \\
 x_4 &\leq 33500, \\
 x_6 &\leq 1000, \\
 x_8 &\leq 45000, \\
 x_{10} &\leq 15000, \\
 x_{11} &\leq 500, \\
 x_{12} &\leq 500, \\
 x_{13} &\leq 1500, \\
 x_{14} &\leq 35000, \\
 x_{15} &\leq 500, \\
 x_{16} &\leq 700.
 \end{aligned} \tag{23}$$

Конкретизуємо обмеження (20):

$$\begin{aligned}
 T_{2468min} &= 10(1 - 0,000033 \cdot x_{10}) + 4,5(1 - 0,001 \cdot x_{11}) + 4,5(1 - 0,001 \cdot x_{12}) + 12(1 - 0,000333 \cdot x_{13}) + \\
 &+ 3,2(1 - 0,000014 \cdot x_{14}) + 1,5(1 - 0,001 \cdot x_{15}) + 2(1 - 0,000714 \cdot x_{16}). \tag{24}
 \end{aligned}$$

Розраховуючи ці значення, отримуємо:

$$\begin{aligned}
 T_{0,0002x_2 \ 0,000015x_4 \ 0,00025x_6 \ 0,000003x_8 \ 0,0006x_{10} \ min} &+ \\
 &+ 0,0045 \cdot x_{11} + 0,0045 \cdot x_{12} + 0,004 \cdot x_{13} + 0,000046 \cdot x_{14} + \\
 &+ 0,0015 \cdot x_{15} + 0,001429 \cdot x_{16}. \tag{25}
 \end{aligned}$$

Приймаючи значення $T_0 = 34$, знаходимо останнє обмеження з (21) и (25):

$$0,0002 \cdot x_2 + 0,000015 \cdot x_4 + 0,00025 \cdot x_6 + 0,000003 \cdot x_8 + \\ + 0,0006 \cdot x_{10} + 0,0045 \cdot x_{11} + 0,0045 \cdot x_{12} + 0,004 \cdot x_{13} + \\ + 0,000046 \cdot x_{14} + 0,0015 \cdot x_{15} + 0,001429 \cdot x_{16} \geq 9,7. \quad (26)$$

Таким чином, завдання оптимізації технологічного процесу було зведено до стандартної форми задачі лінійного програмування. Нижче наведено розв'язання цієї задачі (рис. 4).

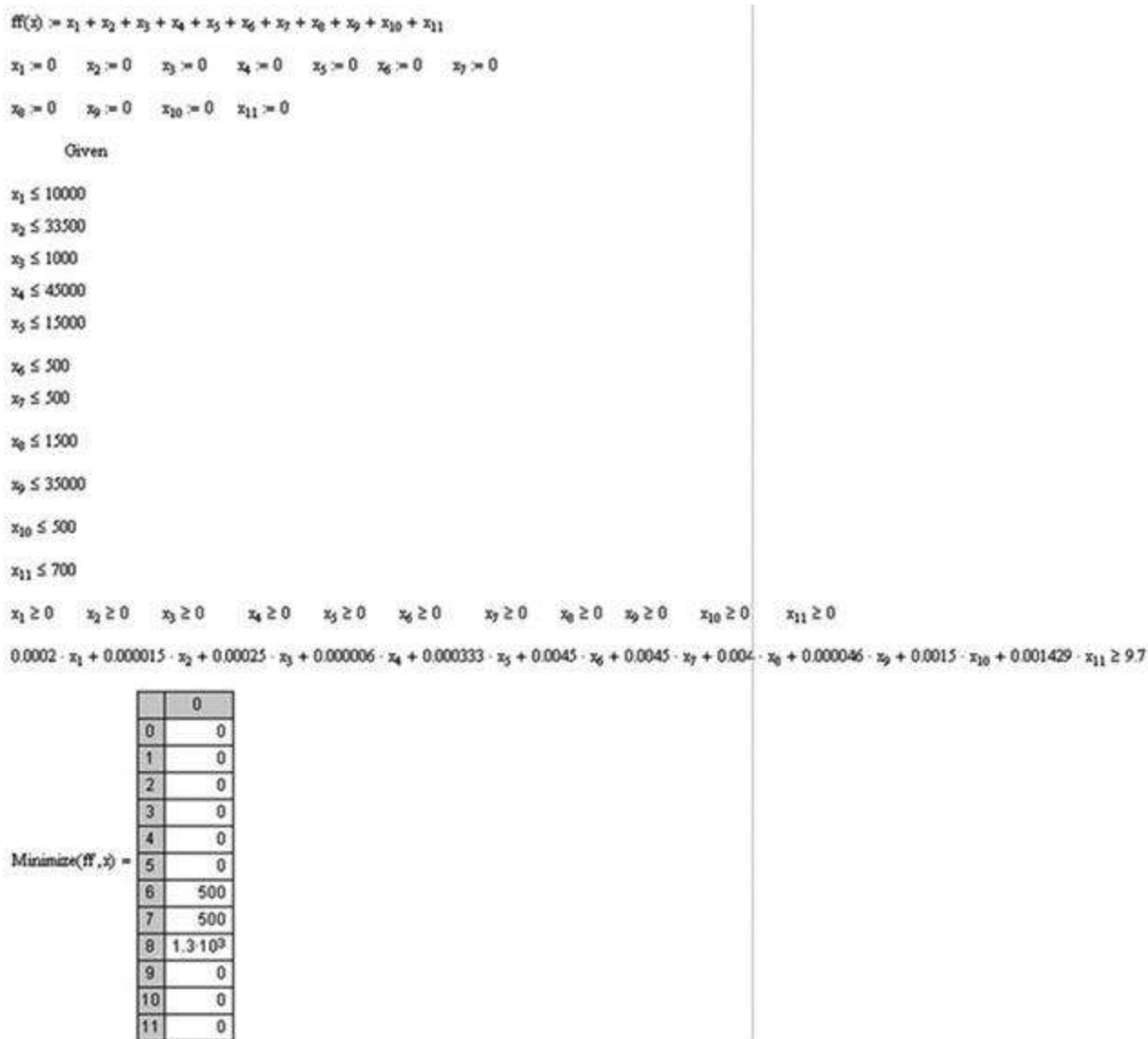


Рисунок 4 – Результат розрахунку

Отже, нам необхідно вкласти в операцію a_{11} 500 грн., в операцію a_{12} 500 грн. та в операцію a_{13} 1300 грн. Оскільки значення інвестицій x_i – дискретна величина, кратна c_i , необхідно округлити значення інвестиції на операцію a_{13} до значення $c_{13} = 1500$ грн. Це дозволяє зробити певний запас інвестицій на інші операції, які не оптимізуються. Таким чином, можна розрахувати новий сумарний час виконання програми робіт, скориставшись отриманими значеннями та підставивши їх у формулу (25).

$$T_{0,00020} \ 0,0000150 \ 0,000250 \ 0,0000030 \ 0,00065_{min} + \\ + 0,0045 \cdot 500 + 0,0045 \cdot 1500 + 0,004 \cdot 0 + 0,000046 \cdot 0 + \\ + 0,0015 \cdot 0 + 0,001429 \cdot 0 = 33,2. \quad (27)$$

За сумарних інвестицій у 2500 грн. час технологічного процесу зменшився з 43,7 до 33,2 години, що задовольняє умові (21).

4.3 Розв'язання зворотної задачі календарного планування при зведенні її до стандартної форми задачі дискретного програмування.

Оскільки лінійне програмування дає лише приблизний результат прийняття рішення про вкладення інвестицій, необхідно застосувати такий метод, який дасть точне значення інвестицій при заданому обмеженні сумарну тривалість технологічного процесу.

Тому необхідно звести завдання календарного планування до стандартної форми завдання дискретного програмування, з якого можна встановити кількість одиниць техніки певної вартості (табл. 7), яка додатково встановлюється на певні операції з метою скорочення тривалості технологічного процесу.

Розрахуємо новий час (6), мінімізуючи цільову функцію (5). Значення констант c_i і t_i , що застосовуються в даних виразах, задані в (табл. 7). На підставі алгоритму (рис. 2) робимо розрахунки інвестицій та нової тривалості технологічного процесу за допомогою дискретного програмування, задаючи бажану загальну тривалість технологічного процесу T_{min} , отримуємо наступний результат.

Час: $T_0 : 34$

Знайдено варіантів: 161327

Функція цілі: $L_{min}: 2500$

Найменший час: $T_{min}: 33,2$

Значення b_i при T_{min} :

$b_2 = 0$	$b_{10} = 0$	$b_{14} = 0$
$b_4 = 0$	$b_{11} = 1$	$b_{15} = 0$
$b_6 = 0$	$b_{12} = 1$	$b_{16} = 0$
$b_8 = 0$	$b_{13} = 1$	

Отримуємо кількість варіантів значень функції цілі, що задовольняють умові T_{min} , а також значення, найменше серед них (L_{min}), і відповідні значення нової тривалості часу (T_{min}) і цілі значення b_i для даного варіанту.

Таким чином, за допомогою дискретного програмування ми отримали той самий результат, що й за лінійного програмування після округлення одного із значень інвестицій до найближчого c_i – сумарні кошти у розмірі 2500 грн. при загальній тривалості часу технологічного процесу 33,2 годин. Отже, цей метод (дискретне програмування) дає більш точне розв'язання задачі, ніж лінійне програмування.

Використовуючи результати лінійного програмування та дискретного програмування, отримано нові значення для тривалостей операцій a11, a12 і a13 (табл. 8) та сума інвестицій, що вкладаються в них.

№ операції	Вихідна тривалість операції t_i , годин	Нова тривалість операції t_i' , годин	Інвестиції в i -ю операцію $c_i \cdot b_i$, грн
a ₂	4,00	4,00	0
a ₄	1,00	1,00	0
a ₆	0,50	0,50	0
a ₈	0,50	0,50	0
a ₁₀	10,00	10,00	0
a ₁₁	4,50	2,25	500,00
a ₁₂	4,50	2,25	500,00
a ₁₃	12,00	6,00	1500,00
a ₁₄	3,20	3,20	0
a ₁₅	1,50	1,50	0
a ₁₆	2,00	2,00	0
Сума	43,7	33,2	2500,00

[illegible]

181

Результати досліджень

Застосувавши вищеописані методи оптимізації до технологічного процесу, що розглядається, можна дослідити залежність часу виконання програми випуску поліграфічної продукції від вкладених інвестицій.

Прослідкувати залежність можна, варіюючи бажаною новою сумарною тривалістю технологічного процесу $T_{min} \leq T_0$. Дослідження з урахуванням лінійного програмування дозволяє змінити час до $T_{min} = T/2$, оскільки це описують задані обмеження. Дослідження з урахуванням дискретного програмування можна провести, зменшуючи час до $T_{min} = T/3$, оскільки задані значення всіх b_i може бути максимально рівними 2, отже, сумарна тривалість технологічного процесу може бути зменшена втричі.

Результати дослідження зведені (табл. 8 та 9), а також побудовані графіки залежності (рис. 6-8).

Таблиця 8 – Дослідження залежності часу T_{min} від вкладених інвестицій (лінійне програмування)

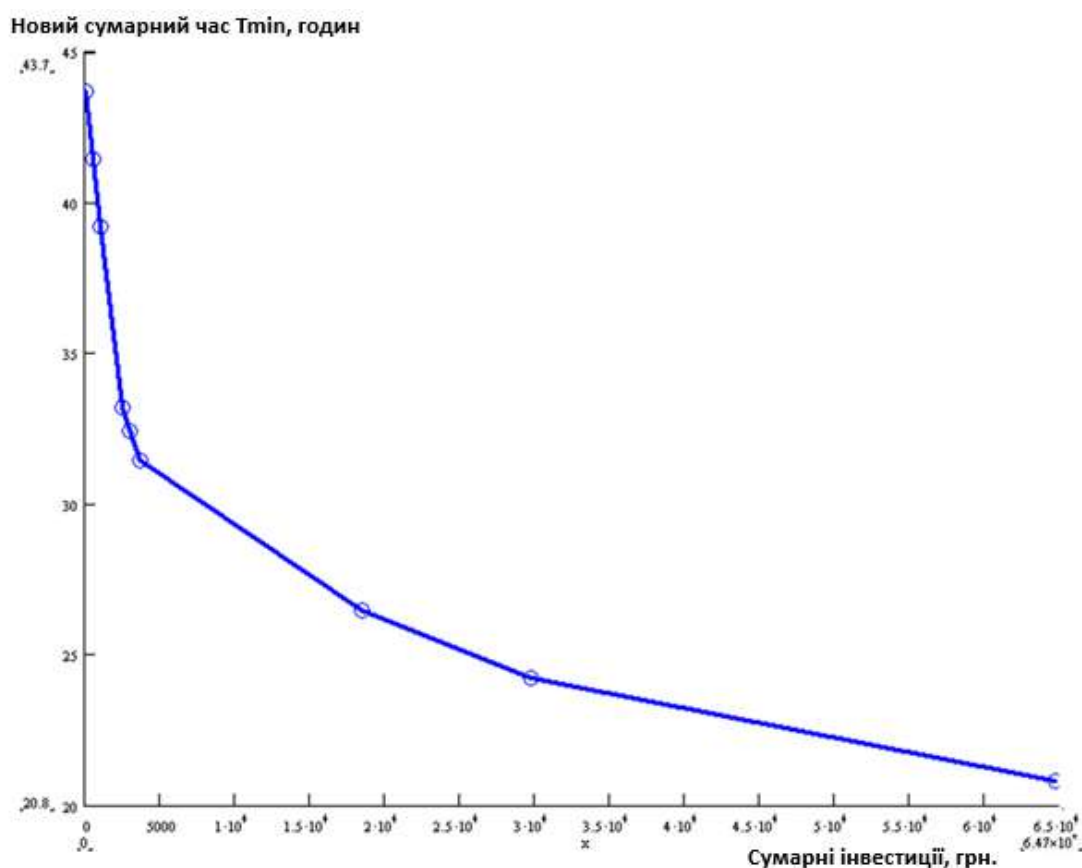
Обмеження на новий сумарний час T_0 , годин	Отриманий новий сумарний час T_{min} , годин	Сумарні інвестиції, грн.
43,70	43,70	0
41,70	41,45	500
39,70	39,20	1000
33,70	33,20	2500
32,70	32,45	3000
31,70	31,45	3700
26,70	26,45	18700
24,70	24,20	29700
22,70	20,80	64700

Таблиця 9 – Дослідження залежності часу T_{min} від вкладених інвестицій (дискретне програмування)

Обмеження на новий сумарний час T_0 , годин	Отриманий новий сумарний час T_{min} , годин	Сумарні інвестиції, грн.
43,70	43,70	0
41,70	41,45	500
40,70	40,70	1000
39,70	39,20	1000
38,70	38,45	1500
37,70	37,70	1500
35,70	35,45	2000
34,70	34,70	2500
33,70	33,20	2500
32,70	32,45	3000
31,70	31,70	3500
30,70	30,70	4200
29,70	29,70	5000
28,70	28,70	5700
27,70	27,70	6700

Продовження таблиці 9

Обмеження на новий сумарний час T_0 , годин	Отриманий новий сумарний час T_{min} , годин	Сумарні інвестиції, грн.
26,70	26,70	15700
25,70	25,70	16700
24,70	24,70	20000
23,70	23,70	20700
22,70	22,70	21700
21,70	21,70	30700
20,70	20,70	31700
19,70	19,70	42400
18,70	18,45	48400
17,70	17,70	59400
16,70	16,68	91900

Рисунок 6 – Дослідження залежності часу T_{min} від вкладених інвестицій (лінійне програмування)

Отримані в процесі розрахунків дані, а також їх графічна інтерпретація підтверджують перевагу вирішення задачі дискретного програмування над лінійним стосовно оптимізації програми випуску поліграфічної продукції. На графіку (рис. 8) виділено область, що показує різницю в інвестиційних витратах. Результати, отримані з допомогою дискретного програмування, дозволяють досягати зменшення загальної тривалості програми робіт при менших інвестиційних вкладеннях, ніж за дослідженні з допомогою лінійного програмування, що дає лише наближений результат.

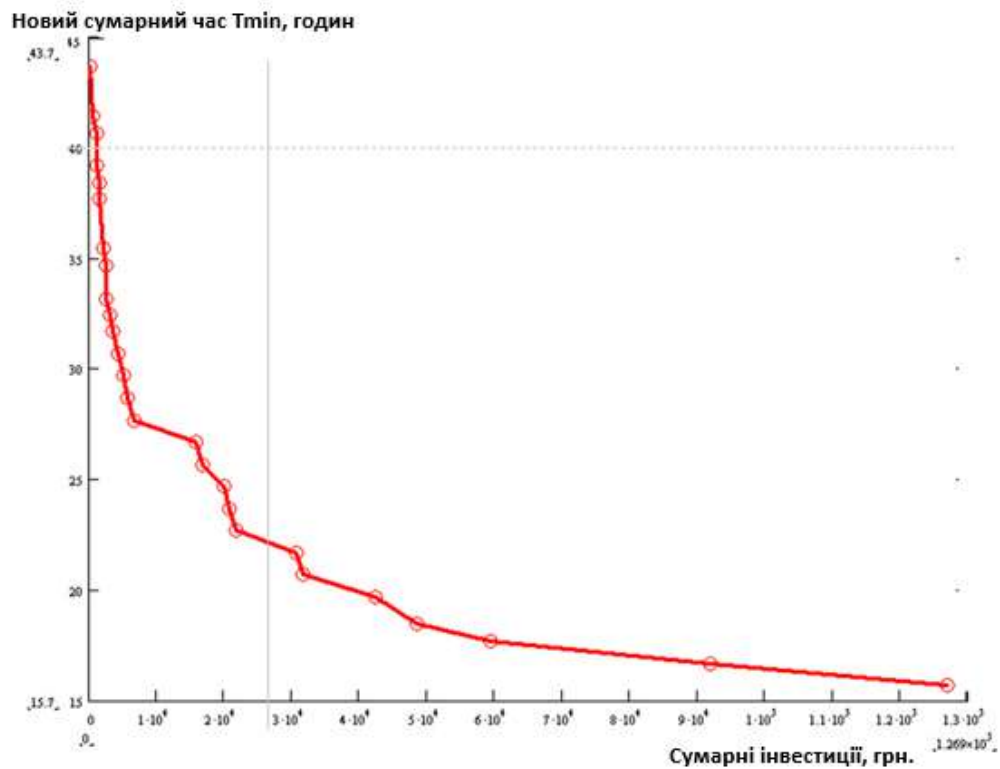


Рисунок 7 – Дослідження залежності часу $T_{\min}$ від вкладених інвестицій (дискретне програмування)

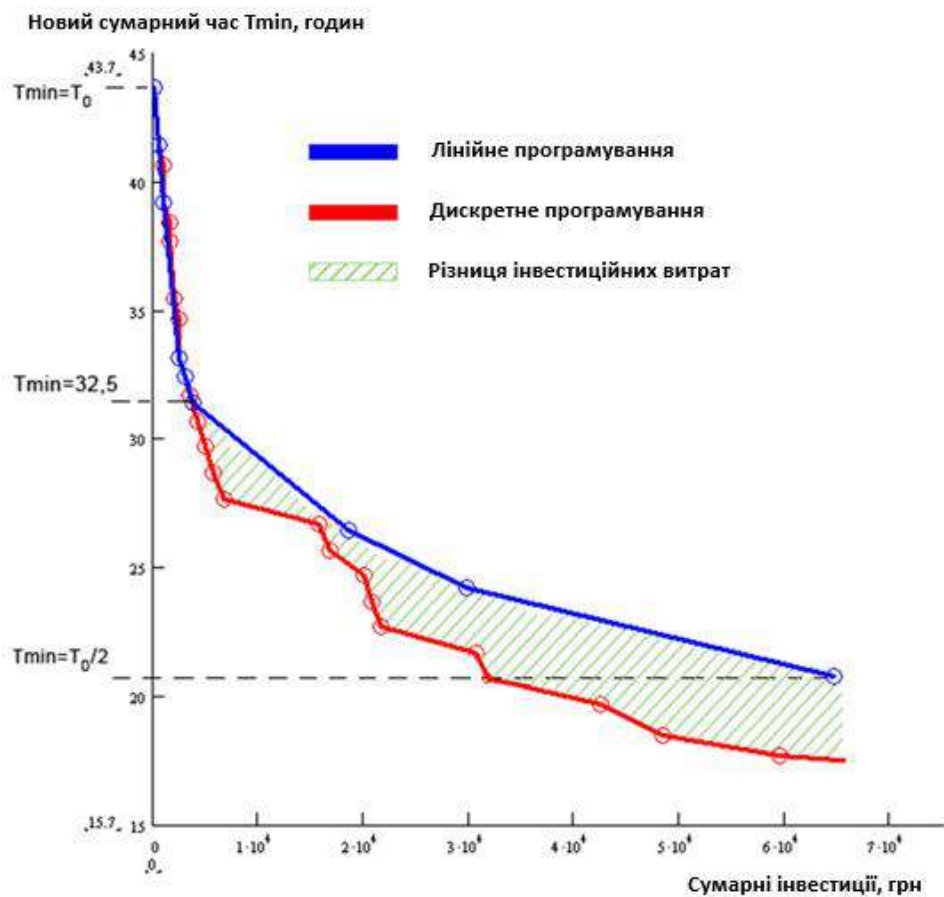


Рисунок 8 – Порівняння результатів дослідження для лінійного та дискретного програмування

Висновки

Застосувавши з метою оптимізації плану випуску поліграфічної продукції різні методи (лінійне програмування та дискретне програмування) і вирішивши з допомогою зворотне завдання календарного планування, можна дійти висновку, що дискретне програмування дає точніший результат.

Це пов'язано з особливостями цих методів. Лінійне програмування через безперервність неспроможна чітко визначити залежність інвестицій від тимчасових витрат, оскільки кожену операцію технологічного процесу інвестиції обмежені проміжком від 0 до вартості однієї одиниці устаткування.

Отже, будь-яке рішення, яке виходить між цими двома значеннями, не може бути прийняте як повноцінна інвестиція, оскільки передбачуване обладнання може бути або придбано, або ні. Відповідно, з'являється потреба округлення отриманого значення, що призводить до наближеного, тобто, неточного результату. Дискретне програмування дозволяє задати дискретне число одиниць обладнання, що відповідає дійсності, і в той же час це число може бути обмежено можливостями інвесторів.

Список літератури.

1. Катренко, А.В. (2004). Дослідження операцій : підручник. Львів. «Магнолія Плюс».
2. Зеленський, К. (2021). Математичне програмування. Київ. Університет "Україна".
3. ДСТУ 3017-95. Видання. Основні види. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України.
4. Ельперін, І.В., та інш. (2021). Автоматизація виробничих процесів: навчальний посібник. Київ: Ліра-К.
5. Трегуб, В.Г., та інш. (2019). Проектування систем автоматизації: навчальний посібник. Київ: Ліра-К.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЛАМІНУВАННЯ ТА ЛАКУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ

Зацерковна Р.С.

к. т. н., доцент, кафедра «Поліграфічних технологій та пакувань»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Слоцька Л.С.

к. т. н., доцент, кафедра «Поліграфічних, мультимедійних
та оптичних технологій»,

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

***Анотація.** Робота присвячена дослідженням оздоблення картонних пакувань лакуванням і ламінуванням. Досліджено режими процесу ламінування: температури та швидкості. Досліджено властивості лакованих відбитків. Побудовано причинно-наслідкові діаграми для оцінки впливу факторів на якість ламінування та лакування при виготовленні пакувань.*

***Ключові слова:** ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЖИМИ, ПАКУВАННЯ, ЛАМІНУВАННЯ, ЛАКУВАННЯ, ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ.*

Вступ

Пакування як багатофункціональний засіб відіграє важливу роль у взаємодії між виробниками та споживачами. Тобто, пакування має бути привабливим, щоб привернути увагу клієнтів та міцним, щоб захистити продукцію від пошкоджень і втрат. Серед розмаїття існуючих способів оздоблення друкованої продукції саме лакування та ламінування можуть забезпечити пакуванню ці функції.

Мета та задачі дослідження

Мета: дослідити вплив різних факторів на якість лакування та ламінування при виготовленні пакувань з картону.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- обрати об'єкти досліджень (види картону, плівку та лак для оздоблення);
- побудувати причинно-наслідкові діаграми для оцінки впливу факторів на якість ламінування та лакування при виготовленні пакувань з картону;
- провести дослідження впливу технологічних режимів лакування та ламінування на якісні характеристики картонних пакувань.

Основна частина

Картон, як матеріал для виготовлення пакувань, користується великою популярністю в силу своїх позитивних характеристик, а саме:

- екологічність і гіпоалергенність – картонне пакування швидко розкладається і практично не несе шкоди довкіллю; його можна повторно переробляти;
- можливість виготовлення фірмових картонних коробок різними накладками;
- велике розмаїття способів оздоблення пакувань;
- відносно невисока вартість.

Для дослідження обрано два типи целюлозного картону, які досить часто використовуються для виготовлення пакувань у різних галузях, в тому числі можуть бути використані для пакування харчових продуктів: SinarVanda GC1 масою 1 м² 245 і 280 г та Alaska White, масою 1 м² 215 і 275 г.

Картон SinarVanda GC1 має двократне крейдування лицьового боку, що забезпечує високі показники білості та глянцею. Зворотний бік картону – білого кольору з легким крейдуванням. Спеціально розроблена структура матеріалу забезпечує високу жорсткість на згинання та підвищену міцність на злам, що дає змогу без проблем виконувати фальцювання, бігування та висікання будь-якої складності.

Картон Alaska White забезпечує високу ефективність у виробництві пакування і може бути задрукований з обох боків. Глянцевий верхній бік спеціально розроблено для забезпечення високої якості друку та післядрукарського оздоблення.

В табл. 1 представлені характеристики досліджуваних зразків картону.

Таблиця 1 – Характеристики картонів

Тип картону	Маса 1 м ² , г	Товщина, мкм	Білість, %	Глянець, %	Жорсткість, мкм
SinarVanda GC1	245	380	90	50	< 1,3
	280	450	90	50	< 1,3
Alaska White	215	308	91	41	< 1,3
	275	428	91	41	< 1,3

Оздоблення картонних пакувань проводили лакуванням і ламінуванням.

Для лакування використали лак УФ-затвердження ULM 3000, який характеризується високим рівнем глянцею та відсутністю бензофенону у складі. Має високий ступінь ковзання та високу швидкість закріплення. Розроблений для нанесення на всі типи паперу та картону. Підходить для подальшої післядрукарської обробки, наприклад тиснення. Лак відповідає вимогам Nestle Guidance Note on Packaging Inks, може застосовуватися для виготовлення пакувань, які мають прямий контакт з харчовими продуктами. Лак має мінімальні значення міграції компонентів, тобто повністю сприймається як low migration.

Ламінування проводили глянцевою плівкою Thermal Lamination Film BOPP Gloss PCT-2(DL) товщиною 24 мкм.

Для оцінки якості ламінованої та лакованої продукції визначали вихідні показники картонів та оздоблених відбитків.

Оцінюють даний показник за ISO 1924-2:2008 «Paper and board – Determination of tensile properties».

Міцність на розрив кількісно виражається показником розривної довжини (L), м. Розривна довжина – це розрахункова довжина стрічки картону, яка розірветься під дією власної ваги, будучи підвішеною за один кінець.

Оскільки картон неоднорідний за своєю структурою, йому властива анізотропність. Ступінь анізотропності – відношення міцності в машинному напрямку до міцності в поперечному.

Розривна довжина умовно характеризує межу міцності. Як величина, незалежна від товщини картону, вона характеризує загальну міцність структури картону, від якої залежать не тільки міцність на розтяг, але й інші властивості.

Визначення механічних властивостей проводили на розривній машині РМБ-30-2м. На шкалі приладу фіксується значення руйнуючого зусилля (H) і за формулою розраховується міцність даного зразку на розрив (відповідно до напрямку волокон).

$$G = \frac{F}{b} \times h, \quad (1)$$

де G – міцність на розрив (межа міцності при розтягуванні), МПа;

F – руйнуюче зусилля, Н;

b – ширина зразку, мм;

h – товщина зразку, мм.

На основі експериментально визначеного розривного зусилля в двох різних напрямках, розривну довжину розраховують за формулою:

$$L = P \cdot k / a \cdot m, \quad (2)$$

де L – розривна довжина, м;

P – розривне зусилля, гс;

a – ширина смужки (0,015 м);

k – поправковий коефіцієнт на вологість повітря;

m – маса 1 м² досліджуваного картону, г

Проводили визначення міцності при численних згинах, визначаючи середнє значення міцності картону і системи «картон–плівка» та «картон–лак» у поздовжньому та поперечному напрямках.

Для дослідження визначення величини опору продавлюванню для картонів та картонів з оздобленням використовували механізм (патент України № 58827).

За результатами експериментів визначали наступне.

1. Абсолютний опір продавлюванню P_0 , кПа:

$$P_0 = \frac{S_p}{n}, \quad (3)$$

де S_p – сума показників манометра для всіх випробувань;

n – кількість випробувань.

2. Відносний опір продавлювання, приведений до умовної маси продукції площею 1 м^2 100 г P_w , кПа:

$$P_w = \frac{P_0 \cdot 100}{m}, \quad (4)$$

де m – маса картону площею 1 м^2 , г.

3. Індекс продавлювання X , кПа/г:

$$X = \frac{P_0}{m}. \quad (5)$$

В процесі оздоблення друкованої продукції, а саме картонних паковань, ламінуванням і лакуванням цілий ряд факторів впливають як на технологічний процес, так і на якість продукції.

Для візуалізації впливу цих факторів були побудовані причинно-наслідкові діаграми, (діаграми Ісікави), представлені на рис. 1-2.

Діаграма Ісікави – графічний спосіб дослідження та визначення найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між факторами та наслідками у досліджуваній ситуації чи проблемі.

Головна проблема, яка ставиться при побудові діаграми (головна кістка, «хребет») – отримання якісної продукції: ламінованого картону (рис. 1), лакованого картону (рис. 2) для подальшого виготовлення пакування.

Бічні «кістки» – це категорії можливих причин, що впливають на проблему.

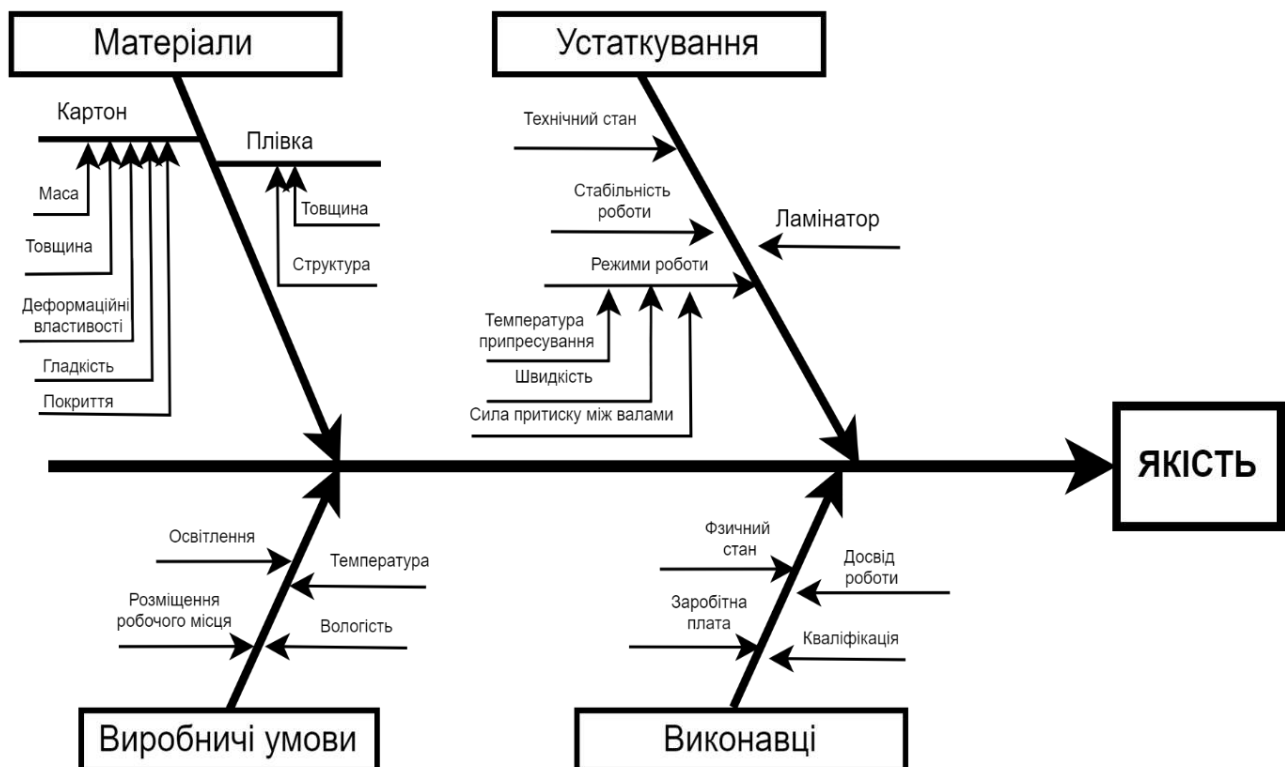


Рисунок 1 – Причинно-наслідкова діаграма для оцінки впливу факторів на якість ламінування



Рисунок 2 – Причинно-наслідкова діаграма для оцінки впливу факторів на якість лакування

Усі чинники ми розподілили на декілька груп, а саме:

- матеріали;
- устаткування;
- виконавці;
- виробничі умови.

Результати досліджень

Досліджували режими процесу ламінування, а саме: вплив температури та швидкості на міцність скріплення плівки з картоном.

Отримані результати показали, що при збільшенні температури ламінування міцність скріплення плівки з картоном зростає, однак по досягненні температури 120 °С міцність скріплення починає зменшуватись. Також нижчі показники міцності спостерігаються і при температурі 90 °С (рис. 3). Найкращі показники міцності отримуємо при температурах ламінування від 100 до 120 °С.

Дослідження впливу швидкості ламінування на міцність скріплення картону та плівки показали, що найкращі результати спостерігаються при швидкості від 3 до 5 м/хв.

При збільшенні швидкості ламінування до 6–8 м/хв міцність ламінування знижується (рис. 4). Це пояснюється тим, що скорочується час контакту між плівкою та матеріалом.

Залежності, представлені на рис. 5, показують, що незадрукований картон порівняно зі задрукованим (відбитками) має кращу адгезію до плівки для ламінування. Це може відбуватися внаслідок того, що фарбовий шар частково закриває пори картону і адгезія плівки до його поверхні зменшується.

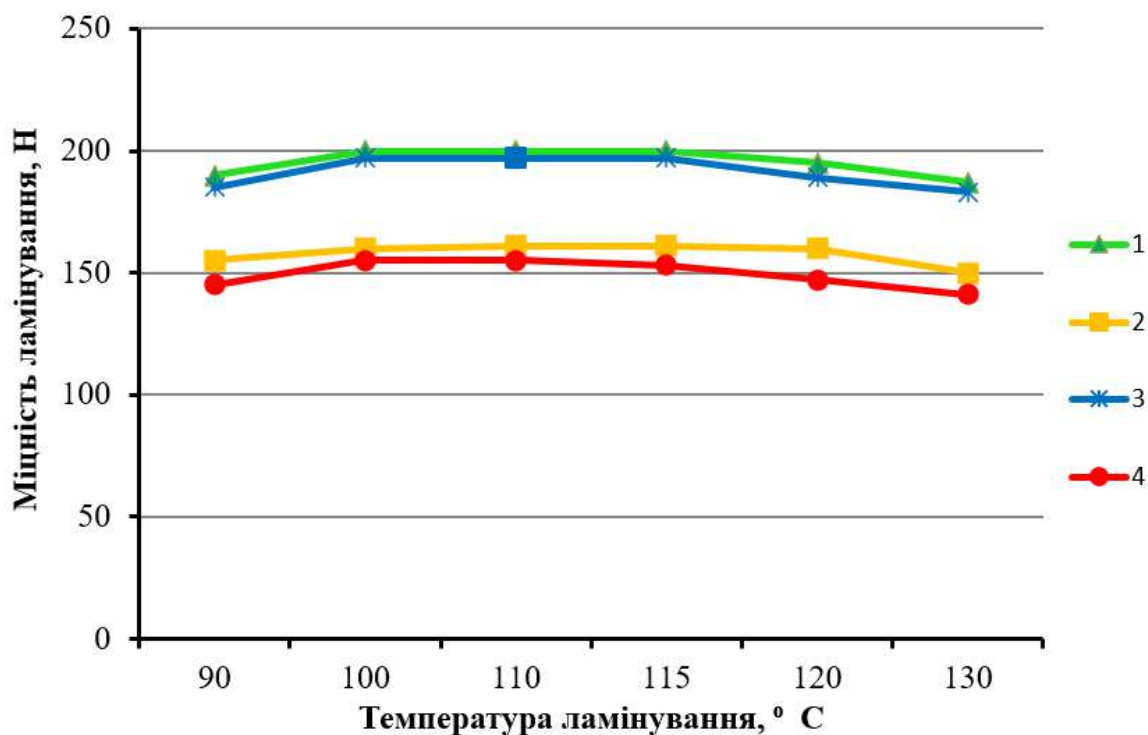


Рисунок 3 – Залежність міцності ламінатів від температури ламінування:

1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²;
 3 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²; 4 – Alaska White – 215 г/м²

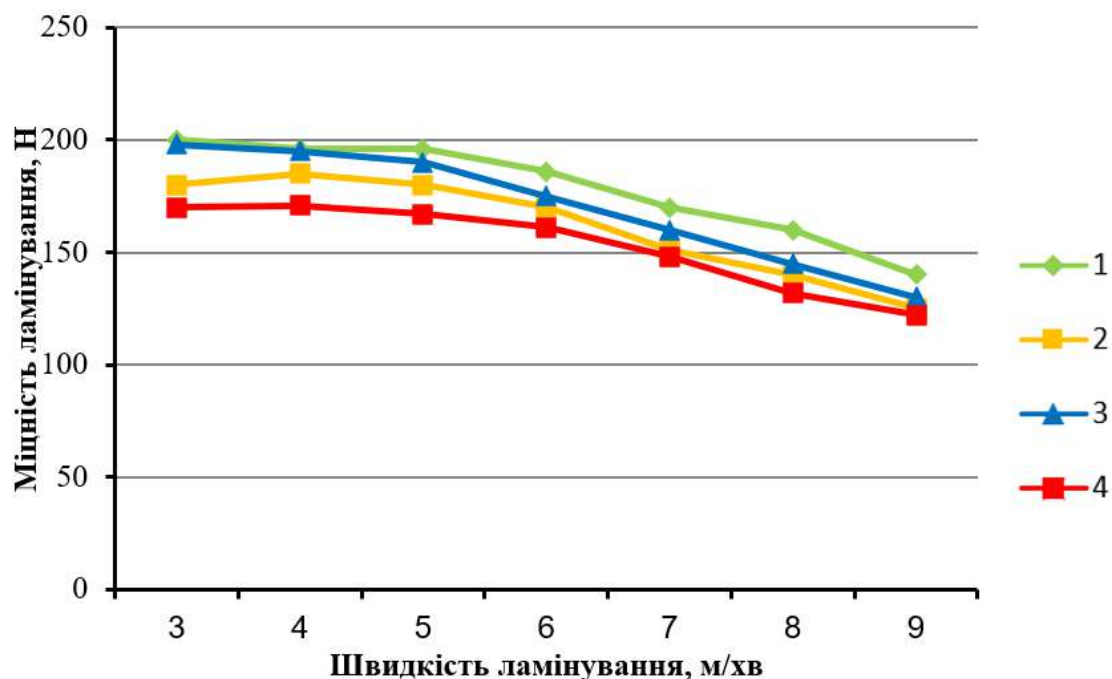


Рисунок 4 – Залежність міцності ламінування від швидкості ламінування:

1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²;
 3 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²; 4 – Alaska White – 215 г/м²

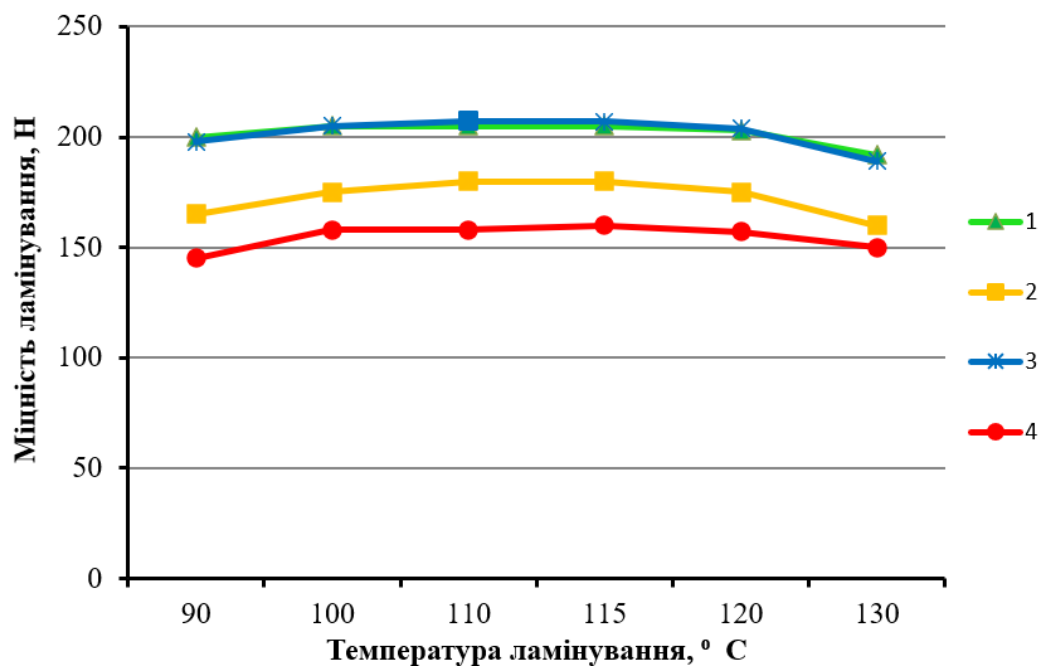


Рисунок 5 – Залежність міцності ламінування від швидкості ламінування віддрукованих відбитків:

1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²;

3 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²; 4 – Alaska White – 215 г/м²

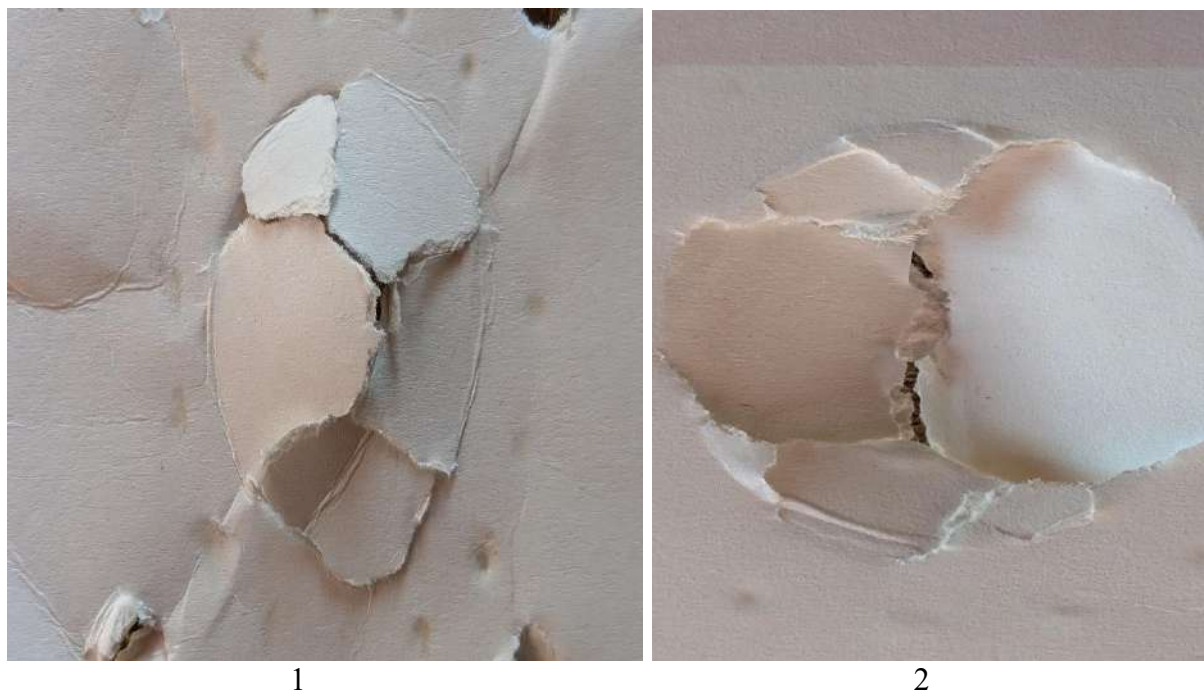


Рисунок 6 – Зразки картону після досліджень на продавлювання:

1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – Alaska White – 215 г/м²



1



2

Рисунок 7 – Зразки картону після досліджень на продавлювання:
1 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²



1



2

Рисунок 8 – Зразки ламінованого картону після досліджень на продавлювання:
1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – Alaska White – 215 г/м²

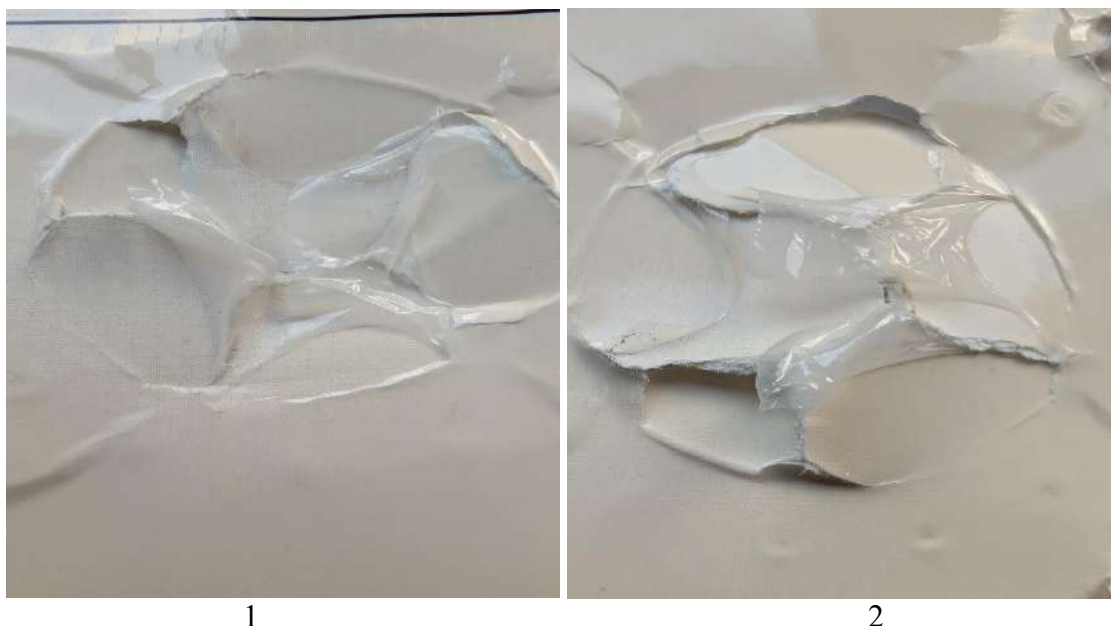


Рисунок 9 – Зразки ламінованого картону після досліджень на продавлювання:
1 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²

Для пакувань важливим показником є опір картону до продавлювання, який дозволяє визначити, наскільки добре картон витримує зовнішній тиск або навантаження без втрати своїх функціональних й естетичних властивостей.

На рис. 6-7 представлені фотографії зразків неламінованого картону після проведеного дослідження опору до продавлювання, а на рис. 8-9 – фотографії ламінованих зразків.

За результатами досліджень розраховані показники опору до продавлювання зразків картону до та після ламінування: абсолютний опір продавлюванню P_0 , відносний опір продавлюванню P_w , індекс продавлювання X , представлені в табл. 2-3.

Таблиця 2 – Показники опору картонів до продавлювання

Номер зразка	P_0 , кПа	P_w , кПа	X , кПа/г
1	48,3	17,56	0,18
2	40,0	16,31	0,16
3	46,7	16,68	0,17
4	36,7	17,07	0,17

Таблиця 3 – Показники опору ламінованих картонів до продавлювання

Номер зразка	P_0 , кПа	P_w , кПа	X , кПа/г
1	93,3	33,92	0,34
2	83,3	34,00	0,34
3	90,0	32,15	0,32
4	76,7	35,7	0,36

Також були проведені дослідження опору до продавлювання нелакованих і лакованих зразків картону. Результати дослідження представлені фотографіями на рис. 10-11.



Рисунок 10 – Зразки лакованого картону після досліджень на продавлювання:
1 – Alaska White – 275 г/м²; 2 – Alaska White – 215 г/м²

Дослідження опору до продавлювання лакованих зразків картону, представлені на рис. 10-11, та їх порівняння з вихідними зразками (рис. 6-7) показали, що нанесення УФ-лаку покращує цей показник.

За результатами досліджень розраховані показники опору до продавлювання лакованих картонів: абсолютний опір продавлюванню P_0 , відносний опір продавлюванню P_w , індекс продавлювання X , представлені в табл. 4.



Рисунок 11 – Зразки лакованого картону після досліджень на продавлювання:
1 – SinarVanda GC1 – 245 г/м²; 2 – SinarVanda GC1 – 280 г/м²

Таблиця 4 – Показники опору лакованих картонів до продавлювання

Номер зразка	P_0 , кПа	P_w , кПа	X , кПа/г
1	71,7	26,07	0,26
2	53,3	21,8	0,22
3	61,7	22,04	0,22
4	50,0	23,26	0,23

Висновки

Побудовано причинно-наслідкові діаграми для оцінки впливу факторів на якість ламінування та лакування картонів при виготовленні паковань.

Встановлено, що на якість ламінування впливають температура та швидкість ламінування. Визначено, що для ламінування оптимальною є температура 120 °С і швидкість – 3-5 м/хв.

Встановлено, що руйнування ламінованих зразків відбувається в декілька стадій: розтягування зразків, руйнування паперу, подальше розтягування плівки аж до її руйнування.

Виявлено, що нанесення УФ-лаку підвищує міцнісні показники, зокрема величину опору продавлюванню.

Список літератури.

1. Гавенко, С., Лазаренко, Е., & Мамут, Б. (2003). Оздоблення друкованої продукції: технологія, устаткування, матеріали. Університет «Україна» Українська академія друкарства.
2. Гавенко, С. Ф., & Мельников, О. В. (2000). Оцінка якості поліграфічної продукції: навч. посібник (Е.Т. Лазаренко, Ред.). Українська академія друкарства.
3. Жидецький, Ю.Ц., Лазаренко, О.В., & Лотошинська, Н.Д. (2001). Поліграфічні матеріали. Підручник. Афіша.
4. Кирилук, А.В., & Зоренко, О.В. (2011). Дослідження ламінування листівок. Технологія і техніка друкарства, 4(34), 46-56.
5. Козачук, Д.А., & Золотухіна, К.І. (2024). Дослідження впливу ламінації та лакування на колірні характеристики відбитків. Технологія і техніка друкарства, 3(85), 20-29.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО СУШІННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ

Сікора Л.С.

д.т.н., професор, кафедра «Автоматизованих систем управління»
Національний університет «Львівська політехніка»

Лиса Н.К.

д.т.н., доцент, кафедра «Автоматизованих систем управління»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Федевич О.Ю.

к.т.н., доцент, кафедра «Автоматизованих систем управління»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Федина Б.І.

к.т.н., доцент, кафедра «Комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах», Національний університет «Львівська політехніка»

Хиляк Н.А.

аспірант, кафедра «Комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах», Національний університет «Львівська політехніка»

***Анотація.** В статті розглянуто інформаційну технологію структури та об'єктів термодинамічної взаємодії процесів сушіння книжкових блоків. Розроблено метод активізації процесів сушіння книжкових блоків на підставі моделей взаємодії «клей – папір» із застосуванням інфрачервоних, ультрафіолетових, лазерних випромінювачів. Розроблено конструкції лазерних випромінювачів для оптимізації процесів сушіння книжкових блоків.*

***Ключові слова:** ЛАЗЕРНІ ВИПРОМІНЮВАЧІ, ОФСЕТНИЙ ПАПІР, СТРУКТУРА, КЛЕЙ, ЯКІСТЬ СУШІННЯ, ОПТИКО- ТЕРМОДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ.*

Вступ

У поліграфічному виробництві висушування напівфабрикатів є одним з завершальних етапів виготовлення друкованої продукції, що характеризується значним часовим інтервалом. Від способів, засобів і режимів висушування, які визначаються ефективністю управління термодинамічними процесами, залежать якісні показники друкованих видань, їх конкурентоспроможність. У поліграфічній промисловості для сушіння використовуються різні конструкції сушарок, основними з яких є конвеєрного типу. Найбільш ефективним є сушіння із використанням джерел інфрачервоного випромінювання, але вони мають недолік – неоднорідний розподіл поля випромінювання.

Багато проблем залишаються невирішеними: неефективне управління процесами сушіння і руху конвеєра, недосконалі моделі термодинамічної взаємодії компонент «теплове поле – об'єкт» у процесах сушіння. В конвеєрних сушарках поряд з корінцями сушаться цілі книжкові блоки, що спричиняє їх

деформацію. Не розроблені сушарки, які пристосовані для висушування корінців книжкових блоків. Швидкість транспортерів при висушуванні задається оператором у ручному режимі в залежності від кінцевої вологості книжкових блоків без інформаційного контролю, а лише епізодично вимірюється лабораторними методами. Для підвищення якості процесів сушіння перспективним напрямом є конвективно-радіаційне сушіння з перервами в опроміненні корінців книжкових блоків, що сприяє більш інтенсивному і швидкому видаленню вологи.

У працях [3, 4] обґрунтовано процес висушування поліграфічної продукції обумовлений не тільки чисто фізичними процесами видалення вологи, але пов'язаний і з фізико-хімічними процесами, що проходять в матеріалах. У статті [1] наведено технічні характеристики досліджуваного офсетного паперу. Охарактеризовано образи структури паперу по товщині і відповідно до них функції розподілу потужності лазерного променя при проходженні через шари аркушів паперу, отримані в результаті експериментів.

При сушінні відбувається зміна структурно-механічних властивостей матеріалів, що часто супроводжується появою різних деформацій продукції, наприклад короблення, розтріскування клейового шару, порушення лінійних розмірів палітурок та ін. У зв'язку з цим режим сушіння книжкових блоків приходить вибирати, виходячи не тільки з оптимальних техніко-економічних показників роботи сушильних установок, а й з врахуванням технологічних властивостей матеріалів, що вимагає побудови відповідних структурних, параметричних і динамічних моделей, які відображені у працях [5, 9].

Сушіння – це процес видалення вологи з матеріалу внаслідок обезводнення матеріалу, або за рахунок полімеризації чи окислення, які обґрунтовані у працях [1, 3, 4, 6]. Тобто сушіння вологих матеріалів, це не тільки теплотехнічний, але і технологічний процес, в якому змінюються технологічні властивості матеріалу. Правильно організоване сушіння значно покращує ці властивості. Під час сушіння вологого матеріалу достатньої товщини, коли волога випаровується з його поверхні, порушується її рівновага в середині матеріалу і вона починає переміщатись від центру до країв, в матеріалі спостерігається перепад вологовмісту, який описується моделлю граничного термодинамічного обміну енергії [2, 12].

Розглянуто метод лазерного зондування аркушів паперу фотонним потоком променя із змінною потужністю, що обґрунтовано у працях [8, 10, 11, 13].

Мета та задачі дослідження.

Розроблення інформаційної технології підвищення якості термодинамічної взаємодії лазерного випромінювання в процесі сушіння книжкових блоків.

Задачі дослідження:

– проаналізувати існуючі підходи до термодинамічної взаємодії лазерного випромінювання з паперовими матеріалами під час сушіння;

- розробити математичну модель процесу сушіння книжкових блоків із використанням лазерного випромінювання;
- створити інформаційну технологію, що дозволяє підвищити якість та енергоефективність процесу сушіння;
- розробити рекомендації щодо практичного застосування результатів у поліграфічному виробництві.

Основна частина

Папір для офсетного друку є найбільш розповсюдженим видом паперу для багатотиражного друкування поліграфічної продукції, в тому числі є одним з найпоширеніших для видання книг. Він повинен мати відповідну механічну міцність поверхні, стабільність лінійних розмірів під час зволоження і подальшого висихання. Волокна в структурі паперу не мають одного чітко визначеного напрямку. Вони розміщуються, переплітаються і скріплюються між собою у вигляді ліній, які знаходяться під різними кутами одна до одної залежно від ступеня орієнтації волокон. Це свідчить про існування взаємозв'язку між орієнтацією волокон і механічними властивостями паперу.

Папір, який формується на сітках папероробної машини має повздовжнє або машинне розташування волокон, тобто за напрямом руху полотна. Але аркуші, які виходять після розкроювання рулону на рулонних листорізальних машинах по довжині або по ширині, можуть мати як повздовжній так і поперечний напрям волокон. Напрямок волокон в аркуші паперу необхідно враховувати, оскільки папір краще складається по волокнах ніж проти них. В повздовжньому напрямі виливання паперового полотна він має більшу міцність, жорсткість і видовжується в декілька разів менше ніж у поперечному [1, 2].

Оскільки за своєю природою папір капілярно-пористий колоїдний матеріал, при зволоженні він деформується, збільшуються його розміри по ширині і довжині. Волокна переважно орієнтуються в повздовжньому напрямку і збільшується їх розмір в діаметрі, а не в довжину. У зв'язку з цим і деформація (зміна лінійних розмірів паперу) при зволоженні і висушуванні в повздовжньому напрямку волокон менша ніж в поперечному. Клей наносять на поверхню аркуша паперу тільки в повздовжньому напрямку волокон, оскільки поперечне намащування клеєм приведе до сильної його деформації. Глибина проникнення клею в корінець блока залежить від природи клею і структури паперу, і для офсетного паперу становить 10-20 мкм [3]. Усе це необхідно враховувати при виконанні брошурувально-палітурних процесів.

Офсетний папір повинен мати високу ступінь білизни і рівномірну структуру з обох боків, повинен бути гідрофобним, з високим ступенем проклеювання, та мати підвищену міцність поверхні, яка не руйнується. Папір характеризується такими важливими розмірними показниками як товщина паперу і маса квадратного метра. Значення цього показника для книгодрукування лежить в межах 25-150 г/м².

Офсетний папір вітчизняними підприємствами практично не виготовляється. Тому для дослідження був обраний книжково-журнальний папір масою 70 г/м², 80 г/м² та 100 г/м² «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща (табл. 1). Цей папір використовується для друку багатофарбових видань з великим терміном використання і зберігання (книги, журнали, газети, рекламна і паперово-білова продукція і т.д.).

Таблиця 1 – Технічні характеристики офсетного паперу

№	Найменування, виробник	Маса м ² , г/м ²	Жорсткість, см ³ /г	Білізна, %	Непрозорість, %	Товщина паперу, мкм
1	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	70	160	143	90	89±4
2	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	80	160	143	92	99±4
3	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	100	160	143	93	120±4

Оскільки корінці книжкових блоків складаються зі сфальцьованих зошитів, які в силу технологічного процесу фальцювання, приводять до того, що лазерне висушування здійснюється як і в поперечному так і в повздовжньому напрямі волокон [4].

Сушіння поліграфічної продукції в процесі її друкування і після брошурування пов'язане з регулюванням швидкості руху і періодичними зупинками її в зонах дії ламп інфрачервоного випромінювання, а також з керуванням джерелами нагрітого повітря, генераторами височастотних струмів [2, 5, 9]. У конвеєрних сушарках необхідно регулювати швидкість транспортера пачок книжкових блоків, значення якої повинно узгоджуватись з температурою внутрішнього середовища сушарки, початковою і кінцевою вологістю книжкових блоків їх кількістю і масою.

Проблеми оптимізації процесів сушіння різноманітної друкованої продукції, а також конструювання найбільш раціональних сушарок на даний час остаточно не вирішені. Для розв'язання задач такого класу необхідно визначити характеристики теплового поля. Воно формується різного типу джерелами теплової енергії згідно їх фізико-енергетичної структури та просторового розподілу енергії випромінювання (рис. 1).

Позначення на рис. 1: $T_1^{\circ}\text{C}$ і $T_2^{\circ}\text{C}$ – температура теплового поля, L – відстань між випромінювачами, h – функція густини розподілу інтенсивності лазерного променя в R_2 – площині.

Це є підставою для побудови моделі кінетики і динаміки процесів сушіння книжкових блоків в залежності від їх вологості. Відповідно до фізичної структури виділяємо такі типи нагрівачів [6]: електролампові випромінювачі; інфрачервоні теплові (керамічні панелі); інфрачервоні з електричним нагрівом (спіральні газонаповнені лампи, кераміка, панелі); лазерні в широкому діапазоні випромінювання (1800÷380) Нм.

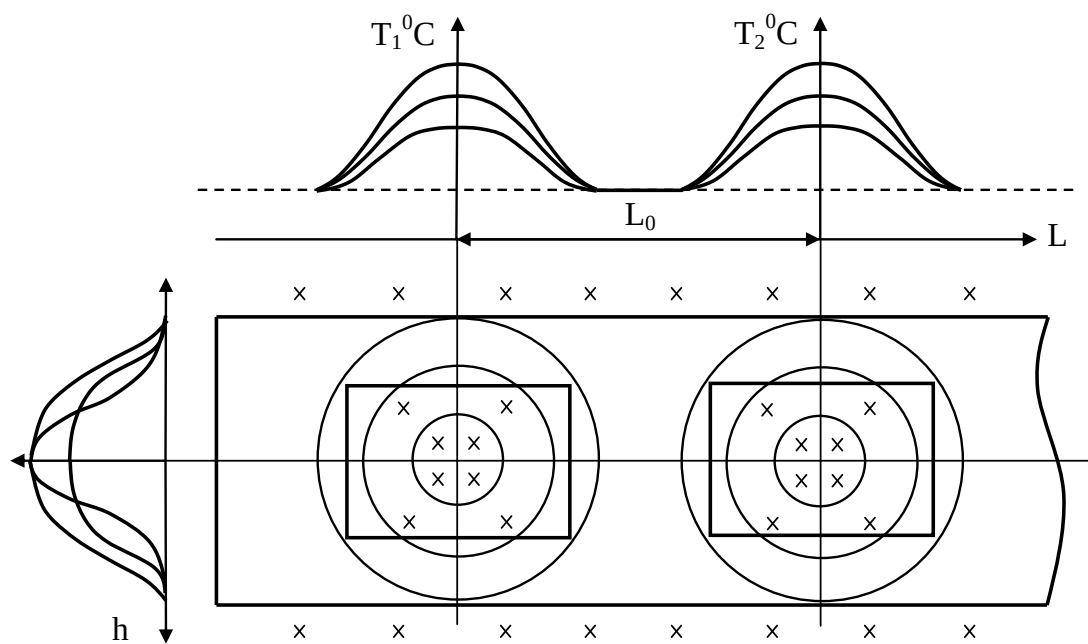


Рисунок 1 – Розподіл теплового поля від лампових випромінювачів на поверхні книжкових блоків

У таких системах випромінюване теплове поле і його просторова структура формуються рефлекторами і тепловими екранами.

Для визначення просторової і енергетичної структури поля температур необхідно побудувати такі характеристики: діапазону регулювання температури поля джерела випромінювання; залежність температури поля від температури поверхні випромінювача; залежність температури корінців книжкових блоків від швидкості і енергії випромінювача $T_{np}=f(v, T_d)$; залежність зміни температури корінців книжкових блоків в області сушіння від часу циклу; побудувати просторову структуру функції розподілу теплової енергії; побудувати просторове поле $T^o(x, y, z)$ в залежності від розподілу поля випромінювання. А також побудувати графічну схему зв'язку параметрів книжкових блоків, теплового поля з функцією продуктивності (цільовою) і обґрунтувати використання лазерних випромінювачів для інтенсифікації процесу сушіння і підвищення продуктивності.

Для побудови просторової структури теплового поля в зоні сушіння корінців книжкових блоків необхідно узгодити ряд характеристик режимів сушіння, тобто узгодити залежності потужності випромінювачів від напруги, швидкості руху транспортера з необхідною температурою джерела випромінювання (рис. 2). Ці дві характеристики вимагають побудови залежності продуктивності від швидкості руху транспортера (ПР- V_{tr}), при цьому необхідна температура теплового поля в зоні нагрівання продукції та часу висушування узгоджується з необхідним значенням параметрів режиму.

Відповідно до цього будується багатокритеріальна множина, яка пов'язує характеристики і фактори, що їх формують. Це є основою для побудови процедури управління на підставі технологічних знань набутих в процесі експлуатації і випробувань сушарки конвеєрного типу.

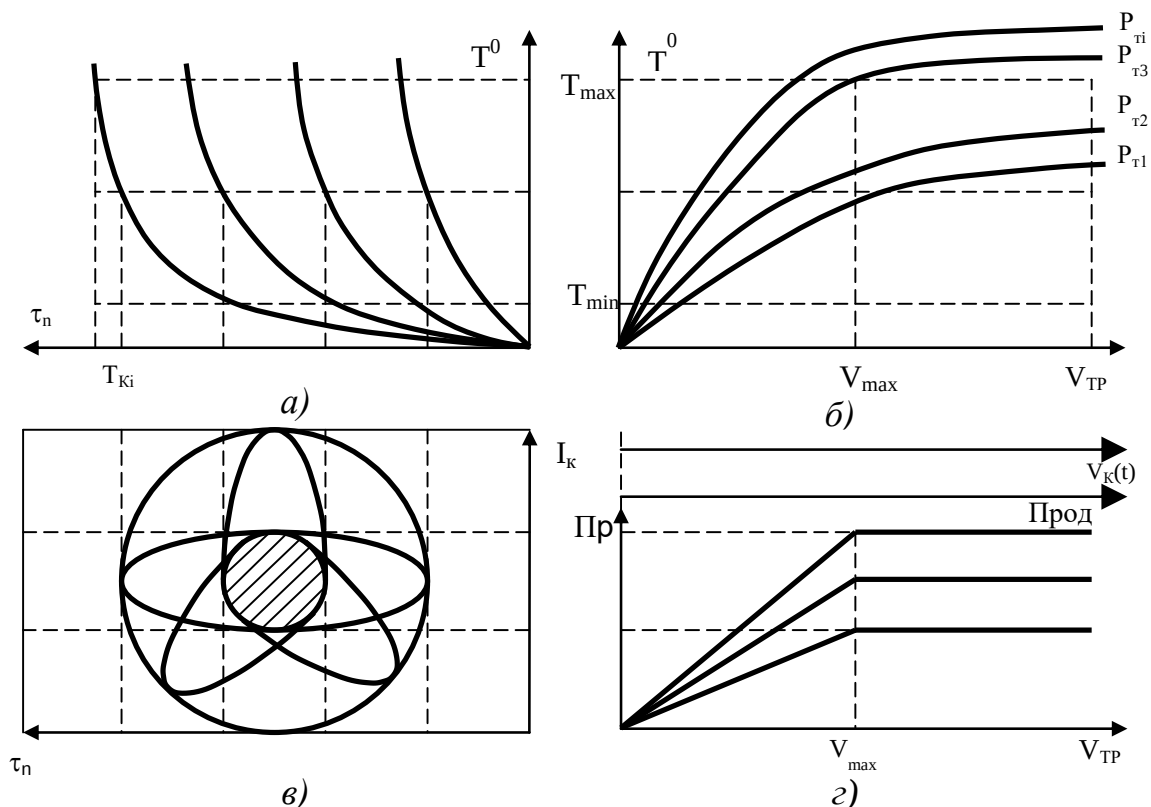


Рисунок 2 – Графічна схема побудови оптимального теплового поля

Для підвищення продуктивності процесу сушіння необхідно використовувати потужні лазери різного діапазону випромінювання – від інфрачервоного до ультрафіолетового за рахунок концентрації енергетичних потоків променів [3, 5]. Для цього формуються секції (рис. 3) з лазерів однакової потужності ($n=8$ шт.), які включаються в структуру регулятора температури на основі паралельного або послідовного з'єднань.

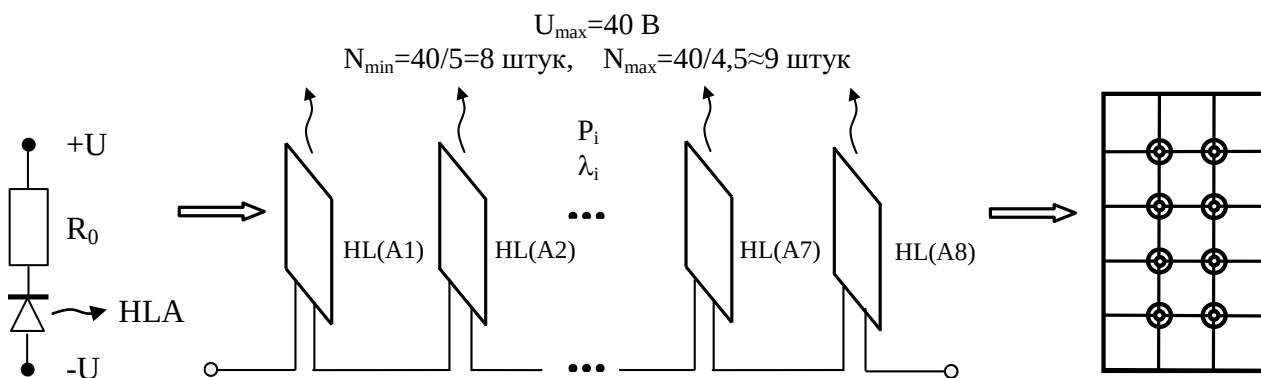


Рисунок 3 – Структура лазерної секції з напівпровідникових лазерів з конусною діаграмою випромінювання потоку фотонів

Відповідно до структури лазерної секції будується схема узгодження як для послідовних (рис. 4, а), так і для паралельних лазерних секцій (рис. 4, б).

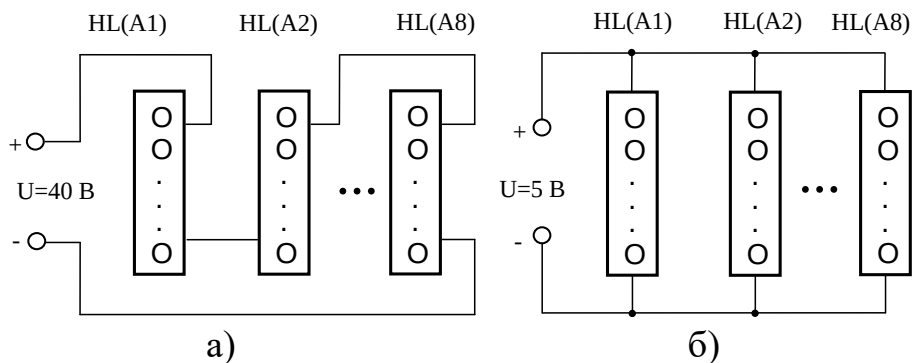


Рисунок 4 – Схема узгодження лазерної секції:

а) послідовна $U=4.5 \text{ В} \times 8$; б) паралельна $I_{\max} = \sum_{i=1}^8 I_i$

Для ефективного формування теплового поля використовуються лазерні секції із силових лазерів великої потужності із прямим струмом в межах $(0,5 \div 5) \text{ А}$, які забезпечують перетворення електричної енергії в оптичну з коефіцієнтом перетворення $k_{\text{ОПТ}} = (0,5 \div 0,8) \times P_E$. Особливість лазерних випромінювачів полягає в тому, що кожен елемент запускається при $U = 2 \text{ В}$ і мінімальній потужності $P_{\min}$. Регулюванням $U = (2 \div 5) \text{ В}$ можна змінювати оптичну потужність до максимального значення. Для формування лазерних секцій, які б узгоджувались з напругою мережі, використовуються комбіновані паралельно-послідовні з'єднання. Для секції з восьми лазерів живленням $U = 40 \text{ В}$, необхідне послідовне з'єднання секцій до 240 В , тобто послідовно шість секцій по $U = 40 \text{ В}$, що забезпечує пряме включення в систему управління температурою.

Така секція живлення забезпечує ефективне регулювання потужності теплового поля випромінювання, безпеку експлуатації і вписується за своїми параметрами в структуру цифрового регулятора температури.

Задачі контролерного регулювання середньої температури в конвеєрних сушарках і швидкості безперервного руху транспортерів частково вирішені [7]. Обґрунтовано раціональні способи і системи регулювання положення (позиціонування) книжкових блоків в повторно-короткотривалих режимах руху з адаптацією регуляторів до цих режимів.

Результати дослідження

Для виявлення структурних особливостей паперу використано метод лазерного зондування (лазер напівпровідниковий з променем конусного типу). При лазерному зондуванні (рис. 5), за рахунок потоку фотонів, які проходять через аркуші тестового паперу, формується образ структури паперу. Образ характеризується мікрокластерами неоднорідності щільності паперу. Розподіл густини потужності лазерного променя відображає в проекції кластерну структуру аркушів паперу, яку можна описати нечіткими множинами [3-5].

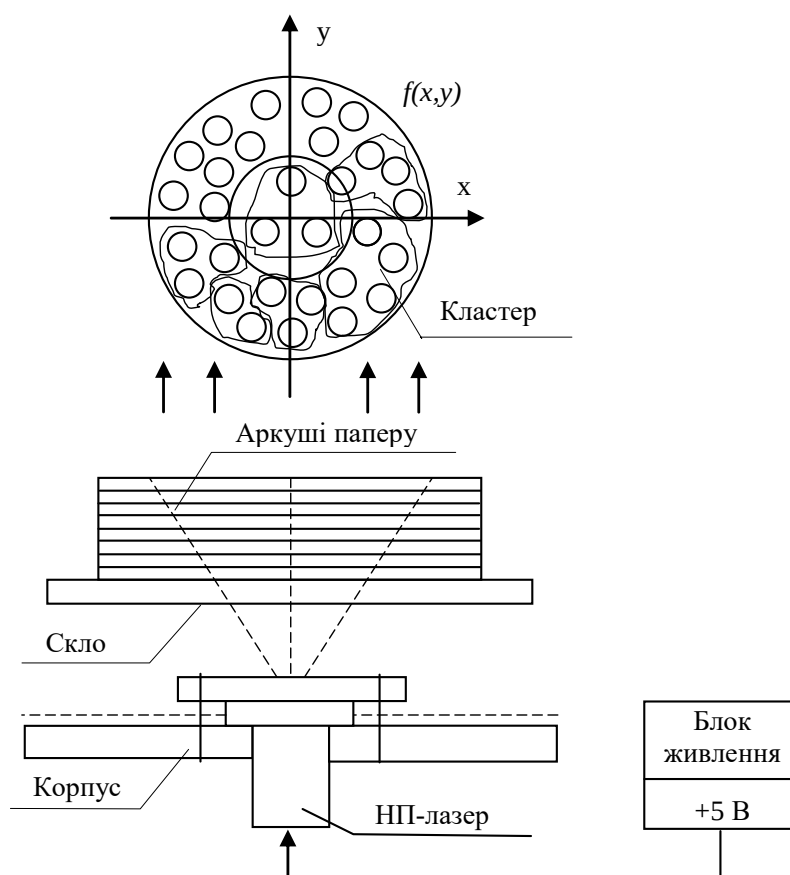


Рисунок 5 – Лазерне зондування аркушів паперу фотонним потоком променя із змінною потужністю

На графіку (рис. 6) зображено розподіл густин об'ємної структури аркуша паперу повздовжнє (1), поперечне (2), косе (3). Наведені образи структури паперу по товщині і відповідно до них функції розподілу потужності лазерного променя при проходженні через шари аркушів паперу, отримані в результаті експериментів.

Глибина проникнення лазерного променя в процесі сушіння при нанесенні клею на паперову площину для різних типів паперу (кількість аркушів паперу $N=8$ шт., 16 шт.) наведено в табл. 2-4.

Таблиця 2 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одрі, виробник Польща, щільність паперу – 70 г/м^2 при $I=150 \text{ мА}$, 100 мА , 50 мА

	Колір	Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
			50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, $N=8$ шт.	Білий, W		21/41	21/42	21/43
	Синій, B		20/36	20/38	21/40
	Зелений, G		16/31	17/31	18/31
	Червоний, R		19/31	19/33	19/37
Кількість аркушів паперу, $N=16$ шт.	Білий, W		21/31	21/32	21/33
	Синій, B		20/38	20/39	20/40
	Зелений, G		15/27	16/27	17/27
	Червоний, R		17/19	18/19	18/19

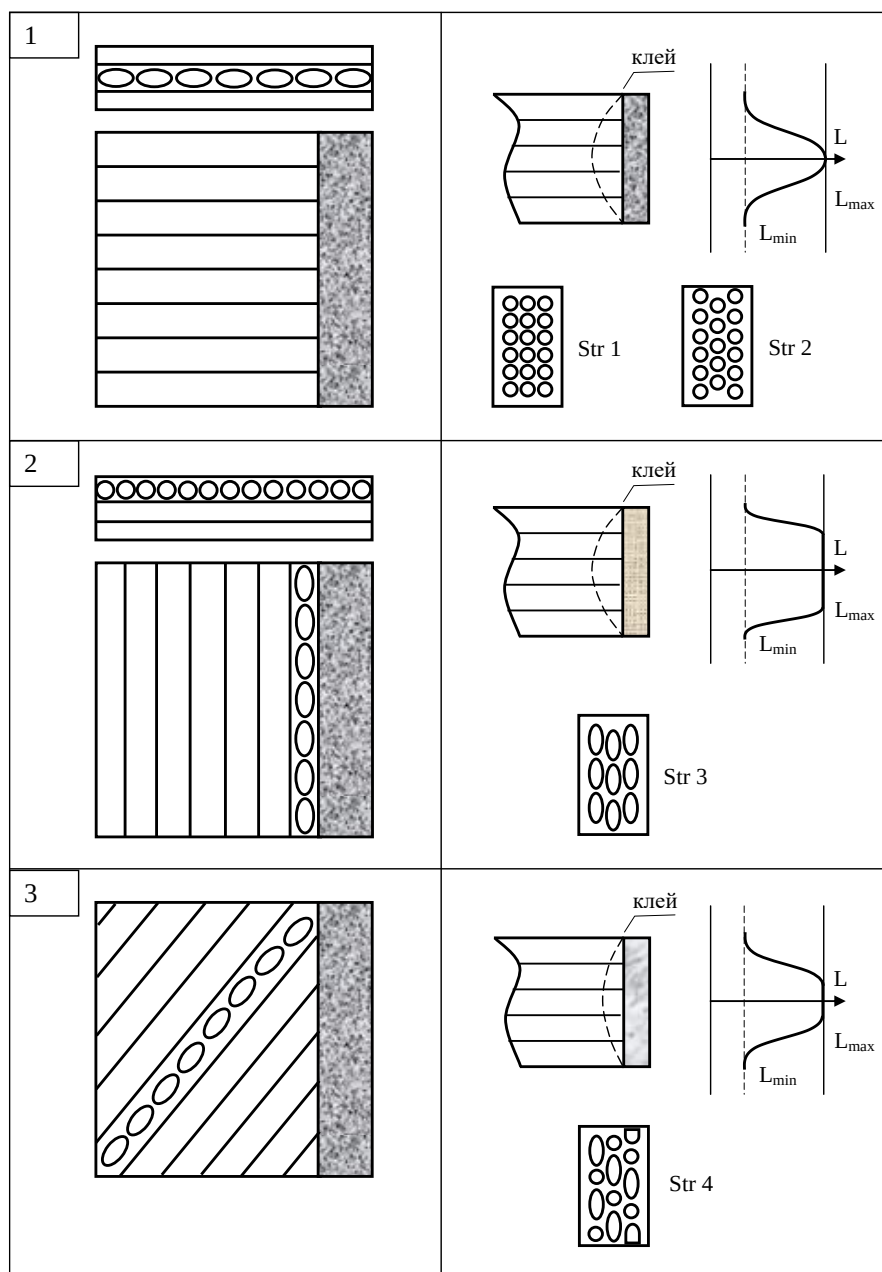


Рисунок 6 – Глибина проникнення лазерного променя в процесі сушіння клеєвого з'єднання при різній структурі паперу

Таблиця 3 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одрі, виробник Польща, щільність паперу – 80 г/м² при I=150 мА, 100мА, 50мА

	Колір	Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
			50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, N=8 шт.	Білий, W		21/38	21/39	21/40
	Синій, B		20/41	20/46	20/50
	Зелений, G		17/34	17/34	18/35
	Червоний, R		18/25	19/28	19/31
Кількість аркушів паперу, N=16 шт.	Білий, W		18/27	19/31	20/33
	Синій, B		17/32	18/36	19/40
	Зелений, G		16/22	17/24	18/27
	Червоний, R		10/12	10/14	13/15

Таблиця 4 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, виробник Польща, щільність паперу – 100 г/м² при I=150 мА, 100мА, 50мА

	Колір \ Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
		50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, N=8 шт.	Білий, W	21/31	21/35	21/38
	Синій, B	20/40	20/44	20/48
	Зелений, G	17/30	17/33	18/37
	Червоний, R	18/24	18/25	19/27
Кількість аркушів паперу, N=16 шт.	Білий, W	15/20	17/21	19/22
	Синій, B	17/20	18/23	20/26
	Зелений, G	11/22	13/23	16/24
	Червоний, R	14 аркушів 10/15	14 аркушів 12/16	15 аркушів 12/14

Лазерне кольорове (RGBW) зондування 8 аркушів паперу та структура функції розподілу потужності конуса лазерного променя після проходження через середовище паперу зображено на рис. 7.

Висновки

В роботі запропоновано комплексне формування теплового потоку з використанням теплових електричних випромінювачів (лампи великої потужності). Запропонований метод комплексного використання електричних теплових випромінювачів (інфрачервоні, лампочки білого світла) разом з потужним лазерним випромінюванням (потужні лазери в діапазоні: білий, синій, зелений, червоний) дало змогу скоротити час сушіння та основі полімеризації клею лазерним випромінюванням та підвищити якість міцності скріплення корінця. Із напівпровідникових лазерів з потужністю 1-10 Вт сформовані блоки випромінювачів, які по довжині перекривають книжний блок. Для кожного типу паперу вибираються потужності лазерної решітки та відповідний колір випромінювання, що дає можливість отримати оптимальні режими сушіння.

Розглянуто метод підвищення якості продукції на підставі використання систем координаційної стратегії підтримки прийняття рішень з використанням оптимізаційних процедур в просторі станів об'єкта. Побудовано структурну модель теплового поля при комбінації лазерних і теплових випромінювачів, що дало змогу підвищити ефективність процесу сушіння книжкових блоків.

Обґрунтовано використання лазерних випромінювачів теплової енергії в діапазоні $\lambda=(0,36\div1,8)$ мкм та розроблено схеми їх включення в структуру цифрового регулятора температури.

Розроблено компоненти інформаційної технології відбору та інтервального опрацювання даних про термодинамічний режим процесу сушіння книжкових блоків як підставу здійснення управління.

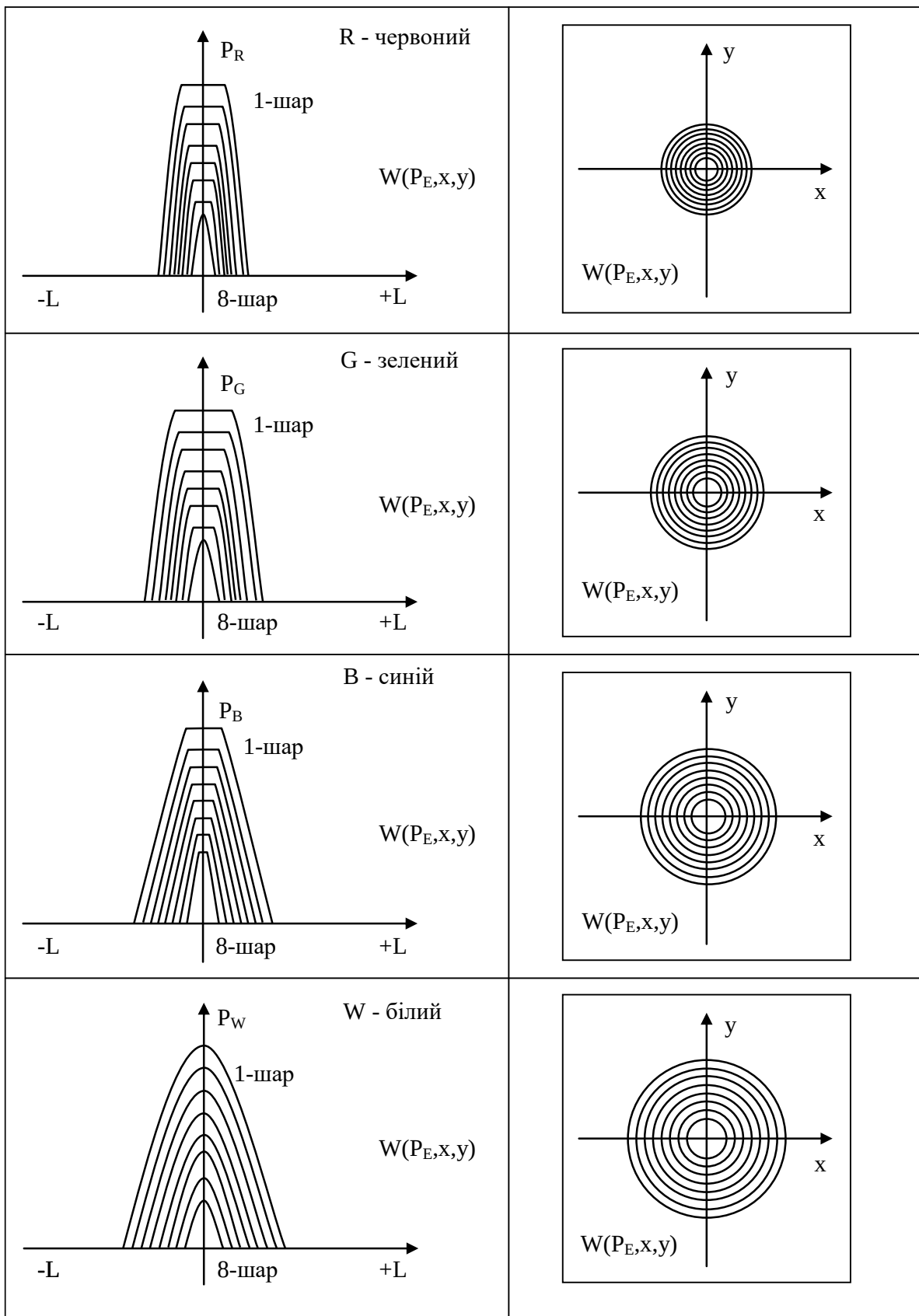


Рисунок 7 – Лазерне кольорове (RGBW) зондування 8 аркушів паперу

Список літератури.

1. Коптюх, Л.А. (2012). Види і властивості паперу для друку: навчальний посібник. К.: Університет «Україна».
2. Ярема, С.М. (2003). Видавничі поліграфічні технології та обладнання (загальний курс): навч. посібник. К.:Ун-т «Україна».
3. Гавенко, С.Ф. (2002). Нормалізація технології незшивного клейового скріплення книг: теоретичні та практичні аспекти. Львів: Каменярь.
4. Гавенко, С.Ф., & Йордан, Г.М. (2012). Технологія мікрохвильового висушування книжкових блоків : монографія. Львів: УАД.
5. Хведчин, Ю.Й. (2007). Брошурувально-палітурне устаткування. Ч. 2: Палітурне устаткування: підручник. Львів: УАД.
6. Шот, Р.І., & Стрепко, І.Т. (1998). Теплові процеси в поліграфії: навч. посібник. Львів: УАД Фенікс.
7. Стрепко, І., Федина, Б., & Забрамний, І. (2004). Частотно-регульований асинхронний привод транспортера конвеєрної сушарки поліграфічної продукції з повторно-короткотривалим режимом руху. Комп'ютерні технології друкарства, (12), 97-108.
8. Гаращук, В.П. (2012). Основи фізики лазерів. Навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей ВНЗ. «Пульсари».
9. Стрепко, І., & Федина, Б. (2002). Порівняльний аналіз методів теплового сушіння матеріалів. Комп'ютерні технології друкарства, (7), 216-220.
10. Shen, Z., Guo, D., Zhao, H., Xia, W., Hao, H., & Wang, M. (2021). Laser self-mixing interferometer for three-dimensional dynamic displacement sensing. IEEE Photonics Technology Letters, 33(7), 331-334. <https://doi.org/10.1109/LPT.2021.3062287>.
11. Sikora, L., Lysa, N., Fedyna, B., Durnyak, B.R., & Miyushkovych, Y. (2018). Technologies of development laser based system for measuring the concentration of contaminants for ecological monitoring. Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), (1), 93-96. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526602>.
12. Caprara, G.V., & Cervone, D. (2000). Personality: Determinants, Dynamics, and Potentials. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812767>.
13. Sikora, L., Martysyshyn, R., Miyushkovych, Y., Lysa, N., & Yakymchuk, B. (2015). Problems of data perception by operators of energy-active objects under stress. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, 475-477. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230909>.

ЯКІСТЬ ПЛОСКОГО ДРУКУ ДЛЯ ГРАФІЧНОГО МИСТЕЦТВА

Огірко І.В.

д.ф.-м.н., професор, кафедра Мультимедійних технологій,
Інститут поліграфії та медійних технологій, НУЛП

Пляцко М.М.

аспірантка, кафедра Мультимедійних технологій,
Інститут поліграфії та медійних технологій, НУЛП

***Анотація.** Кваліметрія плоского друку для графічного мистецтва охоплює методи кількісної оцінки якості продукції, включаючи статистичні, експертні та метрологічні підходи. У статті розглянуто вплив факторів технологічного процесу на показники якості та визначено критерії оцінювання.*

***Ключові слова:** ОФСЕТ, ЯКІСТЬ, ДРУК, КВАЛІМЕТРИЯ, ЕКСПЕРТИЗА, ГРАФІКА.*

Вступ

У сучасному графічному мистецтві плоский друк займає одне з провідних місць завдяки своїй здатності відтворювати високоякісні зображення з чіткими контурами, насиченими кольорами та детальною передачею відтінків. Особливо важливим серед технологій плоского друку є офсетний друк, який уже протягом багатьох десятиліть залишається основою для виготовлення поліграфічної продукції різного призначення – від художніх репродукцій і плакатів до пакувальної продукції та рекламних матеріалів. Його популярність обумовлена високою продуктивністю, економічністю та здатністю відтворювати велику кількість відбитків із мінімальними втратами якості.

Висока якість плоского друку досягається завдяки поєднанню складних технологічних процесів, спеціалізованих матеріалів та кваліфікованої роботи оператора. Ключовими чинниками, що впливають на кінцевий результат, є не лише якість друкарських форм, фарб і паперу, а й точність налаштувань друкарської машини, умови експлуатації обладнання, а також суворе дотримання технологічних параметрів на всіх етапах виробництва.

Зокрема, правильний вибір матеріалів відіграє важливу роль. Фарби повинні мати оптимальну в'язкість, колірну насиченість і стійкість до зовнішніх впливів, а папір – забезпечувати належну адгезію фарби та не деформуватися під час друку. Технологічні аспекти, такі як якість виготовлення друкарських пластин, правильне встановлення кольорів і реєстрації, а також контроль швидкості друку і вологості, визначають чіткість і контрастність зображень.

Людський фактор теж є важливим елементом процесу. Кваліфікація та досвід оператора друкарської машини впливають на оперативне виявлення та усунення можливих дефектів, що виникають під час друку, а також на

підтримання стабільності технологічного процесу. Крім того, ретельний контроль якості на всіх етапах виробництва дозволяє своєчасно виявляти відхилення від стандартів і забезпечувати відповідність поліграфічної продукції високим вимогам замовників.

Отже, якість плоского друку – це комплексний показник, що залежить від багатьох взаємопов'язаних чинників. Розуміння та оптимізація цих факторів є запорукою створення висококласної поліграфічної продукції, що відповідає сучасним вимогам мистецтва та промисловості.

Мета та задачі дослідження

В умовах стрімкого розвитку поліграфічної галузі та постійного підвищення вимог до якості друкованої продукції, особливо у сфері графічного мистецтва, актуальним є питання системного аналізу та удосконалення технологічних процесів плоского друку. Метою даного дослідження є комплексний аналіз критеріїв якості плоского друку, які застосовуються у графічному мистецтві, а також розробка та формалізація методологічних підходів до оцінювання якості з використанням кваліметричних і статистичних методів. Реалізація поставленої мети дозволить не лише підвищити якість друкованих зображень, а й оптимізувати технологічний процес, що забезпечить стабільність та надійність виготовлення продукції високого рівня.

Проблематика якості плоского друку є багатогранною і включає в себе широкий спектр параметрів, що охоплюють як технічні характеристики відбитків, так і суб'єктивні аспекти сприйняття кінцевого продукту. У сучасних дослідженнях під якістю поліграфічної продукції розуміють комплекс властивостей, що визначають відповідність виробу встановленим стандартам та вимогам замовника. У сфері графічного мистецтва, де естетична складова має не менш вагоме значення, ніж технічна, якість відбитку оцінюється за показниками чіткості, кольорової насиченості, рівномірності нанесення фарби, передачі деталей та інших параметрів, що формують візуальне сприйняття твору.

Важливою складовою дослідження є формалізація критеріїв якості, яка дозволяє перейти від інтуїтивних оцінок до об'єктивних параметрів, вимірюваних і кількісно аналізованих. Кваліметричні методи, що базуються на математичних моделях і теорії прийняття рішень, надають змогу систематизувати показники якості, ранжувати їх за значимістю та формувати інтегральні індекси. Це, у свою чергу, створює основу для впровадження автоматизованих систем контролю якості, які дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів і знизити рівень браку.

Застосування статистичних методів аналізу відіграє ключову роль у вивченні варіабельності параметрів друку та виявленні закономірностей їхнього впливу на кінцеву якість продукції. Методи регресійного аналізу, факторного моделювання, кореляційного дослідження дозволяють виявити основні чинники, що обумовлюють якість відбитку, та розробити рекомендації щодо оптимізації

технологічних параметрів. Використання статистичних інструментів також сприяє формуванню системи оперативного контролю та моніторингу, що є необхідним елементом сучасного виробництва.

Одним із завдань даного дослідження є детальний аналіз технологічного процесу плоского друку з урахуванням властивостей матеріалів, параметрів обладнання та умов експлуатації. Особлива увага приділяється оцінці впливу властивостей друкарських фарб, якості виготовлення друкарських форм, вибору типу і структури паперу, а також параметрів друку (тиску, швидкості, вологості тощо). Результати аналізу мають слугувати основою для розробки рекомендацій, спрямованих на підвищення стабільності процесу та мінімізацію дефектів.

Таким чином, реалізація поставленої мети сприятиме формуванню комплексної методології оцінювання якості плоского друку у графічному мистецтві, що базується на синтезі кваліметричних і статистичних підходів, а також удосконаленню технологічних процесів. Це, у свою чергу, сприятиме підвищенню конкурентоспроможності поліграфічної продукції та забезпеченню високих естетичних і технічних стандартів.

Основні задачі дослідження.

1. Провести систематичний огляд наукових праць і нормативної документації, що регламентують критерії якості плоского друку, з метою визначення актуальних тенденцій і виявлення проблемних аспектів.

2. Сформувані і формалізувати базовий набір критеріїв якості плоского друку, з урахуванням технічних параметрів і візуально-естетичних характеристик, притаманних графічному мистецтву.

3. Розробити методологію кількісної оцінки якості за допомогою кваліметричних моделей, що дозволяють систематизувати параметри і визначати їхню вагомість у загальній структурі якості.

4. Використати статистичні методи для аналізу експериментальних даних, отриманих у процесі контролю якості, та встановити взаємозв'язки між технологічними параметрами і показниками якості.

5. Проаналізувати вплив властивостей матеріалів (фарби, паперу) і параметрів друку на кінцеві характеристики відбитків, з метою розробки рекомендацій для оптимізації технологічного процесу.

6. Запропонувати науково обґрунтовані заходи щодо вдосконалення технології плоского друку, що базуються на комплексному аналізі та моделюванні процесів.

7. Провести експериментальну перевірку ефективності розроблених критеріїв і методик, підтвердити їхню практичну значимість і адаптивність до виробничих умов.

Реалізація поставлених задач сприятиме підвищенню якості поліграфічної продукції, оптимізації виробничих процесів та впровадженню сучасних систем контролю, що відповідають вимогам сучасного графічного мистецтва та індустрії загалом.

Основна частина

Якість у контексті плоского друку розглядається як складна система властивостей друкованої продукції, яка повинна відповідати певним вимогам: естетичним, технічним, експлуатаційним. У випадку графічного мистецтва особливої ваги набуває точність передачі зображення, стабільність тону, чіткість контурів, відсутність дефектів.

Виділяють кілька рівнів якості:

- технологічний – відповідність технічним параметрам друку;
- візуальний – сприйняття зображення споживачем;
- довговічність – стійкість до механічного зношення, дії світла, вологи.

Кваліметрія плоского друку для графічного мистецтва – вивчаються методологія і проблематика комплексної, кількісної оцінки якості. У кваліметрії кілька підходів до кількісного оцінювання якості. Найбільш уживаний з них базується на наступних принципах.

1. Якість являє собою сукупність тільки тих властивостей об'єкта, які пов'язані з досягненням за його допомогою результату (але не з понесеними при цьому витратами) і які проявляються в процесі споживання (експлуатації, використання) об'єкта відповідно до його призначення.

2. Деякі складні і будь-які прості властивості можуть бути виміряні за допомогою абсолютного показника властивості Q_i ($i = \overline{1, n}$, n – кількість властивостей оцінюваного об'єкта). Отримані в результаті цього значення показника Q виражаються у специфічних для кожної властивості одиницях. Для вимірювань можуть використовуватися метрологічні, експертні, аналітичні методи.

3. Всі властивості, що формують якість, утворюють ієрархічну структуру у вигляді дерева властивостей. Нижчий ярус цього дерева (корінь дерева) це найскладніша властивість – якість об'єкта, а гілки вищого ярусу це прості і квазіпрості властивості.

4. Для зіставлення різних властивостей, що вимірюються в різних за розмахом і розмірності шкалах, використовується відносний безрозмірний показник K_i відображає ступінь наближення абсолютного показника властивості Q_i , до еталонного Q_i^{em} і бракувальному Q_i^{bp} показниками, що характеризує найвищий і найнижчий рівні суспільних потреб.

Відносний показник описується залежністю $K_i = f(Q, Q_i^{em}, Q_i^{bp})$, яка у разі застосування спрощеного методу кваліметрії може бути представлена функцією:

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{bp}}{Q_i^{em} - Q_i^{bp}}.$$

5. Для зіставлення по відносній важливості всіх властивостей, що входять в «дерево властивостей», використовуються безрозмірні коефіцієнти вагомості G_i .

Для зручності зазвичай приймається

$$0 < G_i < 1, \text{ а } \sum_{i=1}^n G_i = 1.$$

Значення коефіцієнтів вагомості визначаються із залученням різновидів експертного та неекспертного (аналітичного) методів.

6. Кількісна оцінка якості виражається за допомогою показника

$$K_K = \varphi(K_i, G_i, K_{ef}).$$

Функція φ може виражатися різними поліномами, середніми тощо. При застосуванні спрощеного методу кваліметрії ця функція дуже часто може бути виражена за допомогою формули:

$$K_K = K_{ef} \sum_{i=1}^n K_i G_i.$$

7. Якщо, крім якості об'єкта необхідно враховувати витрати на його виробництво і споживання (використання, експлуатацію) – так звані сукупні витрати (окремим випадком яких є використовувані в теорії економічної ефективності наведені витрати), то замість показника якості K використовується показник інтегральної якості, визначення значень якого ґрунтується на тих же принципах.

Однією з головних проблем K_K , яка зазвичай вирішується емпірично, є розробка алгоритму перетворення параметрів об'єкта в показники його якості і, зокрема, цілеспрямований пошук тієї мінімальної сукупності властивостей (показників), які утворюють якість об'єкта. Проблема вибору полягає у виявленні певних груп показників, які б задовольняли вимоги їх необхідності, достатності та незалежності.

Для вирішення цієї проблеми може бути використаний функціонально-типологічний аналіз, заснований на розгляді якості як системи. При цьому розрізняють зовнішні споживчі якості (властивості), за якими судять про придатність продукції задовольняти певні потреби відповідно до призначення, і внутрішні споживчі якості – фізичні, що зумовлюють зовнішні якості і характеризують об'єкт (створюваний і експлуатований), який має структуру взаємопов'язаних фізичних властивостей складових його елементів.

Оцінюють якість часто для вирішення задачі оптимізації якості об'єкта, тобто досягнення найкращого співвідношення між одержуваним від використання об'єкта корисним ефектом і визначення ступеня відповідності об'єкта оцінки заданому еталону.

У кваліметрії уживаються два терміни – вимірювання і оцінка. Якщо в метрології вимірювання розглядається як окремий випадок оцінок, то в кваліметрії вони характеризують два не супідрядні поняття. Під кількісною оцінкою в кваліметрії розуміють деяку функцію відношення (виражена

найчастіше у відсотках) показника якості даної продукції до показника якості продукції, прийнятої за еталон [1-3].

Особливо вагому роль відіграють комплексні оцінки, тобто оцінки показників якості продукції, що відносяться до сукупності її властивостей.

Ймовірно, важливість комплексних оцінок і та увага, яку приділяють їм дослідники, призвели до поширення думки, що кваліметрія оперує тільки комплексними безрозмірними оцінками, отриманими в результаті обчислення тим або іншим способом. Це, безумовно, звужує межі кваліметрії, оскільки виключає зі сфери кваліметрії диференціальні методи оцінки якості (тобто оцінки окремих, одиничних показників властивостей якості). Тим часом, сама назва кваліметрія показує, що її апаратом є всі види оцінок будь-якої розмірності, отримані різними способами

Статистичні методи оцінювання.

У поліграфії статистичний аналіз відіграє ключову роль у контролі якості. Найчастіше використовуються:

- середнє арифметичне як базовий показник;
- дисперсія та стандартне відхилення як показники стабільності;
- однофакторний і багатофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA);
- критерії значущості (наприклад, F-критерій Фішера).

Приклад: у серії експериментів із різними зволожувальними розчинами оцінювалась стабільність тону при тиражуванні ($n = 5$). Було встановлено, що розчин з рН 4,8 демонструє найменше відхилення оптичної густини ($\sigma = 0,03$), тоді як рН 5,5 – $\sigma = 0,09$. Це свідчить про вищу стабільність першого варіанта [4].

У будь-якому експерименті середні значення досліджуваних величин змінюються у зв'язку зі зміною основних чинників (кількісних та якісних), що визначають умови досліду, а також і випадкових чинників. Дослідження впливу тих чи інших чинників на мінливість середніх є задачею дисперсійного аналізу. Дисперсійний аналіз використовує властивість адитивності дисперсії випадкової величини, що обумовлено дією незалежних чинників. Залежно від числа джерел дисперсії розрізняють однофакторний та багатофакторний дисперсійний аналіз. Дисперсійний аналіз особливо ефективний під час вивчення кількох чинників. При класичному методі вивчення змінюють тільки один чинник, а решту залишають сталими. При цьому для кожного чинника проводиться своя серія спостережень, що не використовується при вивченні інших чинників. Крім того, під час такого методу досліджень не вдається визначити взаємодію чинників при одночасній їх зміні. Під час дисперсійного аналізу кожне спостереження служить для одночасної оцінки всіх чинників та їх взаємодії. Дисперсійний аналіз полягає у виділенні й оцінюванні окремих чинників, що викликають зміну досліджуваної випадкової величини. При цьому проводиться розклад сумарної вибіркової дисперсії на складові, обумовлені незалежними чинниками. Кожна з цих складових є оцінкою дисперсії генеральної сукупності. Щоб дати оцінку дієвості впливу даного чинника, необхідно оцінити значимість відповідної вибіркової

дисперсії порівняно з дисперсією відтворення, обумовленою випадковими чинниками. Перевіряють значимість оцінок дисперсії за допомогою критерію Фішера. Дисперсійний аналіз застосовується в різних формах залежно від структури об'єкту, який досліджують; вибір відповідної форми є однією з головних труднощів в практичному застосуванні аналізу.

Роль метрології.

Метрологічні методи дозволяють забезпечити об'єктивність результатів. До основних параметрів, що підлягають вимірюванню:

- оптична густина (DD);
- відтворення дрібних деталей (мінімальна лінія, що відображається без розмиття);
- градація тону;
- точність накладання фарб.

Також враховується стійкість до стирання, розмірність краплі фарби, ступінь зволоження форми. Контроль здійснюється за стандартами ISO, особливо ISO 12647-2:2013 [7].

Результати досліджень

У ході проведеного дослідження основною методологічною основою для аналізу впливу технологічних параметрів на якість плоского друку було обрано однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Цей статистичний метод дозволяє встановити, чи існує статистично значущий вплив окремих незалежних змінних (у даному випадку – параметрів друкарського процесу) на залежну змінну, якою є показники якості відбитка. Такий підхід є обґрунтованим у контексті поліграфічного виробництва, де результати залежать від великої кількості параметрів, що змінюються в межах допустимих технологічних значень.

На основі обробки експериментальних даних було визначено, що серед досліджуваних факторів найбільш значущими виявилися параметри, пов'язані з фізичними характеристиками друкарського циліндра, а також властивості зволожувального розчину. Зокрема, було встановлено, що варіації параметрів циліндра, таких як матеріал покриття, мікрорельєф поверхні та стабільність обертання, безпосередньо впливають на рівномірність нанесення фарбового шару. Визначено, що при дотриманні оптимальних параметрів циліндра підвищується якість передачі дрібних графічних елементів, покращується передача півтонів, зменшується ймовірність появи дефектів типу «притиснутий край» чи «засвітка».

Особливу увагу було приділено вивченню впливу хромування як одного з методів обробки поверхні друкарського циліндра. Хромування забезпечує утворення на поверхні циліндра стабільної та регулярної мікроструктури, що значно підвищує його функціональні властивості. Експериментальні дослідження показали, що хромування сприяє зниженню тертя між друкарською формою та

циліндром, що, своєю чергою, зменшує ризик пошкодження друкарської форми та сприяє подовженню її ресурсу. Крім того, хромування дозволяє забезпечити більш однорідне змочування та рівномірне розподілення фарби, що позитивно позначається на стабільності кольору та зменшенні спотворень на зображенні.

Ще одним важливим чинником, що виявився статистично значущим, є склад і властивості зволожувального розчину. Зокрема, параметри рН, в'язкість, поверхневий натяг та вміст ізопропілового спирту у складі розчину впливають на взаємодію фарби з поверхнею друкарської форми. Неправильний підбір зволожувального розчину може призвести до елементів забруднення зображення, втрати чіткості, зменшення насиченості кольору або нестабільного друку. Оптимізація параметрів розчину дозволяє досягти кращого балансу між змочуванням та нанесенням фарби, що особливо важливо при друці графічних композицій з великою кількістю півтонів і детальних елементів.

Варто також зазначити, що використання методів дисперсійного аналізу дозволило не лише виявити вплив окремих технологічних параметрів, а й оцінити їх відносну важливість у загальному контексті формування якості відбитка. Це створює передумови для розробки системи пріоритетів у технологічному процесі та сприяє побудові оптимізованих моделей контролю якості.

Отже, результати дослідження свідчать про доцільність і ефективність застосування статистичних методів, зокрема дисперсійного аналізу, у сфері поліграфії. Вони дозволяють сформувану обґрунтовану основу для прийняття технологічних рішень, орієнтованих на покращення якості друку. Виявлені закономірності дають змогу модернізувати окремі елементи друкарського устаткування, зокрема вдосконалити поверхні друкарських циліндрів, а також впровадити системи контролю якості, засновані на аналітичному підході. У результаті це відкриває нові можливості для підвищення якості плоского друку, що має особливе значення у галузі графічного мистецтва, де вимоги до точності й естетичної досконалості є особливо високими. З метою глибшого розуміння взаємозв'язків між технологічними параметрами друку та показниками якості було також застосовано кореляційний аналіз. Результати цього аналізу підтвердили наявність стійких зв'язків між окремими характеристиками друкарського процесу. Наприклад, виявлено високий рівень кореляції між регулярністю мікрорельєфу циліндра та стабільністю тону зображення, а також між параметрами зволожувального розчину та чіткістю контурів графічних елементів. Ці результати дозволяють рекомендувати відповідні технічні коригування у виробничому процесі для забезпечення передбачуваної якості.

Окрім статистичних методів, у дослідженні було застосовано експертне оцінювання якості друку. До участі в експерименті було залучено фахівців у галузі графічного мистецтва та поліграфічних технологій, які проводили візуальну оцінку відбитків за рядом критеріїв: однорідність фарбового шару, точність передачі півтонів, наявність артефактів, насиченість та колірна відповідність. Порівняння результатів експертного оцінювання зі статистичними

показниками дозволило провести верифікацію математичних моделей і забезпечити їх адаптацію до реальних умов друкарського виробництва.

Встановлено, що комбіноване застосування кількісних і якісних методів аналізу забезпечує більш об'єктивну та повну картину впливу параметрів процесу на якість друкованої продукції.

У підсумку слід зазначити, що результати досліджень доводять: інтеграція методів кваліметрії, статистичного аналізу та сучасних технологій моделювання створює ефективний інструментарій для забезпечення та покращення якості плоского друку в галузі графічного мистецтва. З огляду на зростаючі вимоги до художньої та технічної досконалості поліграфічної продукції, така системна наукова основа є необхідною умовою подальшого розвитку галузі.

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що якість друкованої графіки є багатофакторним явищем, яке формується під впливом численних взаємопов'язаних чинників. Комплексна оцінка якості неможлива без системного підходу, що дозволяє врахувати всі аспекти виробничого процесу, починаючи від властивостей матеріалів і технологічних параметрів до людського фактора та умов експлуатації. Такий системний аналіз забезпечує глибоке розуміння сутності процесу формування якості і сприяє розробці ефективних заходів щодо її підвищення.

Одним із найбільш перспективних напрямів у дослідженні якості плоского друку є застосування кваліметричного підходу, який надає змогу формалізувати та систематизувати різноманітні властивості друкованих відбитків у вигляді структурованої моделі. Завдяки цьому підходу можливо не лише кількісно оцінити рівень якості, але й визначити вагомість окремих параметрів, що істотно впливають на кінцевий результат. Впровадження кваліметричних методів сприяє підвищенню об'єктивності оцінки та уніфікації критеріїв, що особливо важливо в контексті графічного мистецтва, де оцінка якості часто носить суб'єктивний характер.

Дослідження також підтвердило, що статистичний аналіз у поєднанні з експертними оцінками формує надійну базу для розробки моделей контролю якості друку. Статистичні методи дозволяють виявити закономірності і залежності між технологічними параметрами і якістю відбитків, а експертний аналіз доповнює цю інформацію глибинним розумінням естетичних і технічних особливостей. Такий комплексний підхід забезпечує більш точне і всебічне визначення якості, що є необхідною умовою для підвищення ефективності виробничих процесів.

Особливу увагу в дослідженні приділено технологічним удосконаленням, зокрема в області друкарського циліндра, які мають безпосередній і суттєвий вплив на кінцеву якість відбитків. Оптимізація параметрів роботи циліндра, покращення матеріалів і технологій нанесення фарби сприяють підвищенню чіткості зображення, рівномірності фарбового шару та відтворенню тональних переходів. Впровадження таких інноваційних рішень дозволяє суттєво підвищити якість поліграфічної продукції, що є критично важливим для

графічного мистецтва, де висока якість відбитків є запорукою збереження художньої цінності творів.

Отже, комплексний підхід, який поєднує кваліметричні методи, статистичний аналіз та технологічні удосконалення, є ключовим чинником забезпечення високої якості плоского друку. Впровадження таких підходів на практиці дозволить не лише підвищити стандарти якості в поліграфії, а й забезпечити сталий розвиток графічного мистецтва у сучасних умовах.

Список літератури.

1. Огірко, О.І., Галайко, Н.В. (2017). Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів: ЛьвДУВС.
2. Дурняк, Б.В., Мельников, О.В., Васишин, О.М., & Дячок, О.Г. (2002). Поліграфія та видавнича справа: тлумачний слов. Львів: Афіша.
3. Мельников, О.В. (2007). Технологія плоского офсетного друку: підруч. 2-е вид. Львів: Укр. акад. друкарства.
4. Пляцко, М.М., & Огірко, І.В. (2024). Еволюція методів плоского друку в історії графічного мистецтва. Наукове видання. Поліграфія і видавнича справа, 2(88), 149-158.
5. Величко, О.М. (2005). Опрацювання інформаційного потоку взаємодією елементів друкарського контакту: монографія. Київ : Видав.-полігр. центр «Київський університет».
6. Гавенко, С.Ф., & Мельников, О.В. (2006). Стандарти у видавничо-поліграфічній галузі: навч. посіб. Львів: УАД.
7. Назар, І.М., Лазаренко, Е.Т., & Якуцевич, С. (2009). Параметри відбитків рулонного офсетного друку: фактори управління і впливу: монографія. Львів: УАД.

ВИБІР МОДЕЛЕЙ СТРАТЕГІЇ ДІЙ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ

Сабат В.І.

д. т. н., професор, кафедра Мультимедійних видань
Національного університету «Львівська політехніка

Кугот В.О.

аспірант, кафедра Мультимедійних видань
Національного університету «Львівська політехніка

***Анотація.** Стаття присвячена розробці моделей оперативного управління складними ієрархічно структурованими системами в умовах загроз, пов'язаних із надзвичайними ситуаціями, дотримуючись стратегій цільового методу прийняття рішень у кризових ситуаціях.*

***Ключові слова:** МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ТЕОРІЯ ГРАФІВ, ІЄРАРХІЧНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, АГРЕГОВАНІ СТРУКТУРИ, НЕЧІТКІ МНОЖИНИ.*

Вступ

Сьогодні, в умовах воєнних дій, зростає актуальність управління складними ієрархічними системами та об'єктами критичної інфраструктури. Оператор, який приймає рішення керуючись вибором стратегій дій у критичних ситуаціях в більшості випадків може допустити помилкове рішення, що в совою чергу може призвести до аварійних ситуацій та зупинки технологічного процесу виробництва. Тому виникає проблема автоматизації таких процесів де функції оператора зводяться до коригування тих чи інших дій в просторі станів систему управління.

Найбільш важливим елементом керування складними інтегрованими об'єктами в умовах ієрархічної організації процесу виробництва є узгодження технічного рівня управління зі стратегічним для прийняття рішень як операційних, так і на циклі термінального часу технологічного процесу. Основною проблемою такого системного стратегічного та технічного управління інтегрованими структурами (ІС) є побудова моделей і алгоритмів інтегрованого керування та планування дій для розв'язання цільових, поточних і кризових ситуацій. [1]

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є вибір та розроблення моделей управління складними інтегрованими об'єктами ієрархічної системи виробництва в умовах дії активних атак та загроз.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- дослідити проблемно орієнтовані моделі управління складними ієрархічними структурами і області їх використання в системі управління технологічним процесом;
- проаналізувати математичний апарат на основі теорії графів і сіток Петрі для визначення параметрів та їхніх взаємозв'язків в процесі моделювання системи управління;
- на основі процедур агрегування критеріїв важливості при розмитих множинах параметрів співставити їх з формальними зв'язками на нечітких множинах з використанням функцій належності;
- дослідити способи представлення задач управління в ієрархічних системах автоматизованого управління та вибору стратегій дій в кризових ситуаціях за допомогою сіток Петрі;
- розробити інформаційну технологію стратегії прийняття рішень оператором в кризових ситуаціях на основі функціональної схеми координуючого оперативного управління.

Основна частина

В ієрархічних системах автоматизованого управління (ІАСУ) використовуються набори проблемно-орієнтованих моделей, які служать базисом структурної організації систем, що відповідно є основою опису поведінки системи в різних умовах та ситуаціях. Основні області використання моделей при організаційному управлінні наступні [2,3]:

- диспетчерське управління на основі сіткових моделей дій з причинно-наслідковими зв'язками;
- складення розкладів функціонування агрегованих об'єктів ІАСУ на основі цільових планів;
- дослідження режимів функціонування ІАСУ та процедур прийняття цільових рішень.

Моделювання процесів в режимі діалогу на основі сіток Петрі в реальному часі є ефективним засобом відображення динамічних ситуацій. При цьому фрагменту сітки активних дій ставиться сітка Петрі:

$$S_{\Pi} = \{P, T, F, W, M_0\}, \quad (1)$$

де P – множина елементів сітки, що визначає місце дії (О);

T – множина переходів при зміні стану;

$F = (P \times TUT - P)$ – відношення інциденції місць переходів $W: F \rightarrow N \setminus \{0\}$;

M_0 – функція початкової розмітки. Тоді граф сітки Петрі, який можна представити на рис. 1, та включає в себе такі елементи:

- P_1, P_2, P_3 – вхідні команди/параметри;
- P_4 – команда/параметр обробки;
- P_5, P_6 – вихідні команди/параметри.

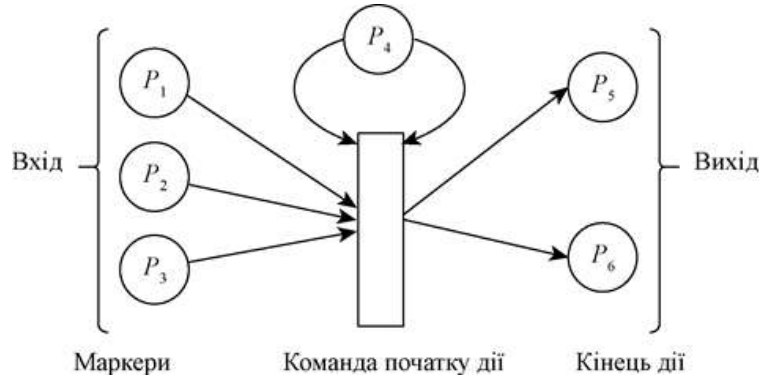


Рисунок 1 – Функціональна схема моделі графа дій, як елементарної сітки Петрі

Моделі зв'язків між рівнями ієрархії на основі процедури агрегування критеріїв важливості при розмитих множинах параметрів є визначальними для надійної комунікації та взаємодії між структурними елементами в ієрархії складної системи [4].

Представлення критеріїв різного рівня ієрархії у вигляді нечітких множин та формальні зв'язки агрегування можна співставити з формальними зв'язками на нечітких множинах на основі функцій належності у вигляді:

– $A = \{\mu_A(x) | \forall x \in X\}$ – нечітка множина;

– $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ – функція належності.

Властивості характерні для моделей ІАСУ:

– $\forall (x_1, x_2) \in X : \mu_A(x_1) \langle \mu_A(x_2) \xrightarrow{Rang} x_2 \rangle x_1$;

– $\forall (x_1, x_2) \in X : \mu_A(x_1) \langle \mu_A(x_2) \xrightarrow{I_d} x_2 \rangle x_1$;

– $\mu : \langle X, S_1, S_2, \dots, S_n \rangle \rightarrow \langle [0, 1], T_1, \dots, T_n \rangle$.

При цьому; $Rang$ – порядок пріоритетів; I_d – оператор індиферентності (байдужості); $S = \prod_{i=1}^n S_i \neq \emptyset$ – розбиття множини X ; $\{T_i\}_{i=1}^n$ – розбиття інтервалу належності. В якості моделей агрегування при представленні критеріїв взаємозв'язків між рівнями ієрархії застосовують процедури з використанням нечітких множин. Правила агрегування функцій належності будуються на основі наступних моделей і процедур:

– агрегування на основі оператора мінімуму:

$$H_1 : \mu_\theta = \min(\mu_i), (A_1, \dots, A_n) \subset \theta \subset X, \quad (2)$$

де X – простір нечітких станів:

– агрегування на основі оператора максимуму:

$$H_2 : \mu_\theta = \max(\mu_i); \quad (3)$$

– агрегування на основі оператора вагового об'єднання функцій належності:

$$H_3 : \mu_\theta = (\prod_{i=1}^m \mu_i \cdot \delta_i). \quad (4)$$

Співвідношення (4) – це геометрична модель.

$$H_4 : \mu_\theta = (\prod_{i=1}^m \mu_i \cdot \delta_i)^{1-\gamma} \times (1 - \prod_{i=1}^m (1 - \mu_i) \delta_i)^\gamma. \quad (5)$$

Співвідношення (5) – це арифметична модель.

Розглянемо моделі поточних дій при умові виконання в реальному часі вимог технологічного процесу в режимі оперативного управління:

$$\forall \zeta : H_L[\varphi(\zeta_j, t) \in \Phi_j^d] \wedge \forall \zeta : H_L[\omega(\zeta_j, t) \in \Omega_d] \Rightarrow \gamma_{l,k}, \quad (6)$$

де ζ – параметр технологічної оперативної дії;
 $H_L[]$ – логічний предикат представлення ситуації;
 $\varphi()$ – функція параметра (l, k) ;
 $\Phi_j^d()$ – режим операційної дії;
 ω, Ω – множини параметрів попереднього стану.

Операція може виконуватись при наявності U_i , тоді дія $L_{l,k}$ при наявних ресурсах справджується на основі виконання співвідношення:

$$\forall_n: H_L[P_{rn} \wedge 0]; H_L[\alpha_{l,k}] \wedge H_L[U_l] \Rightarrow \beta_i. \quad (7)$$

Тоді

$$\{\forall_n: H_L[P_{rn} \wedge 0], \exists U_i P_{rn}[U_i, t_i] \neq 0\} \Rightarrow \alpha_{l,k,n}. \quad (8)$$

Співвідношення (8) – це умова виконання дії з інтенсивністю α .

Кінцевим результатом сітки послідовних дій є реалізація цільового завдання від початкового стану до кінця на основі відповідної інформації. В ІАСУ є три стандарти обчислювано-інформаційної компоненти: дані, знання (правила, процедури, ...) і механізми виводу [5, 6].

Знання в системі групуються на понятійні та предметні. Предметні знання є об'єктно-орієнтованими та відображають структуру і характеристики блоків та елементів ІАСУ [7]. Формою накопичення предметних знань є база даних, яка відображає ситуаційну модель ІАСУ. Правила з бази знань характеризуються програмою (алгоритмом) на основі правила продукції типу оператора [8]:

$$\left[\frac{\text{Якщо}}{\text{умова}} \right] \Rightarrow \left[\frac{\text{То}}{\text{дія}} \right], \quad (9)$$

при цьому правило (9) виконується, якщо виконані всі умови для реалізації дії.

Механізмами логічного виводу в системі управління для третьої компоненти інтелектуальної діяльності зазвичай виступають інтерпретатори правил продукції. Опис операцій в цьому випадку відображається, як правила продукції, реалізацією яких є послідовні дії системи. В ці правила закладають знання про стратегії дій, умови їх можливих реалізацій та алгоритми дій [9].

Виділяють два способи представлення задач управління в ІАСУ:

- планування в просторі станів системи (система продукції);
- планування в просторі задач (система редукцій).

В системі продукцій простір пошуку рішення представляється у вигляді направленою локально-скінченною графу $g = (X, \Gamma)$, де вершина X проектується в простір станів системи $\{X_i\} \rightarrow PS_{DS}$, а ребра $\{r_i\}$ відображають досягнення координат стану X . Процедура розв'язання зводиться до знаходження мінімального шляху на графі g в напрямку від початкової до цільової координати на основі побудованого маршруту в результаті виконання послідовності дій. Наведемо типи графів дій на рис. 2.

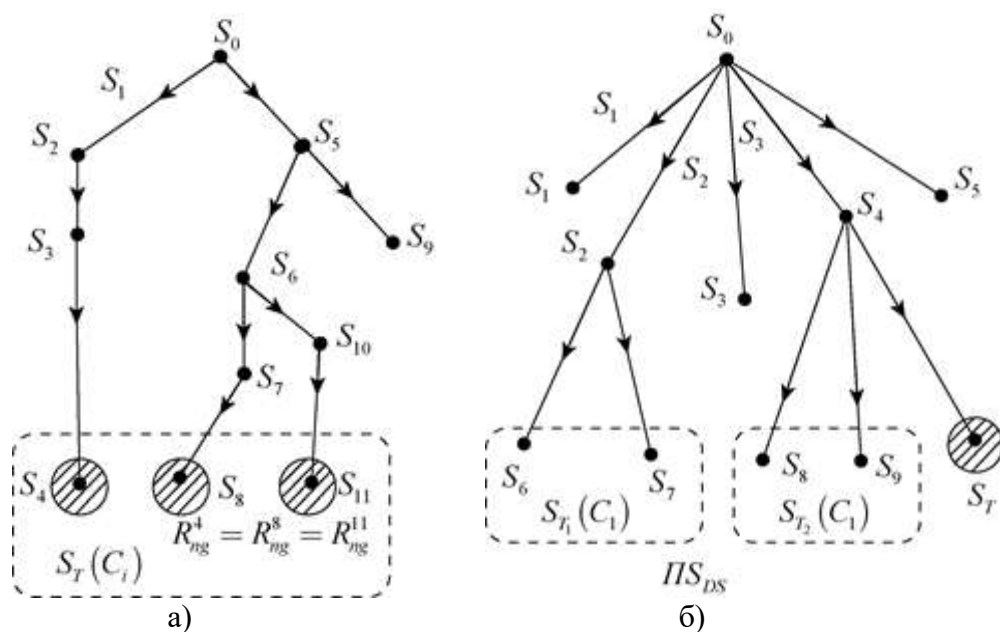


Рисунок 2 – Логічна структура графів дій: а) граф дії типу $(\dot{U})$; б) Граф дії типу $(\dot{U}/U)$

В системі редукції процес розв'язання задачі прийняття рішень полягає в декомпозиції вихідної задачі переводу системи з початкового стану в цільову систему підзадач до того рівня коли відомі аналогії їх розв'язання. Процедура декомпозиції наведена на рис. 3.

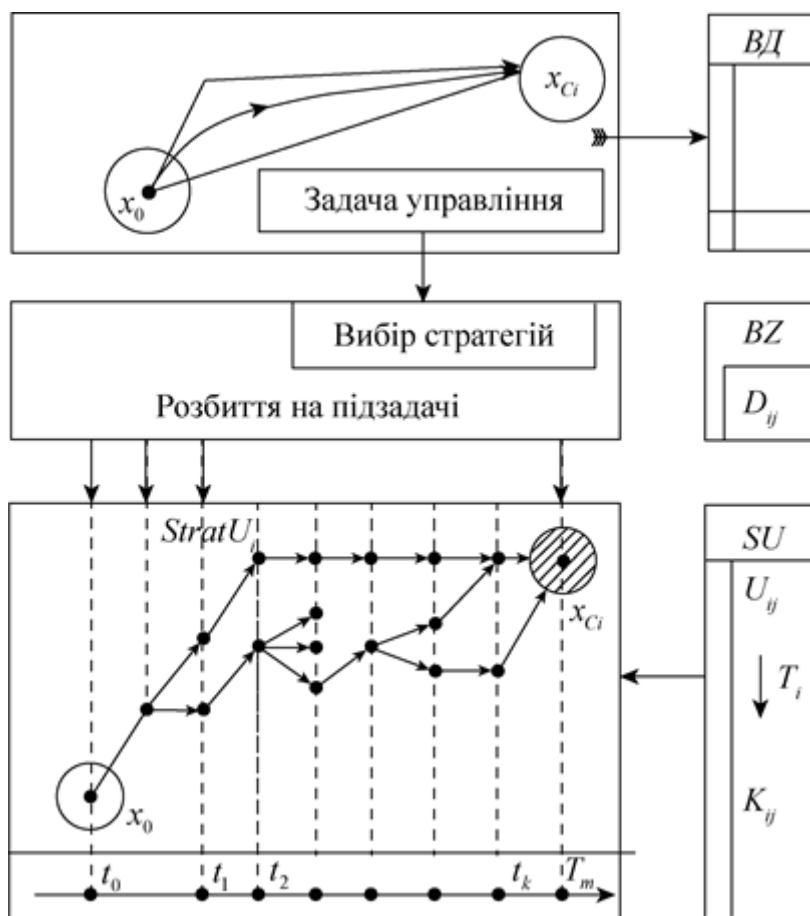


Рисунок 3 – Процедура декомпозиції вихідної задачі на акти дій

Для розв'язання задачі пошуку шляху на графі можна використати методи:
– метод прямої хвилі:

$$\exists g_i, \exists A \lg U_r^g (X_0 \rightarrow X_{ci});$$

де U_r^g – управління на графі g ;

$Strat U_n(g_i)$ – стратегія пошуку на графі;

– метод зворотної хвилі: $\exists Strat U_n(g_i) : (X_{ci} \rightarrow X_0)$.

Система управління побудови сітки дій на g повинна перевіряти при цьому умови виконання (операція $\leftrightarrow$ дія) на ресурсне і інформаційне забезпечення:

$$\left\{ \exists \Omega_l = (\Omega_l^1 \wedge \Omega_l^2 \dots \Omega_l^4), \left| \hat{\Omega}_l \right| > 0 \right\} \Rightarrow \left(\exists Strat U (C_i / \Omega_l) : X_i \xrightarrow{\rho_{ij}} X_i \right). \quad (10)$$

Ланцюги прийняття рішень формуються відповідно на пріоритетних правилах з адитивною і мультиплікативною структурою:

$$PR_A = \sum_{i=1}^n W_i PR_i \quad (11)$$

$$PR_M = \prod_{i=1}^n (W_i PR_i) \equiv \{ PR_1 \xrightarrow{W_1} PR_2 \xrightarrow{W_2} \dots \xrightarrow{W_{n-1}} PR_n \}, \quad (12)$$

де W_i – вагова функція.

Вибір комбінацій пріоритетних правил формування ланцюга рішень і відповідних йому дій будується на основі схеми поданої на рис. 4.

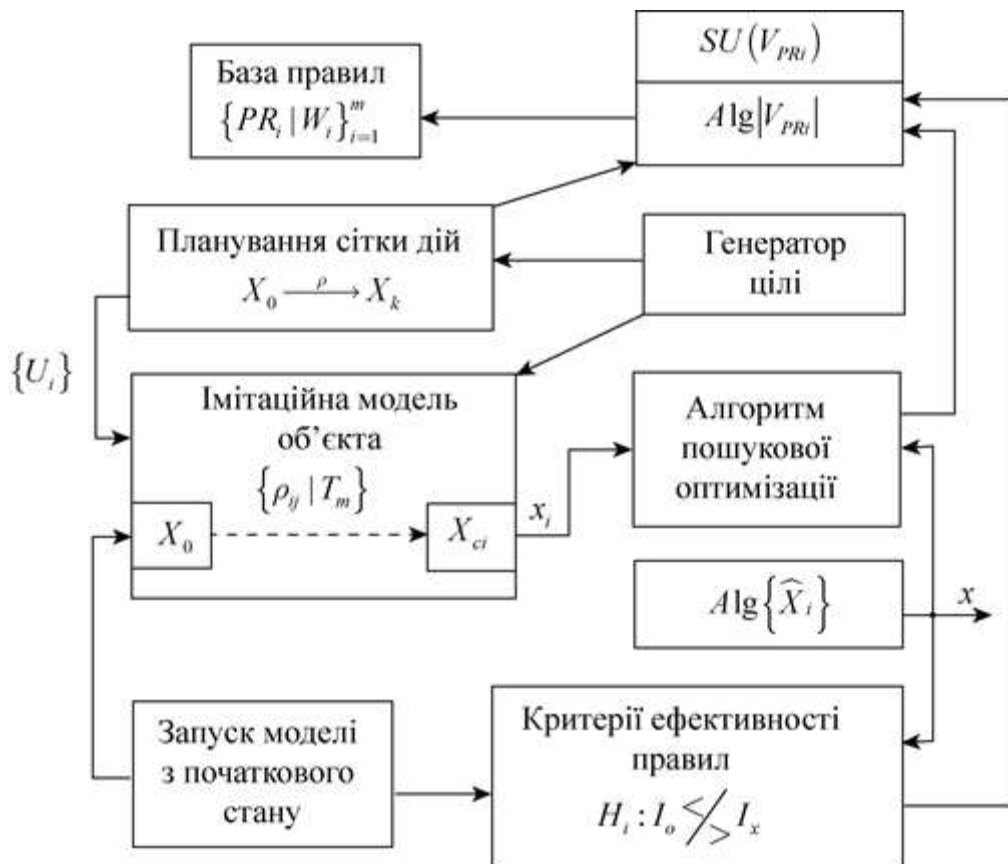


Рисунок 4 – Схема перевірки ефективності вибору правил пріоритетів при прийнятті рішень

Автоматизовані людино-машинні системи вимагають для свого функціонування додаткових координуючих структур в ієрархії управління диспетчерської служби оперативного управління ходом технологічних процесів в умовах нормального і аварійного режимів [10].

Функціональна схема такої інтегрованої системи наведена на рис. 5.

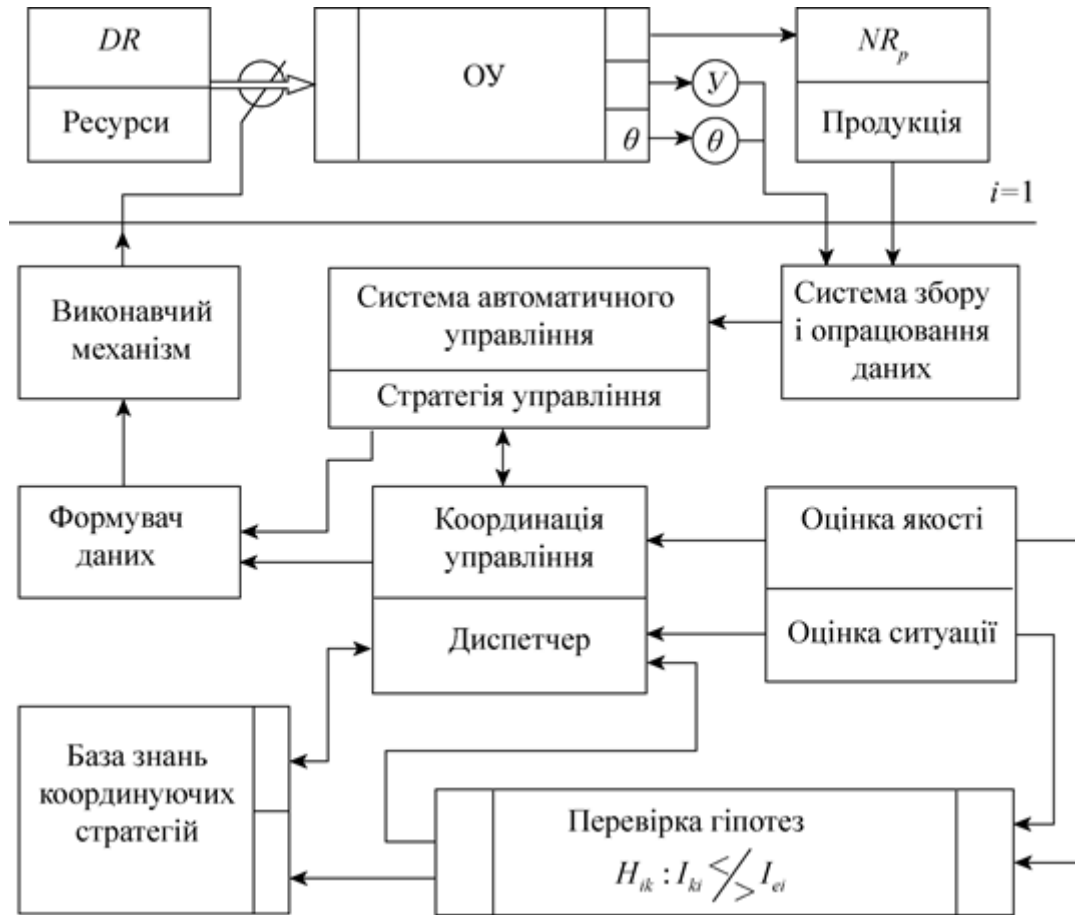


Рисунок 5 – Структурна схема координуючого управління з диспетчером

Інформаційна модель оперативного управління ІАСУ ґрунтується:

– на основі вхідного потоку даних одержаних ІВС і оператора формується представлення поточного стану системи в момент часу $t + \Delta t_1$: $S(t + \Delta t_1) = W[S(t), \vec{X}, \vec{U}, \Delta t]$ та вихідного сигналу про динаміку процесу $Y_1(t + \Delta t_1) = \Psi(\vec{X}, \vec{U}(t, \theta, \zeta), \Delta t)$;

– на основі потоку даних $D_i(s(t_i + \tau), Y_i(t + \tau))$ в ІВС формується образ траєкторії поведінки системи згідно стратегії управління і плану PL

$$\begin{aligned} \{D_{i-1}^k(\vec{X}, \vec{Y}, \vec{S})\} &\rightarrow \text{AlgFO}_{\bullet} \rightarrow \{\Pi_i(S_{it}/C_i)\}_{i=1}^n \\ \{Strat^n(U_i/C_i)\}_{i=1}^n &\rightarrow \text{AlgFO}_{\bullet} \rightarrow \{\zeta(t_i) | P_i \geq 0\} \\ \{PL^n(Z_i/C_i)\}_{i=1}^n &\rightarrow \text{AlgFO}_{\bullet} \end{aligned} \quad (13)$$

згідно календарного часу T_k і термінального часу (T) управління.

Потік даних про ситуацію на вхід управляючого процесора для перевірки гіпотез про траєкторію руху системи згідно цільового плану:

$$H_{i1} : \left\{ trend \left| \hat{Z}_s(t_j, \tau) \right| \subset V_{ci}(trend Z_s^E(T_m)) \right\} \Rightarrow (U_1, K_{1i}); \quad (14)$$

$$H_{i2} : \left\{ trend \left| \hat{Z}_s(t_j, \tau) \right| \not\subset V_{ci}(trend Z_s^E(T_m)) \right\} \Rightarrow (U_2, K_{2i}); \quad (15)$$

де $V_{ci}()$ – цільова область руху системи.

Образна інформація про динамічну ситуацію передається за рахунок зорових сенсорів оператору, який згідно цільових завдань і плану професійної предметно-орієнтованої діяльності формує координацію управління [11]:

$$\begin{array}{l} \text{Alg}\{Strat(K_u|C_i, PL^n)\} \\ \left\{ \begin{array}{l} gStrat(U/C_i) \\ LStrat(U/C_i) \\ LTakt(U_k/C_i) \end{array} \right\} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} H_{1i} : SitD_s^{T_m}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[E\,sit]; \\ H_{2i} : SitD_s^{T_m}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[K_\Delta\,sit]; \\ H_{3i} : SitD_s^{T_m}(\vec{X}, \vec{Y}|t) \in KL[A\,sit]; \end{array} \right. \quad (17)$$

$$\boxed{\text{Alg}_{Syn} K_u \{H_{1i}, H_{2i}, H_{3i}\} \rightarrow Koor(Strat(U/C_i))}$$

де $Sit D_s^{T_m}(\vec{X}, \vec{Y}|t)$ – динамічна ситуація в системі по оцінках вхідних і вихідних сигналів в момент часу $t \in T_m$ відносно терміну функціонування;

K_u – координаційне управління оператора;

$KL[E\,sit]$ – клас еталонних ситуацій;

$KL[K_\Delta\,sit]$ – клас ситуацій, що вимагає командної корекції;

$KL[A\,sit]$ – клас передаварійних і аварійних ситуацій;

$Alg_{Syn} K_u \{ \}$ – алгоритм синтезу координаційної стратегії управління $Koor(Strat(U/C_i))$.

Виконавчий орган згідно управлінь сформованих на основі процедури перевірки гіпотез $\{H_{1i}, H_{2i}, H_{3i}\}$ виконує керуючу дію на режим і потік об'єкта. Оператор вносить корективи в блок процесора координації планів, а також може виконати ручне управління виконавчим механізмом.

В оперативному управлінні можливі два режими (стратегії) управління функціями ІАСУ [12] (рис. 6):

– слідкуючий режим за рухом системи по заданій траєкторії згідно календарного плану і цілеорієнтації;

– адаптивно-оптимізаційне коригування планів у випадку загроз і протидій, що викликають необхідність зміни поведінки для забезпечення гарантованого досягнення цільової області.

При цьому достатність оперативного диспетчерського управління визначається рівнем інтелектуальних рішень і ресурсами, які забезпечують координаційні дії на компенсацію збурень і загроз в ІАСУ.

Алгоритмічність управління означає можливість (здатність інтелекту) побудови оператором алгоритмів і процедур вибору адекватної стратегії дій на основі достатньої інформації одержаної з допомогою ІВС від об'єкта її опрацювання у вигляді образної моделі динамічної ситуації в системі.

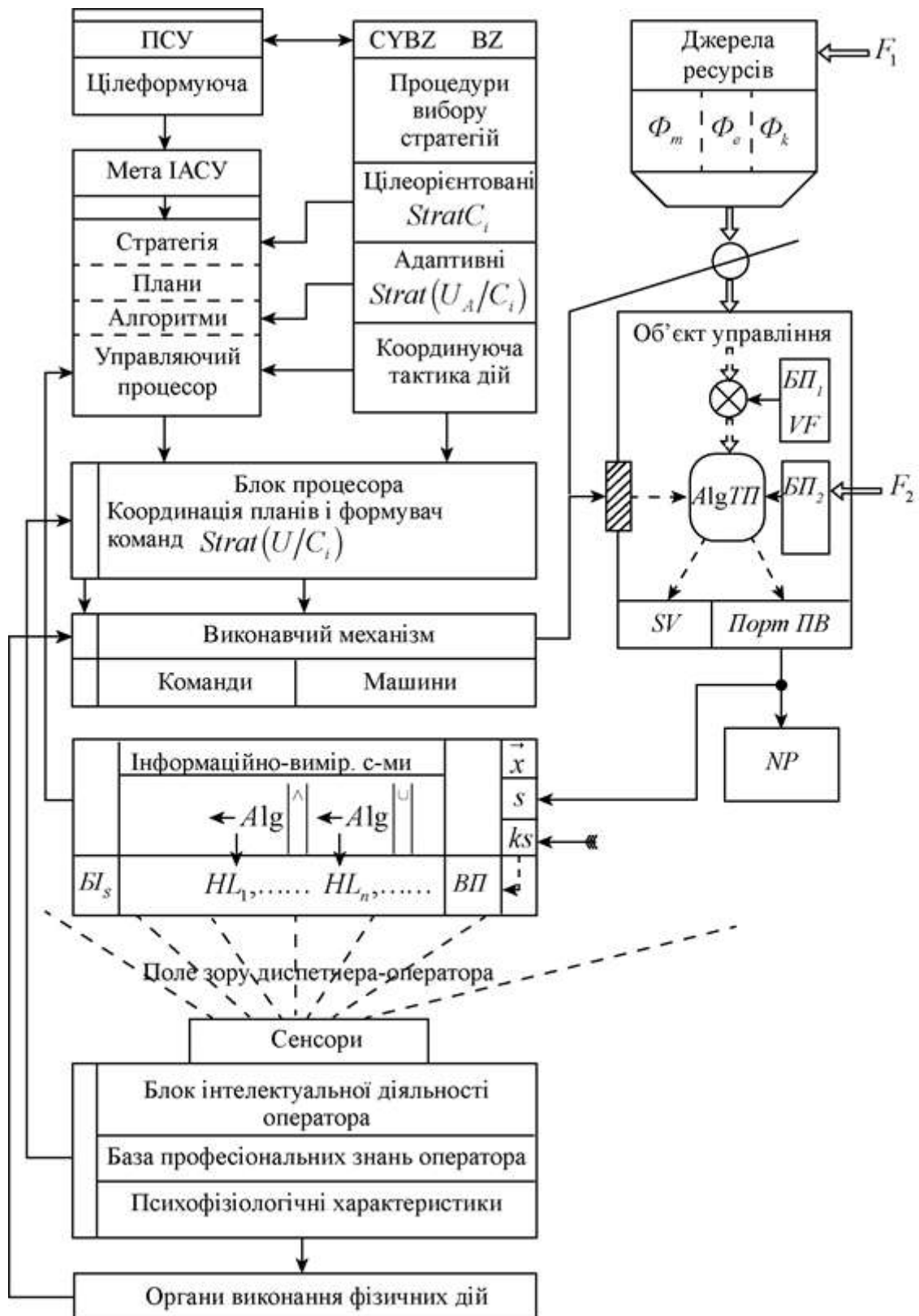


Рисунок 6 – Функціональна схема координуючого оперативного управління

Алгоритмізація управління включає [13]:

- відбір даних різного роду;
- виявлення і оцінка параметрів T, P ;
- ідентифікація траєкторій стану;
- верифікація і розпізнавання класу загроз;
- формування, розпізнавання, класифікація образів динамічних ситуацій;
- побудова процедур вибору алгоритмів формування управляючих дій і команд;

– оцінка руху системи відносно планових завдань на термінальному і календарному інтервалах часу;

- оцінка втрат при ризикованих рішеннях.
- Вибір траєкторій руху до цілі системи ґрунтується на:
 - наявності схеми, карти технологічного руху;
 - процедури і моделі прийняття цільових рішень;
 - забезпечення конструктивної інформації;
 - забезпечення засобами аналізу і опрацювання ситуаційних даних.

Вимога несуперечності прийняття рішень оператором ґрунтується на [14]:

- рівні профорієнтації і знань;
- відповідному до задач рівні інтелекту;
- здатності забезпечити нейрофізіологічну і психологічну стійкість;
- швидка орієнтація в ситуації і побудова адекватних її моделей прийняття рішень і поведінкових дій;
- аналізі причинно-наслідкових зв'язків, що провокуються змінами в системі дії збурень і загроз;
- динамічному прогнозі змін ситуації.

Для формування вимог до оператора відносно інтелекту і психофізіологічних властивостей необхідно сформулювати класи цільових функцій, як по управлінню траєкторним рухом системи, так і функціоналом якості управління.

$$1. P_{ij}^A \left(H_i: trend \mid \hat{Z}_s(t \in T_m) \subset V_c(Z_s^E(T_k)) \right) \leq 1; \quad (18)$$

$$2. F_j(C_s/U_{Ti}) = \sum_{s=1}^m E_i - \sum_{r=1}^m W_i R(\zeta, U/t \in T_m); \quad (19)$$

$$3. I_i (Strat U_i/C_s) \geq I(PL_u(T_k)), \quad (20)$$

де $I()$ – функціонали якості;

$F_j()$ – цільова функція реалізована i -м оператором;

P_{ij}^A – імовірність реалізації оператором A цільової задачі управління.

Висновки

В результаті виконаних в роботі досліджень, які базуються на математичних моделях використання сіток Петрі, як складових компонентів процедур при формуванні стратегій на основі інформаційних концепцій прийняття цільових рішень, є ефективним методом забезпечення стійкості та стабільності роботи системи в умовах потенційних ризиків та загроз. Практична реалізація та використання таких моделей, при побудові структури прийняття рішень для ієрархічних автоматизованих систем управління, забезпечує можливість аналізу, класифікації та опрацювання вхідних та вихідних задач в реальному часі, вирішуючи їх автономно або звертаючи на них увагу оператора, який наглядає за процесом роботи системи.

Запропонована в роботі концепція вибору моделей стратегій дій для оператора, який приймає рішення в кризових ситуаціях добре себе зарекомендувала для проблемно-орієнтованих систем, ієрархічних техногенних структур в умовах дії загроз та негативних факторів на систему управління. Розроблена інформаційна технологія на основі наведеної функціональної схеми координуючого оперативного управління також може бути використана для поліграфічних підприємств зі складною ієрархічною структурою і організацією управління.

Список літератури.

1. Сікора, Л. С. (1998). Системологія прийняття рішень на управління в складних технологічних структурах. Каменяр.
2. Бобало, Ю. Я., Горбатий, І.В., & Бондарев, А. П. (2019). Інформаційна безпека. Львівський політехнічний університет.
3. Хорошко, В. О., Брайловський, М. М., & Капустян, М. М. (2023). Багатокритеріальна оцінка правильності прийняття рішень у задачах інформаційної безпеки. Міжнародний науковий журнал "Комп'ютерні системи та інформаційні технології".
4. Sabat, V., Durnyak, B., Kulylnych, M., Lozynskyi, Yu., & Hibey, P. (2024). Decision-making support of emergency risk identification in complex hierarchical control systems. ICyberPhyS-2024. (p. 223–238). <https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper17.pdf>. ISSN 16130073.
5. Kobozeva, A. A., Machalin, A. A., & Khoroshko, V. O. (2010). Security analysis of information systems. DUIKT.
6. Vasylenko, V. O., & Shostka, V.T. (2003). Situational management. KTSUL.
7. Vertuzhev, M. S., & Yurchenko, O.M. (2001). Protection of information in computer systems against unauthorized access. European university.
8. Boolos, J., & Jeffrey, R. (1994). Computability and logic. Mir.
9. Hrytsunov, O. V. (2010). Information systems and technologies: teaching manual for students studying "Transport technology". KhNAMG.
10. Sergienko, I. V. (1985). Mathematical models and methods of solving discrete optimization problems. Naukova dumka.
11. Androshchuk, G. A., & Krainev, P. P. (2000). Economic security of the enterprise: protection of trade secrets. In Yure.
12. Tymchenko, A. A. (2000). Fundamentals of system design and system analysis of complex objects. Lybid.
13. Ushakova, I. O., Plekhanova, G.O. (2009). Information systems and technologies at the enterprise. Ed. Khneu.
14. Durnyak, B. V., Sikora, L.S., Sabat, V. I., & Kuhot, V. O. (2023). Analysis of authority management systems in automated document management systems. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія. (с. 5-20). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».

МОБІЛЬНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ХВОРОБ РОСЛИН НА ОСНОВІ ЗОБРАЖЕНЬ

Лиса Н.К.

д.т.н., доцент, кафедра автоматизовані системи управління, Національний
університет «Львівська політехніка»

Шамановський Б.В.

аспірант, кафедра прикладної математики, Національний університет
«Львівська політехніка»

Щербина А.Е.

студент, кафедра автоматизовані системи управління, Національний
університет «Львівська політехніка»

***Анотація.** Робота присвячена розробці мобільних засобів розпізнавання хвороб рослин на основі зображень. Запропоноване рішення дозволяє своєчасно та точно ідентифікувати захворювання рослин за допомогою камер смартфона. Система призначена для фермерів, дослідників і широкої громадськості. Розглянуто особливості його проектування та реалізації. Мобільний додаток є зручним і доступним інструментом для мінімізації втрат врожаю та підтримки зусиль у сфері продовольчої безпеки.*

***Ключові слова:** РОЗПІЗНАВАННЯ ХВОРОБ РОСЛИН, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК, ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗА ФОТО, МАШИННЕ НАВЧАННЯ.*

Вступ

Сучасне сільське та лісове господарство часто стикається з масштабними проблемами, пов'язаними із вірусними захворюваннями рослин, які призводять до значних економічних втрат та загострюють питання глобальної продовольчої безпеки. З огляду на активне впровадження біотехнологій, біологічна безпека дедалі більше набуває ваги як складова національної безпеки. Проте, на сьогоднішній день проблема поширення нових штамів та стійких форм фітовірусів, особливо в агросекторі України, залишається недостатньо вивченою [1].

Забезпечення ефективного захисту рослин від вірусних інфекцій неможливе без своєчасної діагностики, проведення комплексу профілактичних заходів, що включають виявлення переносників фітовірусів, ідентифікацію рослин-резерваторів, вирощування стійких сортів, а також використання оздоровленого насіннєвого та садивного матеріалу.

У роботі [2] у контексті сучасної фітопатології важливу роль відіграє дослідження молекулярних основ взаємодії вірусу з організмом рослини-господаря. Знання таких механізмів не лише сприяє кращому розумінню патогенезу, а й слугує основою для створення новітніх методів профілактики та терапії вірусних хвороб.

Вивчення генетичної варіабельності вірусів та аналіз тенденцій їх розповсюдження дає змогу формувати прогностичні моделі, що враховують зміни у вірулентності, визначають еволюційні зв'язки між різними штамми, оцінюють ризики появи нових агресивних форм та моделюють потенційні шляхи поширення. Особливу увагу варто звертати на природні резервуари збудників, які можуть зберігатися у воді, ґрунті або на поверхні рослин, створюючи сприятливі умови для подальшого інфікування культурних видів.

Мета та задачі дослідження

Метою представленої роботи є створення мобільного інструменту для розпізнавання захворювань рослин за допомогою зображень, що дозволить оперативно виявляти симптоми хвороб та рекомендувати дії для їх контролю. Основними завданнями такого рішення є:

- зменшення втрат урожаю завдяки точній та швидкій діагностиці хвороб;
- сприяння покращенню продовольчої безпеки шляхом стримування поширення захворювань;
- забезпечення широкого доступу до технології через мобільні пристрої.
- проведення системного моніторингу рівня вразливості різних видів культурних рослин до патогенів, що дозволяє оцінити ризики ураження на етапі планування агротехнічних заходів;
- вивчення та оцінювання технічних засобів і цифрових технологій, які використовуються для запобігання економічним втратам, що виникають внаслідок розповсюдження захворювань серед сільськогосподарських рослин;
- аналіз аспектів економічної безпеки агропідприємств через призму впливу фітопатогенів, які, маючи високу руйнівну здатність, можуть спричинити суттєве зниження врожайності та фінансову нестабільність господарств, впливаючи при цьому і на продовольчу безпеку країни;
- розробка та впровадження програмно-алгоритмічних рішень, здатних автоматизовано виявляти ознаки хвороб на ранніх стадіях розвитку, що значно підвищує шанси на успішне лікування або ізоляцію уражених рослин;
- критичний аналіз наявних мобільних застосунків і програмного забезпечення, орієнтованого на ідентифікацію захворювань рослин за зображенням, із метою виявлення їх ефективності, точності та доцільності використання у практиці фермерських господарств.

Основна частина

Наукова новизна запропонована у роботі [3] модель і мобільні засоби для розпізнавання хвороб рослин на основі обробки зображень становлять собою інноваційний підхід до підвищення ефективності управління фітосанітарним станом агроєкосистем. Результати дослідження мають як теоретичну, так і прикладну цінність, а новизна полягає у таких положеннях:

– розроблено прототип мобільного застосунку, що дозволяє здійснювати оперативне визначення ознак хвороб рослин у польових умовах без необхідності залучення лабораторного обладнання або спеціалізованої підготовки користувача. Це відкриває широкі можливості для інтеграції технології у практику фермерських господарств та приватного землекористування;

– реалізовано підхід до раннього виявлення захворювань, який базується на аналізі візуальних ознак, зафіксованих у зображеннях. Своєчасна діагностика патологій рослин на початкових стадіях дозволяє запобігати поширенню хвороб, зменшити втрати врожаю та мінімізувати витрати на захисні заходи;

– запропонована модель сприяє оптимізації аграрних процесів, забезпечуючи точну і локалізовану діагностику. Такий підхід дозволяє знизити обсяги застосування пестицидів, тим самим зменшуючи негативний вплив на довкілля та покращуючи екологічну безпеку виробництва;

– модель та інструментарій спрямовані на підтримку продовольчої безпеки, оскільки зниження втрат урожаю внаслідок фітопатогенних уражень напрямку пов'язане з ефективністю технологій моніторингу та своєчасного реагування на фітосанітарні загрози.

Серед сучасних виробників сільськогосподарської продукції зростає зацікавленість у впровадженні автоматизованих рішень для управління агровиробництвом. Одним із ключових напрямів є автоматизоване візуальне розпізнавання стану сільськогосподарських культур, яке дозволяє підвищити точність оцінки фітосанітарного стану рослин та суттєво скоротити витрати, пов'язані з ручною працею. Особливо актуальною ця проблема є у сфері виявлення хвороб зернових культур на ранніх етапах розвитку. Візуальний огляд значної кількості рослин вручну потребує великих людських ресурсів, що в умовах польових робіт є малоефективним та економічно невиправданим [4].

Для невеликих аграрних господарств критичною є потреба у доступних і зрозумілих методичних матеріалах щодо впровадження, експлуатації та адаптації сучасних технологій комп'ютерного зору до потреб сільського господарства. Однак, через складність деяких проявів хвороб, не завжди вдається точно виявити патологічні зміни візуально, що створює передумови для створення автоматизованих інформаційних систем, здатних аналізувати зображення та визначати наявність уражень у режимі реального часу.

З огляду на ці виклики, доцільним є впровадження програмно-апаратних рішень, які здатні на основі змін кольору листя і структури рослин ідентифікувати ознаки захворювання ще до появи явних симптомів. Такі системи можуть відігравати важливу роль у запобіганні втратам врожаю, забезпечуючи аграріям своєчасну інформацію для прийняття управлінських рішень, а також сприяти підвищенню економічної безпеки фермерських господарств.

Зважаючи на те, що хвороби рослин – явище неминуче, ключовим фактором є своєчасне їх виявлення. Застосування сучасних інформаційних технологій, зокрема веб-застосунків або мобільних додатків, дозволяє зменшити ризики, виявляючи ознаки ураження на ранніх стадіях [5].

Наприклад, зображення ураженого листя (рис. 1) може бути завантажене в мобільний застосунок, який ідентифікує хворобу – наприклад, буру плямистість (кладоспоріоз) томатів, що часто поширюється за умов підвищеної вологості та тепла.



Рисунок 1 – Листок томата з ознаками бурої плямистості

Розвиток бурої плямистості томатів (*Cladosporium fulvum*) значною мірою залежить від сприятливих кліматичних умов, зокрема підвищеної температури повітря та високої відносної вологості. Збудник захворювання уражає листковий апарат, поширюючись з нижніх ярусів рослини догори, що в підсумку може призвести до повної втрати фотосинтезуючої поверхні. У зв'язку з цим особливої важливості набуває своєчасне виявлення патології на початковій стадії її розвитку [6].

Для обмеження поширення кладоспоріозу доцільно застосовувати комплекс агротехнічних заходів, таких як контроль мікрокліматичних параметрів у теплицях (регулювання вологості та температури), оптимізація вентиляційного режиму, своєчасне видалення та утилізація уражених частин рослин. Додатково до профілактичних заходів рекомендовано проводити фунгіцидну обробку культур із метою запобігання подальшій ескалації інфекції.

У межах розробленої мобільної системи розпізнавання хвороб, після збереження зображення рослини у відповідний каталог, користувач переходить до розділу аналізу збережених екземплярів. На цьому етапі здійснюється автоматичне виявлення візуальних ознак ураження на основі специфічних параметрів: зміни кольорової гами листя, морфологічних особливостей структури листової пластинки тощо. Результати ідентифікації зберігаються у відповідному розділі «Історія» (рис. 2), що забезпечує можливість відстеження динаміки захворювання та формування історії спостережень для кожної окремої рослини.

Алгоритм функціонування мобільного комплексу діагностики фітопатологій.

Розроблений мобільний діагностичний комплекс базується на поєднанні технічних засобів виявлення візуальних ознак захворювань рослин з алгоритмами обробки зображень у реальному часі. Алгоритм його функціонування передбачає такі основні етапи.

1. Навігація пересувної платформи, яка, отримуючи сигнал від вбудованого мікроконтролера або управляючого модуля, виконує переміщення за заздалегідь визначеним маршрутом, що забезпечує систематичне охоплення ділянки агровиробництва.

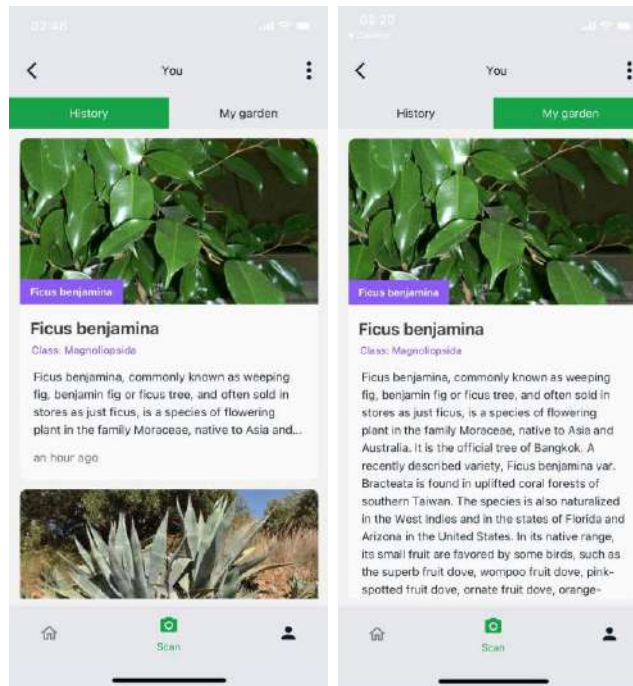


Рисунок 2 – Сторінка “Історія”, сторінка Мій сад”

2. Формування відеопотоку за допомогою камери високої роздільної здатності, встановленої на платформі. Отримані зображення у режимі реального часу надходять до обчислювального модуля для подальшої аналітичної обробки.

3. Ідентифікація симптомів фітозахворювань здійснюється шляхом застосування алгоритмів машинного навчання, що дозволяє з високою точністю виявляти ознаки ураження листя, зокрема зміни кольору, структури поверхні, появу плям чи некрозу.

4. Оцінка ступеня ураження реалізується за допомогою визначення кількісних характеристик (площа ураження, кількість пошкоджених елементів), що дозволяє провести диференційовану класифікацію рослин за рівнем пошкодження.

5. Виведення діагностичних результатів у вигляді автоматизованих висновків щодо стану культур. Результати можуть інтегруватися у систему історичного моніторингу та подальшого прогнозування розвитку ситуації [7].

Ключовою перевагою цього підходу є можливість візуального контролю стану посівів без участі людини, що суттєво знижує витрати часу і ресурсів, а також забезпечує екологічну безпеку завдяки зменшенню потреби у масовому використанні пестицидів.

Особливої актуальності розробка набуває для великих агропідприємств, де традиційне спостереження за кожною окремою рослиною є економічно недоцільним і технічно складним. Автоматизована система дозволяє здійснювати оперативне виявлення патогенних процесів, реагувати на загрози ще до появи видимих наслідків, зберігаючи при цьому рентабельність виробництва та біорізноманіття сільськогосподарських угідь.

Математичні моделі та методи

У межах системи автоматизованого розпізнавання стану рослин важливим аспектом є ефективне застосування математичних моделей і методів машинного зору для класифікації рослин за зображеннями квітів і листя. Розглянемо ключові етапи такого аналізу.

1. Попередня обробка зображень.

Цей етап забезпечує покращення якості вхідних даних для подальшого аналізу. До основних методів належать:

- фільтрація зображень, зокрема використання гауссівських і медіанних фільтрів для зменшення шумів;
- сегментація, що передбачає виділення об'єктів інтересу (наприклад, листя або квітів) із фону. Застосовуються методи порогової обробки, алгоритми кластеризації (наприклад, метод k-середніх), а також методи на основі регіонів;
- нормалізація, яка спрямована на уніфікацію яскравості та контрасту зображень з метою досягнення однорідності серед зразків.

2. Вилучення ознак.

На цьому етапі зображення перетворюється у набір числових характеристик для подальшої класифікації:

- кольорові ознаки: гістограми кольору, середні значення каналів, статистичні моменти розподілу кольору;
- текстурні ознаки: матриці співвідношень сірого рівня (GLCM), локальні бінарні шаблони (LBP), вейвлет-перетворення;
- геометричні ознаки: контури об'єктів, моменти X_y , фрактальна розмірність;
- ознаки, отримані за допомогою згорткових нейронних мереж (CNN), які автоматично формуються в процесі навчання, наприклад, з використанням моделей ResNet, VGG та інших.

3. Методи класифікації.

Для класифікації зображень застосовуються алгоритми машинного навчання:

- метод опорних векторів (SVM) – ефективний для високовимірних даних;
- дерева рішень та випадкові ліси (Random Forest) – характеризуються високою стійкістю до шуму та перенавчання [8];
- метод k-найближчих сусідів (k-NN) – простий та ефективний для невеликих вибірок;
- глибокі згорткові нейронні мережі (CNN) – дозволяють досягти високої точності класифікації завдяки багаторівневому вилученню ознак.

4. Оцінювання ефективності моделей.

Для перевірки якості роботи алгоритмів застосовуються такі метрики:

- точність (accuracy), повнота (recall), F1-міра;
- матриця невідповідностей (confusion matrix) для аналізу помилок класифікації;
- крос-валідація, яка дозволяє оцінити узагальнювальну здатність моделей на різних підмножинах даних;

- візуалізація результатів класифікації, що допомагає ідентифікувати проблемні класи або невизначеність між категоріями.

5. Математичні засади методів.

У процесі реалізації описаних етапів задіяні такі математичні дисципліни:

- лінійна алгебра – для представлення зображень у вигляді матриць та трансформацій ознак;
- теорія ймовірностей і математична статистика – для аналізу розподілів ознак і статистичної оцінки ефективності;
- математичний аналіз – для реалізації вейвлет-перетворень та обробки сигналів;
- методи машинного та глибокого навчання – як основа для побудови та оптимізації моделей класифікації.

Використання лінійної алгебри та методів комп'ютерного зору в задачах розпізнавання рослин.

У роботі [9] описано, що сучасні системи автоматичного розпізнавання стану рослин активно використовують математичні методи, зокрема – лінійну алгебру та комп'ютерне бачення. Такі підходи дозволяють вирішувати важливі завдання в аграрній сфері, зокрема: розпізнавання хвороб рослин за зображеннями листя, класифікація видів рослин за зображеннями квітів і листя, моніторинг росту та розвитку культур, визначення сортності сільськогосподарських культур. Задача розпізнавання рослинних об'єктів є складною, оскільки вимагає точного аналізу візуальних ознак. Для цього використовуються сучасні підходи машинного і глибокого навчання, які дають змогу досягти високих результатів.

1. Зображення як матриця. У цифровому вигляді зображення представляється у формі матриці, де кожен елемент відповідає пікселю з певним кольоровим значенням. Наприклад, у зображеннях у форматі RGB кожен піксель має три значення: інтенсивність червоного, зеленого та синього кольору. Такий формат дозволяє застосовувати до зображень різноманітні операції лінійної алгебри.

2. Основні математичні операції. Під час обробки зображень активно використовуються такі операції: додавання, віднімання матриць – застосовуються для регулювання яскравості та контрастності; матричне множення – використовується під час згортки з фільтрами, яка дозволяє виявити контури, текстуру або інші важливі ознаки. Транспонування матриць – використовується, зокрема, для зміни орієнтації зображення. Сингулярне розкладання (SVD) – допомагає зменшити розмірність даних та виокремити ключові компоненти. Власні значення та власні вектори – застосовуються для аналізу структурних характеристик зображення [10].

3. Згортка та нейронні мережі. Операція згортки – це одна з найважливіших у системах комп'ютерного зору, особливо в згорткових нейронних мережах (CNN). Під час згортки спеціальний фільтр «проходить» по зображенню та дозволяє виявити характерні елементи, наприклад краї або плями ураження.

4. Вилучення ознак. Для того щоб система змогла класифікувати рослину чи виявити хворобу, потрібно перетворити зображення на набір числових характеристик – ознак. До таких методів належать:

- перетворення Фур'є – переводить зображення у частотну область, що допомагає виявити текстурні особливості;
- метод головних компонент (РСА) – дозволяє скоротити кількість ознак, зберігаючи найважливішу інформацію.

5. Практичне застосування. Методи, описані вище, використовуються в реальних системах для таких завдань:

- визначення розміру рослини за зображенням;
- виявлення уражених ділянок;
- аналіз візуальних ознак хвороб для їх ідентифікації;
- кількісна оцінка ступеня розвитку ураження.

Такі підходи дозволяють автоматизувати процес моніторингу стану рослин і зменшити вплив людського фактора. Це особливо важливо для великих аграрних підприємств, де ручне спостереження є малоефективним (рис. 3).



Рисунок 3 – Дерево проблем

Напрямок перший – ідентифікація захворювання рослин:

- створення ефективного рішення для швидкого виявлення захворювань рослин;
- забезпечення сумісності з усіма мобільними операційними системами;
- пошук простих та зрозумілих методів для ідентифікації хвороб рослин.

Напрямок другий – архітектура застосунку:

- розробка гнучкої архітектури для серверної частини;
- створення зручної архітектури для клієнтської частини;
- визначення ключових аспектів інформаційної моделі.

Напрямок третій – дослідження та реалізація:

- аналіз програмних аналогів та пошук літератури;
- проведення досліджень у предметній області;
- розробка концептуальної моделі для проєкту;
- тестування функціональності створеного програмного рішення.

Дерево цілей для системи розпізнавання захворювань рослин.

1. Виділення ключових особливостей на зображенні рослини за допомогою фільтрів, які дозволяють помітити важливі деталі.

2. Фіксація розташування знайдених елементів для подальшого аналізу стану рослини.

Це дозволяє побудувати зрозумілу структуру етапів досягнення основної мети. У сучасному сільському господарстві активно використовують різні підходи до розпізнавання хвороб рослин. Кожен метод має свої переваги та особливості. Щоб виявити ознаки захворювання, спочатку обробляють зображення рослини, після чого виділяють важливі властивості кожної точки зображення – так звані дескриптори, які допомагають точно описати стан рослини.

Основною метою є створення вебзастосунку, який розпізнає захворювання рослин за зображенням. Під час тестування було використано фото, на якому відсутні рослини. У такому випадку система відкриває модальне вікно з відповідним повідомленням (рис. 4).

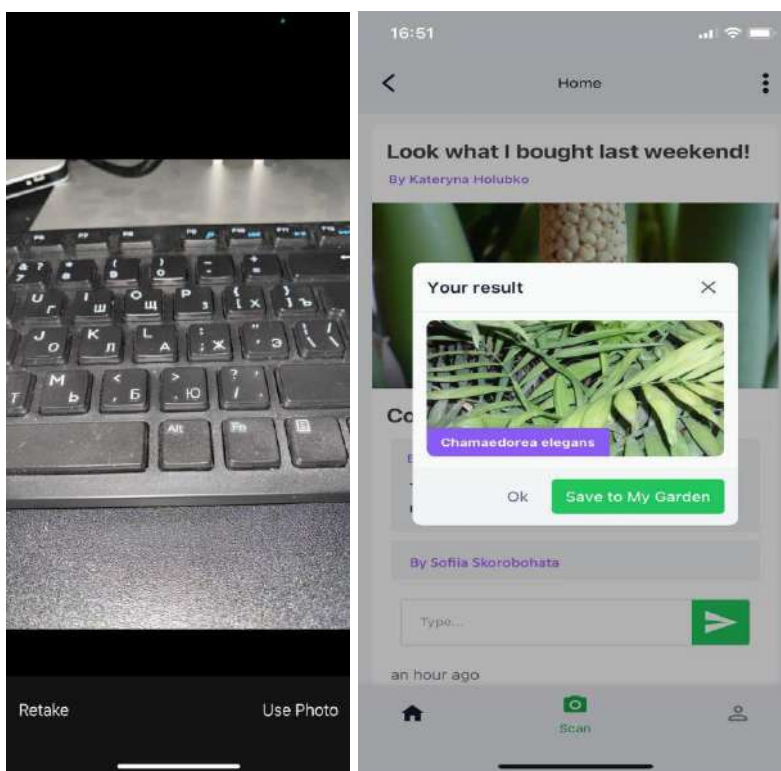


Рисунок 4 – Зображення експерименту з ідентифікації (не рослини)

На рис. 4 показано повідомлення “Not a plant” (не рослина), яке з’явилося у модальному вікні після спроби розпізнавання клавіатури на фото. Це свідчить про правильну реакцію системи на невідповідне зображення. Додатково було проведено серію тестів з неякісними фото (рис. 5). Однією з основних проблем у розпізнаванні кольорових ознак хвороб є шуми, що виникають через спалах або нестабільне освітлення. Для покращення результатів підбираються відповідні фільтри, враховуючи тип рослини та умови зйомки. Продemonстровано повідомлення “Not a plant” (не рослина), яке з’явилося у модальному вікні після спроби обробки зображення клавіатури. Це свідчить про коректну роботу системи в умовах невідповідного вхідного зображення.

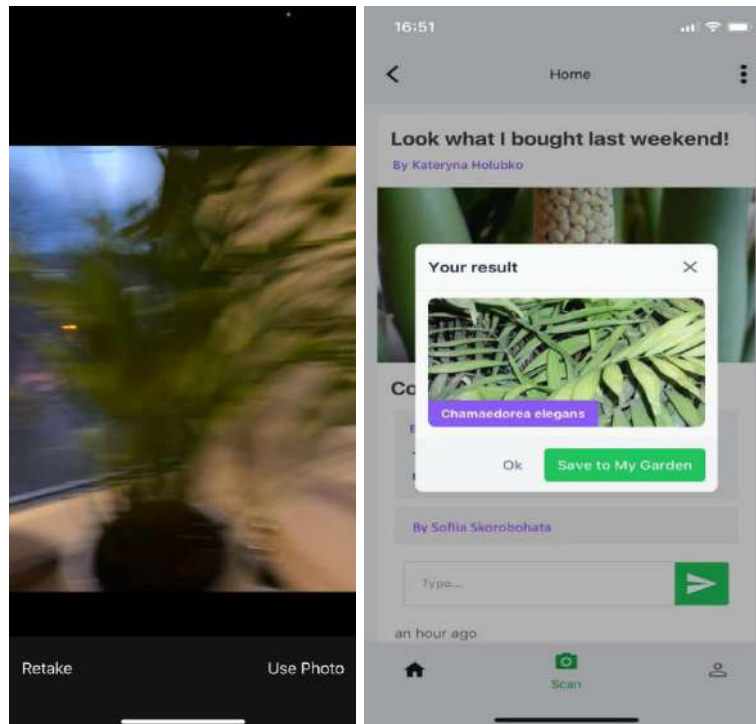


Рисунок 5 – Аналіз результатів ідентифікації хвороби рослин за зображенням з низькою якістю

Крім того, проведено тести з фото низької якості. Однією з ключових перешкод для точного розпізнавання симптомів хвороб є наявність шумів, спричинених спалахом або зміною освітлення. Для мінімізації таких впливів використовуються відповідні фільтри, які підбираються залежно від виду рослини та умов фотографування.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було розроблено ефективну програмно-апаратну систему для автоматизованого розпізнавання хвороб рослин на основі зображень, що дозволяє здійснювати ранню діагностику фітопатологічних змін у реальних умовах польового господарства. Система демонструє ряд важливих переваг:

- оперативність та зручність використання безпосередньо в умовах відкритого ґрунту або теплиць без потреби у спеціальному лабораторному обладнанні;
- висока точність ідентифікації захворювань, що дозволяє значно зменшити кількість хибнопозитивних або хибнонегативних висновків під час первинного аналізу;
- зменшення потреби в масовому застосуванні хімічних засобів захисту, що сприяє зниженню агрохімічного навантаження на навколишнє середовище та підтриманню екологічного балансу;
- можливість інтеграції у наявні цифрові агроплатформи, що забезпечує послідовність та сталість в агротехнологічних процесах.

Таким чином, запропоноване рішення становить практичну цінність для аграрного сектору, оскільки забезпечує зменшення втрат урожаю, оптимізацію процесів прийняття рішень, підвищення якості сільськогосподарської продукції та покращення економічної стійкості аграрних підприємств. Окрім того, широке впровадження подібних систем може стати важливим кроком у напрямі цифрової трансформації агровиробництва та сталого розвитку сільського господарства. Аналіз методів розпізнавання хвороб рослин у сільському господарстві засвідчив актуальність застосування сучасних технологій. Водночас, наявність помилок під час ідентифікації залишається серйозною проблемою. У межах дослідження було розглянуто приклади виявлення уражених ділянок листя із використанням колірних детекторів, що дало змогу підвищити точність виділення певних зон зображення. Однак, ділянки, що перебувають у тіні, часто залишаються неідентифікованими. Це свідчить про необхідність подальших досліджень і вдосконалення підходів.

Перспектива розвитку роботи полягає у впровадженні елементів гейміфікації – системи досягнень, які користувач може отримати за певні дії у застосунку. Це популярний механізм залучення користувачів, що мотивує їх проводити більше часу в системі. Наприклад, можна передбачити нагороди за запрошення друзів або додавання певної кількості рослин у розділ “Мій сад” – зокрема, досягнення за десяту додану рослину.

Список літератури.

1. Девіс, Р., Терк, М. (2022) Комп'ютерний зір. Передові методи та глибоке навчання. ДМК-Прес.
2. Дудник, А.В. (2011). Сільськогосподарська ентомологія. МДАУ.
3. Barbedo, J.G.A. (2019). Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*.
4. Ferentinos, K.P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*.
5. Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., & Stefanovic, D. (2016). Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. *Computational Intelligence and Neuroscience*.
6. Mohanty, S.P., Hughes, D.P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*.
7. Brahimi, M., Arsenovic, M., Laraba, S., Sladojevic, S., Boukhalfa, K., & Moussaoui, A. (2018). Deep learning for plant diseases: Detection and saliency map visualisation. *Human and Machine Learning*.
8. Шпак, З.Я. (2011). Програмування мовою С. Львівська політехніка.
9. Матвієнко, М.П. (2017). Комп'ютерна логіка «Ліра-К».
10. Ланде, Д.В. (2006). Пошук знань в інтернеті. «Вільямс».

АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОЛІГРАФІЧНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ PRINTBOOST

Маїк Л.Я.

к.т.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Маїк В.З.

к.т.н., професор, кафедра «Поліграфічних технологій та пакування»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Лотошинська Н.Д.

к.т.н., доцент, кафедра «Інформаційних технологій видавничої справи»,
Національний університет «Львівська політехніка»

***Анотація.** Автоматизація виробництва є оптимальним шляхом розвитку вітчизняних поліграфічних підприємств, так як це надає керівникам ефективний інструмент управління. Для вирішення цих завдань була розроблена українська система Printboost, яка забезпечує максимальну зручність як для друкарень, так і для їхніх клієнтів, завдяки своїм унікальним можливостям, спеціально адаптованим під особливості поліграфічної індустрії.*

***Ключові слова:** ІННОВАЦІЙНА СИСТЕМА, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЕЛЕМЕНТИ КЕРУВАННЯ, БАЗА ДАНИХ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПОЛІГРАФІЧНЕ ПІДПРИЄМСТВО.*

Вступ

Сьогодні серед керівників поліграфічних підприємств активно обговорюються назрілі проблеми вдосконалення управління виробництвом на основі застосування сучасних інформаційних технологій. Досвідчені фахівці поліграфічної галузі обґрунтовують можливість підвищення рівня управління створенням інтегрованої системи, здатної до поєднання різних інформаційних потоків на підприємстві та оперативного опрацювання достовірних даних для прийняття оптимальних управлінських рішень [1-8].

Автоматизована система управління підприємством покращує роботу менеджменту, і взагалі, всіх працівників підприємства, робить її прозорішою і ефективнішою, дає можливість створювати детальні технологічні карти виробничих процесів і повністю їх контролювати, розраховувати реальну собівартість і прибуток, зменшує час виготовлення продукції, витрати матеріалів, аналізувати завантаження устаткування, підвищити якість продукції, дозволяє збирати інформацію і формувати різні звіти за короткий проміжок часу, знижує залежність підприємства від людського фактору при плануванні виробництва і заповнення документації [1-8].

Українські фахівці створили систему Printboost, де все продумано для працівників поліграфічного підприємства, де менеджер може швидко

розібратися з інтерфейсом калькулятора розрахунку вартості товару, бачити стан замовлення та перелік необхідних виробничих робіт. Система дає можливість контролювати матеріали (використання та надходження); для кожної роботи автоматично створює завдання з виконавцем (із зазначенням дати готовності, з описом які матеріали будуть використані та їх кількість).

У системі Printboost розроблено інформаційну панель для всіх важливих модулів: 1) контроль виробництва – інформація по роботі працівника; про витрати та наявність матеріалів; про зміну собівартості; про використання та завантаження обладнання; 2) статистика замовлень, популярні та найприбутковіші товари (використовуючи сортування та фільтри, друкарня може побачити, який товар не приносить грошей, а це означає, що обладнання має низьку окупність, може краще його продати та придбати обладнання, що посилить найбільш зайнятий та вигідний напрямок виробництва); 3) інструменти для аналізу клієнтської бази.

Аналіз особливостей роботи автоматизованої системи управління поліграфічним підприємством Printboost допоможе показати її важливість для підприємств видавничо-поліграфічної, пакувальної та суміжних галузей промисловості в умовах постійних змін, підвищення вимог до якості продукції і збільшення конкурентного середовища.

Мета та задачі дослідження

Здійснити аналіз особливостей роботи сучасної української інноваційної системи управління поліграфічним підприємством Printboost та розглянути основні переваги, особливості та інновації автоматизованої системи.

Основна частина

Інтелектуальна інноваційна система Printboost представляє собою сервіс, який був розроблений з використанням дизайн-мислення (сервіс-дизайну), зокрема, дизайну інтерфейсу, дизайну внутрішньої архітектури сервісу, дизайну досвіду. Для створення цієї системи використовували мови програмування PHP та JavaScript.

Система Printboost надає інструментарій, який допомагає керувати процесами друкарні: від обробки замовлень і взаємодії з клієнтами до складського обліку та керування веб-сайтом та каталогом товарів, а також генерує онлайн-магазин поліграфічної продукції, де клієнт може легко замовити все необхідне.

Система Printboost – це сервіс, який об'єднує друкарні та кінцевого користувача. Сервіс, в якому людина може замовити товар, як їй зручно, а друкарня отримує оброблену та підготовлену інформацію, аби зручно виконати послугу.

Розглянемо основні ключові елементи алгоритму роботи автоматизованої системи управління поліграфічним підприємством Printboost без деталізації всього функціоналу.

Налаштування друкарні.

Коли вперше зайти до свого облікового запису, то там вже є попередньо налаштована версія. Вкладка Профіль дає можливість перевіряти та редагувати базові налаштування друкарні та веб-сторінки (рис. 1).

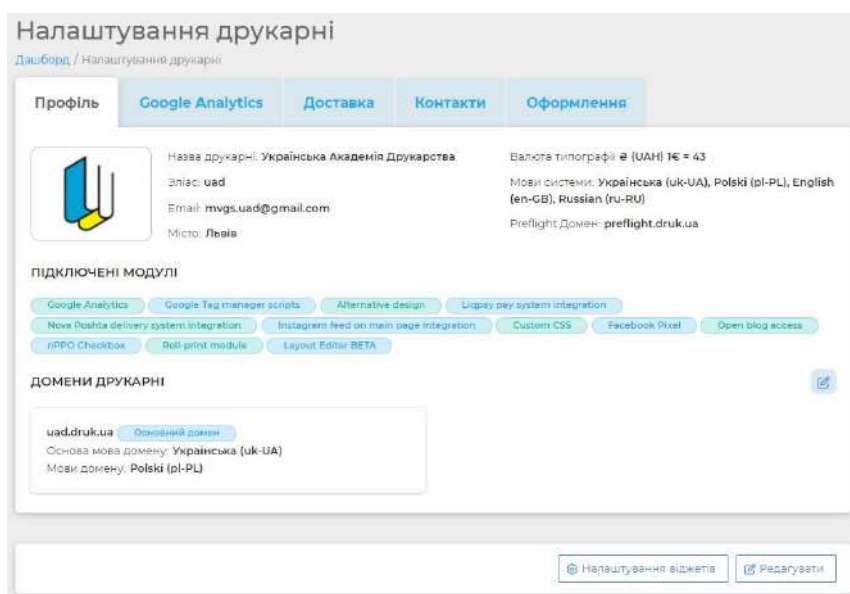


Рисунок 1 – Вікно «Налаштування програми»

Елементи показані в *першому блоці* дозволяють переглянути базові налаштування такі як:

- *Лого* – будь-яке зображення, яке потрібно розмістити на сайті;
- *Назва друкарні* – назва фірми, яку бачать клієнти, коли переходять на сайт;
- *Еліас* – унікальна назва для розробників;
- *Валюта типографії*;
- *Мова системи та домен Preflight*.

Другий блок, *Підключені модулі* – всі ті додаткові можливості системи, які мають за ціль додати більше функціоналу та виконати поставлені завдання. На рис. 2 показані основні доступні модулі.



Рисунок 2 – Вікно «Підключені модулі»

Варто зауважити, що, якщо якийсь з цих модулів не є важливим, його можна відключити. Про це можна домовитися на початку налаштування роботи програми.

Підключення Google Analytics.

Google Analytics дозволяє отримати максимальну кількість інформації про те, як поведуться користувачі на сайті. Тут показані дані про аудиторію (демографія, інтереси, девайси, локація і т.д) та її поведінку (які сторінки читає, скільки часу там проводить, куди переходить далі) (рис. 3).

GA дає можливість чітко відслідковувати дії користувача на сайті і тим самим вимірювати ефективність усіх рекламних кампаній. Ми чітко бачимо скільки користувачів прийшло з якого каналу, які дії на сайті вони зробили і скільки грошей це принесло.

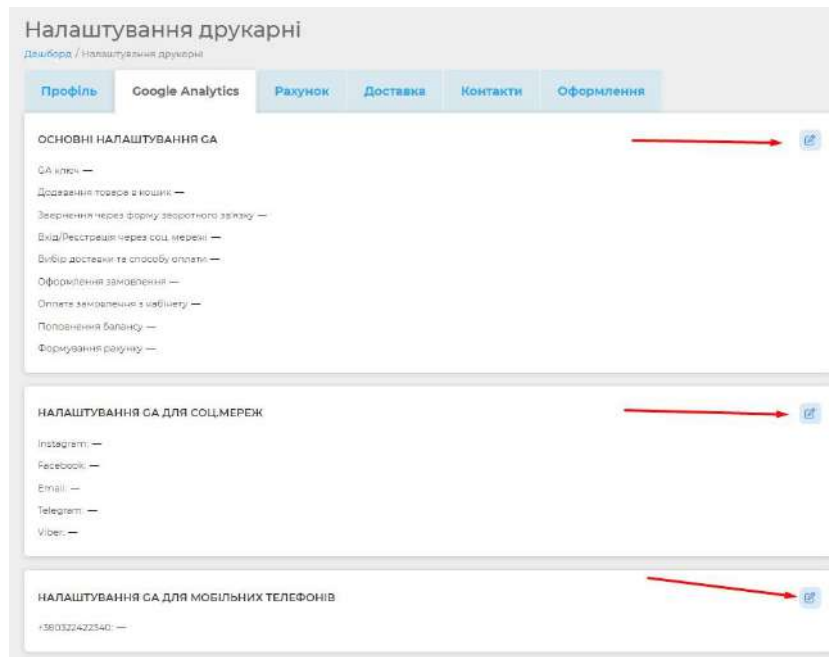


Рисунок 3 – Вікно «Google Analytics»

Блок *Основні налаштування GA* – це форма, в якій можна легко ввести ключ GA і отримувати інформацію за показниками прямо з сайту друкарні до даних аналітики.

Блок *Налаштування GA для соціальних мереж та мобільних телефонів* виставлені окремо і також не викликатимуть жодних проблем, якщо навіть їх залишити пустими.

Бібліотека форматів.

Формати використовуються для розрахунку вартості поліграфічного виробу разом з іншими змінними. Його значення значно впливає на кінцеву вартість на кожному етапі його використання.

Використання формату в поліграфічній продукції.

Поліграфічна продукція може мати один конкретний формат або декілька. Наприклад, «Буклет А5» має один формат А5.

Інформація про формат товару знаходиться у розділі Технічні характеристики. Формат товару базується на форматі деталей видів товару і є у такому разі незмінним (рис. 4).

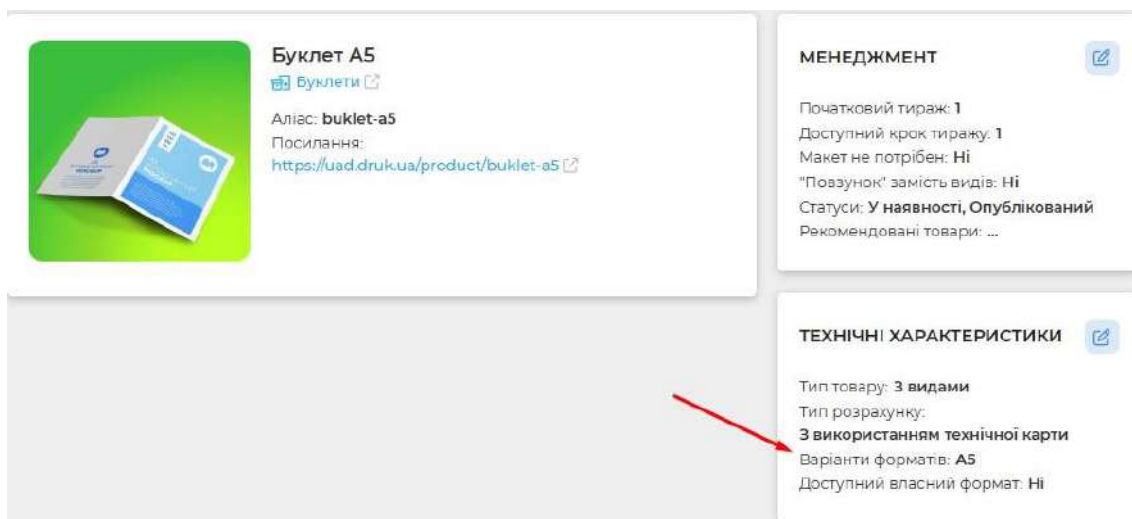


Рисунок 4 – Вікно «Формат товару»

Якщо товар має декілька форматів, наприклад, товар блокнот, то в виборі форматів до товару, обираємо потрібні варіанти форматів зі списку і вони будуть застосовані до всіх видів товару.

Вкладка контакти та оформлення веб-сторінки.

Контакти друкарні. Вкладка *Контакти* складається з даних, які відображаються на веб-сайті друкарні. У цій секції є можливість редагувати легко і швидко інформацію, яка автоматично буде оновлюватися на сайті в секції *Контакти* (рис. 5).

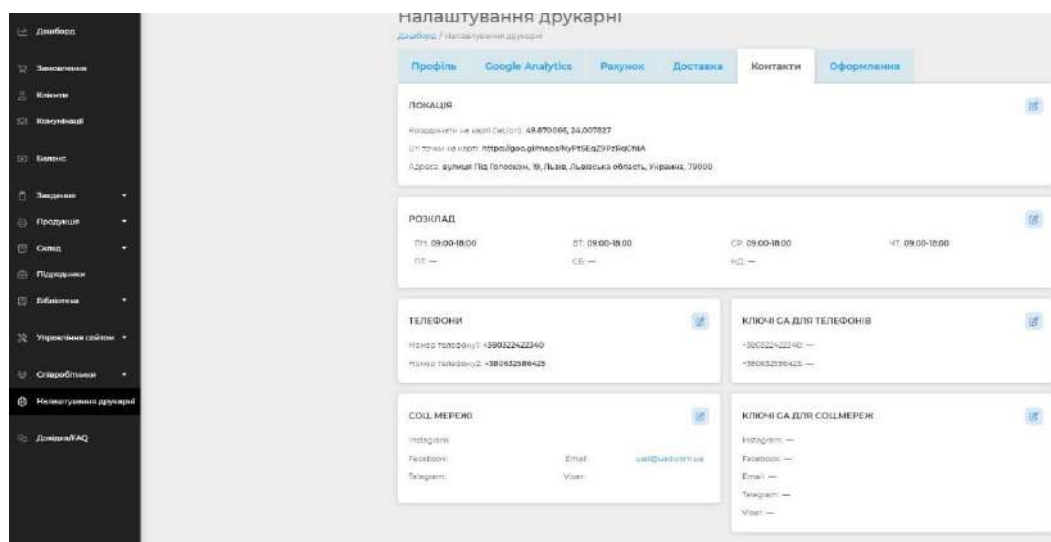


Рисунок 5 – Вкладка контакти та оформлення веб-сторінки

Бібліотека обладнання.

Все доступне обладнання друкарні знаходиться у вкладці *Бібліотека* → *Устаткування*. Тут можна додавати групу обладнання, додавати, видаляти та редагувати доступне обладнання (рис. 6). Обладнання повинно належати до групи – це потрібно для формування алгоритмів системи.

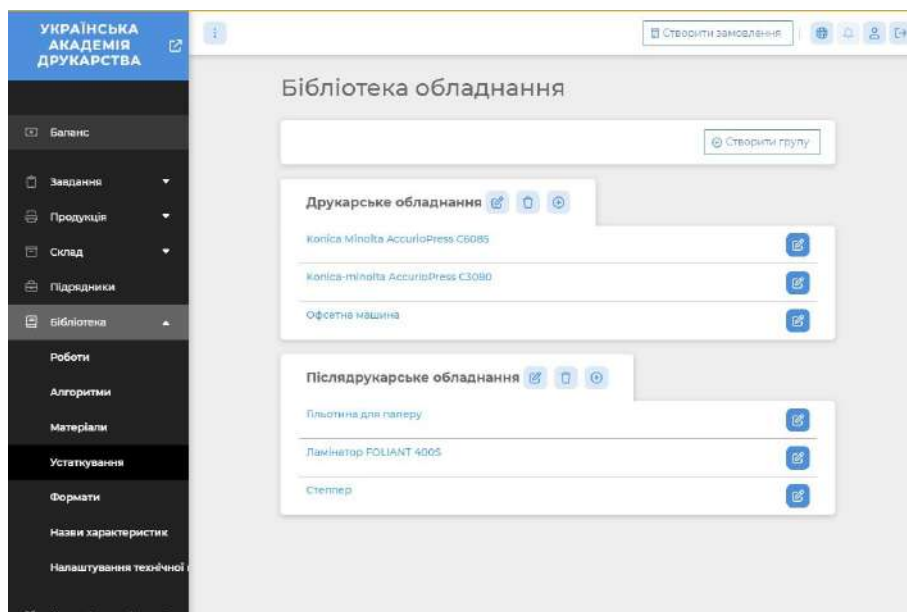


Рисунок 6 – Вікно «Бібліотека обладнання»

Співробітники та ролі.

У системі Printboost існують чіткі алгоритми, які визначають межі, в яких працюють працівники друкарні. Вони називаються ролями. *Роль* – це набір доступів, які приписуються співробітнику.

Наприклад, адміністратор друкарні має доступ до всіх функцій системи, а друкар тільки до завдання друку та перегляду замовлень.

Налаштовувати ролі та доступи, а також додавати, редагувати співробітників можуть ті працівники, які мають відкритий доступ до цієї функції.

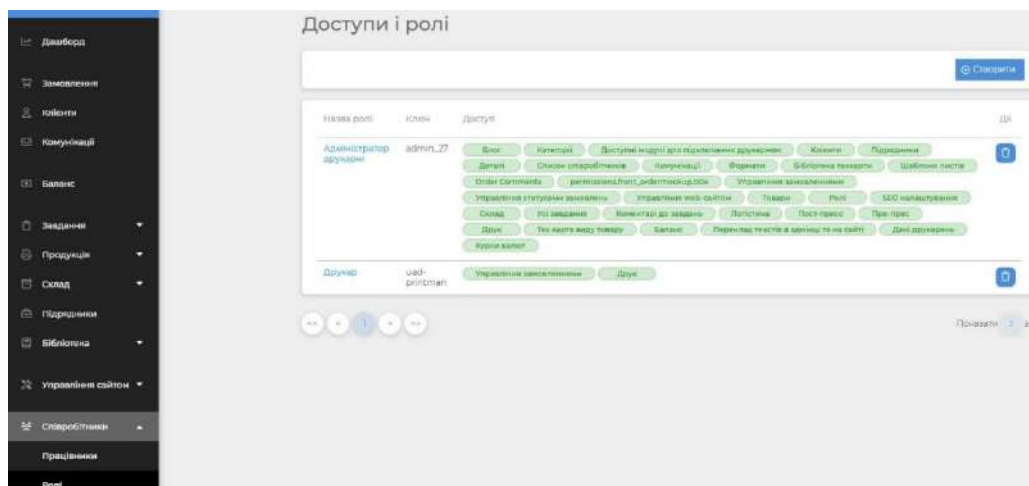


Рисунок 7 – Співробітники та ролі

Налаштування зберігання файлів друкарні.

Зберігання файлів організовано за допомогою інтеграції із серверами за протоколом *Amazon S3 (Simple Storage Service)*.

Якщо замовнику важливо, щоб всі файли зберігалися на особистому сервері в друкарні, наприклад, *Minio* – все працювало відмінно, так само не повинно бути проблем з *Ceph*, *Fake-s3*, *S3 Ninja* або іншими продуктами, які працюють за протоколом *S3*.

Щоб налаштувати свій особистий сервер S3 потрібно:

- сервер із щонайменше 2 ядрами та 4Гб ОЗУ;
- 20 Гб на систему;
- сховище (250Гб для старту має вистачити).

Налаштування назви домена.

Сервіс підтримує налаштування доменного імені та з метою безпеки це налаштування здійснюється через підтримку.

Існує два варіанти, як можна налаштувати ім'я домену.

Перший варіант.

Для того, щоб все працювало, потрібно.

1. Мати куплений та зареєстрований домен.
2. Мати доступ до панелі налаштувань домену.

Другий варіант.

Іншим варіантом є вже мати обліковий запис на cloudflare.com.

У цьому випадку потрібно налаштувати проміжний DNS на cloudflare.com, це дасть трирівневий захист від DDoS атак і для цього достатньо буде навіть безкоштовного облікового запису.

Бібліотека матеріалів.

Бібліотека матеріалів створена подібним чином, що і бібліотека обладнання. У матеріалах існує чітка категоризація: спочатку створюється група матеріалів, а потім матеріали окремо, кожен з яких має окремі види, які відрізняються одне від одного за вибраними характеристиками.

Тож, бібліотеку можна створювати згідно з власними категоріями, наприклад, за видами матеріалу чи типом друку.

Всі матеріали можна знайти у *Бібліотека → Матеріали*.

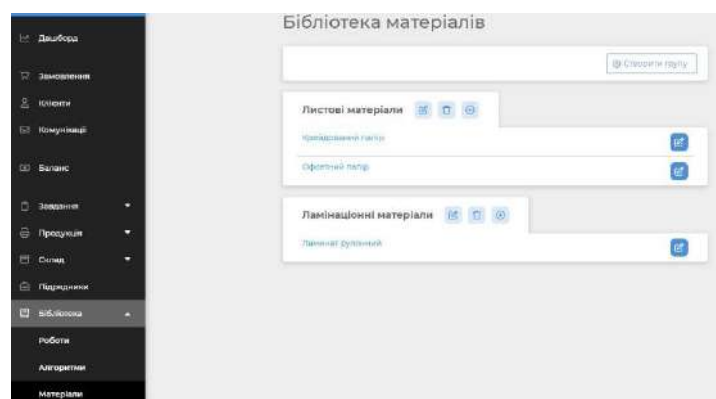


Рисунок 8 – Бібліотека матеріалів

Бібліотека робіт.

Бібліотека робіт створена з тих процесів, які відбуваються у друкарні. Роботи виділені окремо з метою їх вільного використання в алгоритмах, які можуть використовуватися у виробництві різних товарів (рис. 9).

Інтерфейс бібліотеки робіт створений за подібною логікою, що і бібліотека матеріалів та обладнання. З цієї причини не повинно виникати складнощів у розумінні логіки системи.

Спочатку створюються група робіт, а потім всі роботи окремо. Те, як поділяються роботи, як це впливає на алгоритм та калькуляції.

Наприклад, роботи можна поділити на друкарські роботи, післядрукарські, пре-прес роботи та інші.

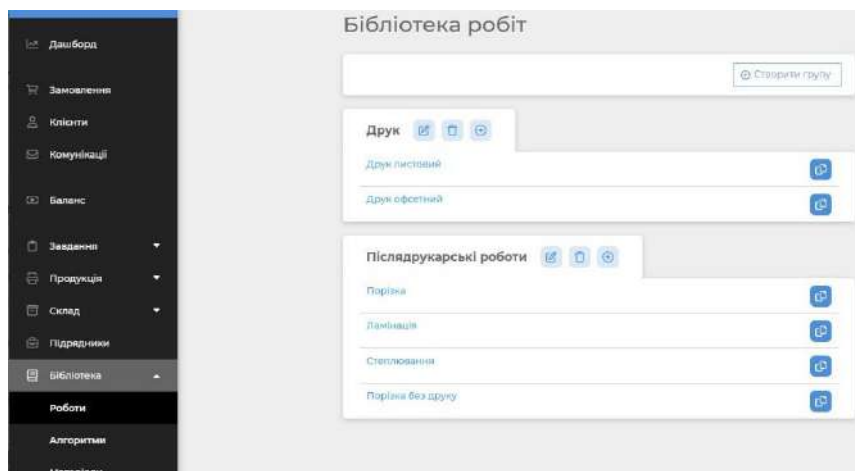


Рисунок 9 – Бібліотека робіт

Бібліотека алгоритмів.

Алгоритми – це послідовність робіт, які необхідні для виготовлення продукту. Алгоритми включають у себе обладнання та матеріали з необхідними характеристиками.

Отже, щоб система могла зрозуміти, як виробити той чи інший товар, важливим є правильно налаштувати не тільки роботи та калькуляції, а також вірно оформити алгоритми.

Повний список алгоритмів можна знайти *Бібліотека → Алгоритми*.

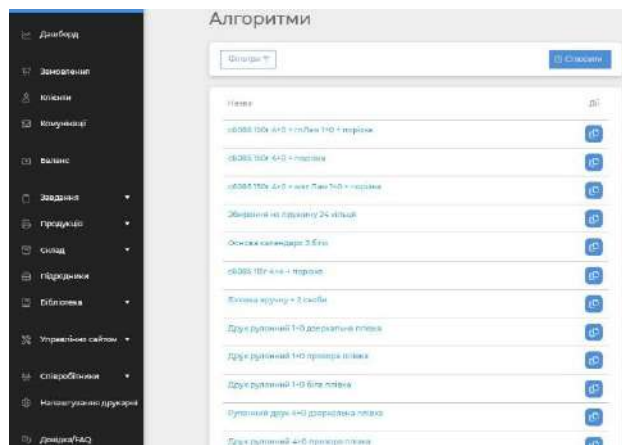


Рисунок 10 – Алгоритми робіт

Створення товарів з технічною картою. Загальний інтерфейс.

Товар можна імпортувати з бібліотеки, натиснувши кнопку *Імпорт* або створити самостійно.

Створити товар можна з розділу товарів *Продукція → Товари* або з вкладки *Товари* всередині категорії. В обох випадках натискаємо кнопку *Створити товар* (рис. 11).

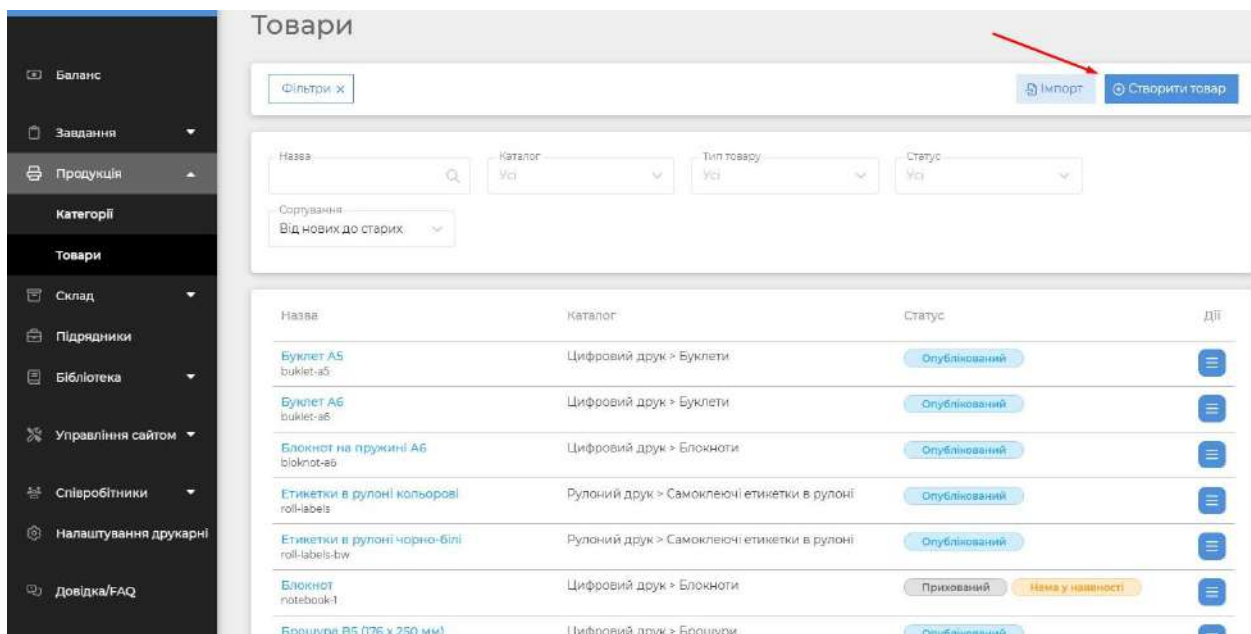


Рисунок 11 – Створення товарів з технічною картою

Створення товарів без технічної карти. Товари зі складу.

В інтерфейсі створення товару існує можливість вибрати *Тип розрахунку*, тобто калькуляції ціни за товар (рис. 12).

Для цього вистачить вийти у конструктор створення товару, ввести опис товару, можна додати або пропустити SEO-налаштування.

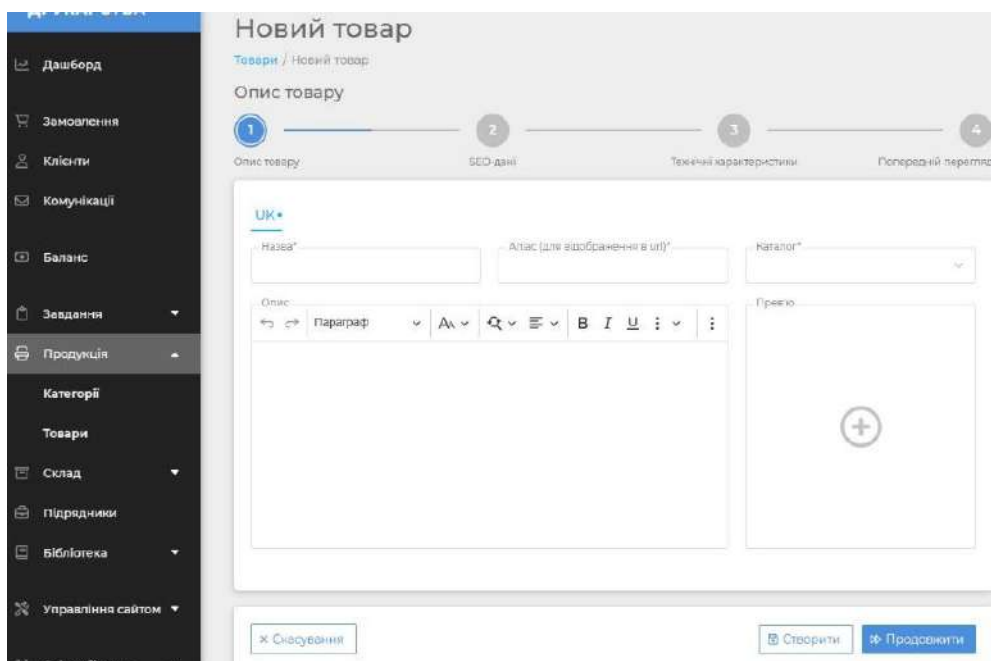


Рисунок 12 – Створення товарів без технічної карти. Товари зі складу

Бібліотека деталей товарів.

Деталь – це компонент, з якого складається товар. Деталей в товарі може бути більше однієї. Наприклад, товар «афіша» буде мати одну деталь конкретного формату, а у свою чергу, «календар на пружині» буде мати дві деталі: календарний блок та картонну основу.

Деталі як елемент товару потрібні для того, щоб вказати системі, який алгоритм використовувати. Без деталей та їхніх ознак було б важко дати команду системі, коли друкувати з двох сторін, а коли з однієї, який формат мають складові товару іт.п. А без цього неможливо було б зробити можливим розрахунок ціни товару.

З іншого боку, деталь можна розглядати як елемент, який пов'язує товар та виробництво. Через те, що одна деталь може бути використана в багатьох товарах, важливими є правильна назва деталі для швидкої ідентифікації потрібної деталі зі списку.

Створення деталей.

Створення товару, який потрібно виробити, є неможливим без деталей.

Деталь можна створити двома способами: під час створення виду товару, у розділі технічні характеристики.

У розділі технічні характеристики першим кроком є визначення деталі. Система дозволяє обрати вже готову деталь з бібліотеки або ж створити нову.

Для того, щоб створити нову достатньо натиснути кнопку *Створити нову деталь* (рис. 13).

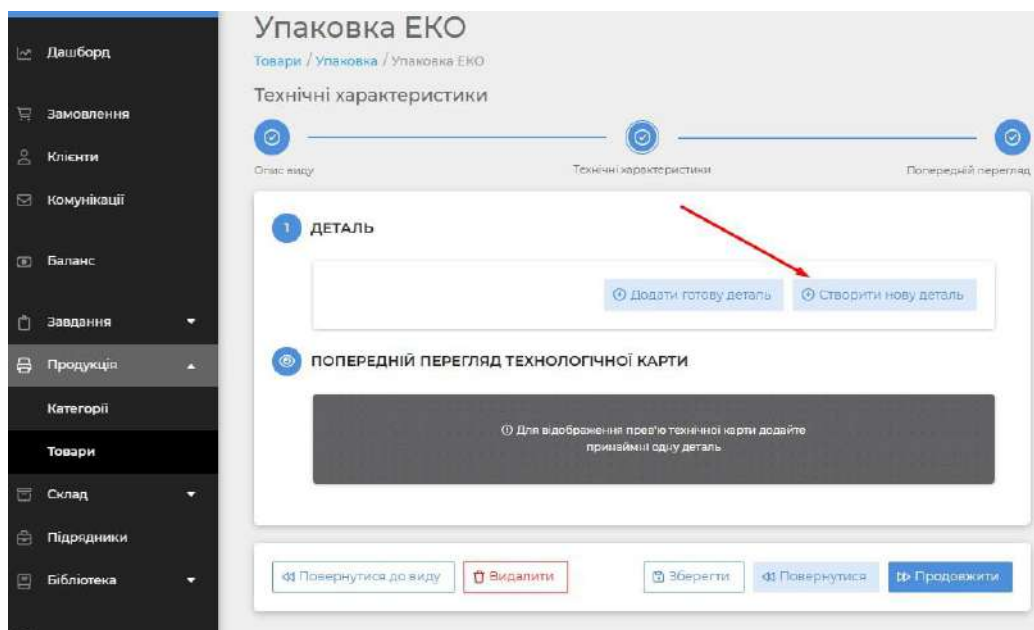


Рисунок 13 – Бібліотека деталей товарів

Потім відкриється вікно, в якому можна вписати потрібні дані, такі як: назва деталі, яка є обов'язковим параметром. Рекомендується створювати назви з додаванням основних параметрів для кращого розуміння та уникання дублювання деталей.

Назву деталі потрібно вносити на усіх мовах системи, які є доступними в налаштуваннях друкарні.

Оформлення та ведення замовлень.

Оформлення замовлень на сайті клієнтом. На сайті друкарні клієнт має можливість знайти потрібний товар, обрати тираж та тип товару, після чого

натиснувши кнопку *Додати до кошика замовлення*, система направляє клієнта на запит про авторизацію (рис. 14).

Замовлення

Рисунок 14 – Оформлення замовлень на сайті клієнтом

Оформлення замовлення вручну менеджером в системі.

Замовлення оформити може менеджер вручну натиснувши на будь-якому етапі кнопку *Створити замовлення* у шапці профілю, а також другу кнопку *Створити замовлення* у вкладці *Замовлення* (рис. 15).

Назва замовлення	Статус замовлення	Клієнт	Менеджер	Дата	Сума (UAH)	Статус оплати	Дії
* 4784 - Буклет А5 Готовність на: 17-01-24 Товарів: 1 Показати	Завершено	Швець Ксенія	Роман Романов Змінити	12-01-24 15:35	742	Сплачено	Дії
* 4782 - Замовлення Готовність на: 17-01-24 Товарів: 2 Показати	У розробці	Тест-Клієнт	Тимур Тест Змінити	12-01-24 15:18	1047	Сплачено	Дії
* 4751 - Поліграфія Готовність на: 22-01-24 Товарів: 2 Показати	У розробці	Швець Ксенія	Тест Printman Змінити	11-01-24 11:09	626	Сплачено	Дії
* 4747 - Замовлення 001 Готовність на: 11-01-24 Товарів: 2 Показати	У розробці	Тест-Клієнт	Роман Романов Змінити	11-01-24 09:56	551.3	Сплачено	Дії
* 4565 - Замовлення Готовність на: 27-12-23 Товарів: 1 Показати	У розробці	Тест-Клієнт	Тимур Тест Змінити	21-12-23 17:15	168	Сплачено	Дії
* 4559 - Замовлення Готовність на: 27-12-23 Товарів: 1 Показати	У розробці	Тест-Клієнт	Призначити	21-12-23 11:18	130.3	Сплачено	Дії

Рисунок 15 – Оформлення замовлення вручну менеджером в системі

У новому необхідно обрати категорію товарів і товар. Також є можливість *позначити замовлення як термінове*. Цей статус позначає замовлення як пріоритетне при виробництві, не впливає на суму замовлення або на час виконання замовлення. Але замовлення зі статусом «терміновий» знаходяться у списку задач на першому плані.

Висновки

Інноваційна автоматизована система управління поліграфічним підприємством Printboost розроблена як для роботи з поліграфічними підприємствами різного виду, так і з фізичними особами-клієнтами, які можуть оформити замовлення на поліграфічну продукцію через цю систему. Інноваційна автоматизована система управління Printboost складається з окремих модулів, які використовують хмарні технології і дозволяють гнучко формувати систему відповідно до потреб конкретного поліграфічного підприємства. Оригінальні інноваційні рішення, широкі технологічні можливості, гнучкість, клієнтоорієнтований підхід робить цю систему унікальною не тільки на українському, але і світовому ринку систем для автоматизації поліграфічного виробництва.

Список літератури.

1. Ali, M., & Miller, L. (2017). ERP system implementation in large enterprises – a systematic literature review. *Journal of Enterprise Information Management*, 30(4), 666-692.
2. Klaus, H., Rosemann, M. & Gable, G.G. (2000). What is ERP?. *Information Systems Frontiers*, 2(2), 141-162.
3. Moller, C. (2005). ERP II: a conceptual framework for next-generation enterprise systems?. *Journal of Enterprise Information Management*, 18(4), 483-497.
4. Estébanez, R.P., Trigo, A. & Belfo, F. (2016). ERP systems adoption evolution in Iberian companies during the global financial and economic crisis and recession (2007-2014). 2016 2nd International Conference on Information Management (ICIM), London, UK. (p. 116-120).
5. Estébanez, R.P. (2021). Assessing the Benefits of an ERP Implementation in SMEs. An Approach from the. *Scientific Annals of Economics and Business*, 68(1), 63.
6. Amado, A., & Belfo, F.P. (2021). Maintenance and Support Model within the ERP Systems Lifecycle: Action Research in an Implementer Company. *Procedia Computer Science*, (181), 580.
7. Al-Mudimigh, A., Zairi, M. & Al-Mashari, M. (2001). ERP software implementation: an integrative framework. *Eur J Inf Syst.*, 10(4), 216-226.
8. Haddara, M., & Elragal, A. (2011). ERP Lifecycle: When to Retire Your ERP System?. Cruz-Cunha, M.M., Varajão, J., Powell, P., Martinho, R. (eds) ENTERprise Information Systems. CENTERIS 2011. *Communications in Computer and Information Science*, (219).

ANNOTATIONS

UDC 004.92

A STUDY ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUILDING DIGITAL PROFILES OF PRINTING EQUIPMENT

Azarenkov V.I.

Ph.D., Associate Professor, Department of System Analysis
and information and analytical technologies,

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Deineko Zh.V.

PhD, professor, department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *The issue of researching the possibilities and identifying effectiveness of the approximation application of measured data using artificial neural networks in constructing color profiles of printing equipment is raised. Problems and ways to solve them are highlighted. An analysis of the features of converting one color model into another based on the construction of ICC profiles was conducted.*

Key words: COLOR MANAGEMENT SYSTEM, COLOR PROFILE, NEURAL NETWORKS, CLUT TABLES, INPUT, OUTPUT AND DISPLAY DEVICES.

UDC 004.9

METHODS OF AUTOMATED VIDEO CONTENT CONVERSION INTO STRUCTURED MEDIA MATERIAL

Levykin I.V.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Shymko D.I.

Postgraduate Student,
Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *The paper explores the process of automated conversion of video into structured textual content with contextually synchronized images. Modern AI-based tools for speech transcription, semantic text processing, and visual accompaniment generation are reviewed. Experimental testing was conducted on complex multimedia material.*

Keywords: AUTOMATION, MEDIA CONVERSION, TRANSCRIPTION, SPEECH RECOGNITION, STRUCTURED TEXT, ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

UDC 515.2

PECULIARITIES OF CHILDREN'S LITERATURE PRODUCTION. HISTORY, TECHNOLOGIES, MATERIALS

Chelombitko V.F.

Ph.D., Associate Professor, Media Systems and Technologies Department,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *The article presents a study of prepress, printing, and post-printing technologies, construction, and materials for the production of children's literature. The author analyzes the historical development of children's literature in Ukraine since independence, the process of artistic and technical design of children's books, the typology and specifics of books for children, and innovative design and production technologies.*

Keywords: CHILDREN'S LITERATURE, BOOK TYPOLOGY, INNOVATIVE TECHNOLOGIES, BOOK HISTORY, E-BOOK, ALTERNATIVE BOOK.

UDC 621.375.826

TECHNOLOGICAL FEATURES OF LASER PROCESSING IN THE MANUFACTURE OF PACKAGING PRODUCTS

Savchenko O.M.

Ph.D., Associate Professor, Department of Printing Technologies and Packaging,
Institute of Printing and Media Technologies, National University "LP"

Abstract. *Study of the latest technologies for manufacturing packaging products using laser processing methods from wood-fiber materials (plywood and HDF), selection of modes and equipment, identification of technological patterns of laser cutting and engraving used in the manufacture of packaging products.*

Key words: PACKAGING, LASER PROCESSING, LASER CUTTING, LASER ENGRAVING, WOOD-FIBER MATERIALS.

UDC 004.928

TECHNICAL AND CREATIVE ASPECTS OF COMPUTER ANIMATION

Deineko Zh.V.

PhD, department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics

Zelenyi O.P.

PhD, department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics

Kryvoruchko M.O.

Master, department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics

Annotation. *In recent years, animation design has become an integral part of modern visual culture. This activity is widely utilized in advertising, education, business, gaming, and television. The purpose of this work is to systematize current knowledge about computer animation, analyze issues related to its technical and creative aspects, and develop recommendations for improving animation processes. Key challenges faced by specialists are examined, including the creation of a unique visual style, balancing realism with fantasy, and optimizing technical workflows. The interconnection between technical solutions and creative approaches in 2D and 3D animation is analyzed. Methods for improving animation creation processes are proposed, aiming to address the industry's pressing challenges and expand its potential in art, education, and entertainment.*

Keywords: COMPUTER ANIMATION, ANIMATED CONTENT, MOTION DESIGN, RIGGING, TREND, RENDERING, STORYTELLING, CLIP THINKING, SHAPE, ACTION, TARGETS.

UDC 37.091.313-044.247:5

INTEGRATION OF STEAM ELEMENTS INTO INTERDISCIPLINARY COURSE PROJECT FOR HIGHER EDUCATION STUDENTS OF THE FIRST (BACHELOR'S) LEVEL OF SPECIALTY G20 "PUBLISHING AND PRINTING"

Andriushchenko T.Yu.

Senior Lecturer, Department of Multimedia Systems and Technologies
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

Abstract. *This study analyzes the theoretical and methodological principles of integrating STEAM elements into the implementation of an interdisciplinary course project for higher education students of the first (bachelor's) level of the G20 specialty "Publishing and typography". The importance of interdisciplinary interaction for the formation of professional competencies, the development of creative thinking, engineering approach and practical skills of future specialists in the publishing and printing sector is emphasized.*

Keywords: STEAM EDUCATION, STEAM ELEMENTS, VOCATIONAL TRAINING, INTERDISCIPLINARY CONNECTIONS, CREATIVE THINKING, ENGINEERING APPROACH, PRACTICAL SKILLS.

FEATURES OF LARGE-FORMAT PRINTING ON FABRIC, PRINT QUALITY EVALUATION AND COLOR REPRODUCTION ON VARIOUS MATERIALS

Chebotarova I.B.

Senior Lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Grigoriev O.V.

Ph.D., Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Manakov V.P.

Ph.D., Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Yatsenko L.O.

Senior Lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *The work investigates the technologies used for large-format printing on fabric and the features of the materials on which printing is carried out. An analysis of the trends in the development of outdoor advertising and the possibility of using large-format printing for the manufacture of advertising products and interior design is made. Based on the requirements of current regulatory documents regulating the process of large-format printing and practical recommendations of manufacturers of advertising products and plotter manufacturers, a list of quality indicators for evaluating large-format printing on canvas has been determined and test objects for conducting the study have been developed. An experimental study of the printing quality on various materials has been conducted; a methodology for comprehensive assessment of printing quality on large-format printers has been developed and recommendations have been given on the optimal choice of materials for large-format printing, taking into account the requirements of the customer and the features of the operating printing enterprise.*

Keywords: TECHNOLOGY OF WIDE-FORMAT PRINTING, SOLVENT PRINTING, UV PRINTING, QUALITY INDICATORS, CANVAS, COMPREHENSIVE QUALITY INDICATORS.

METHODS FOR OPTIMIZATION OF CALENDAR PLANNING OF A PRINTING ENTERPRISE

Korol A.L.

PhD student, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Manakov V.P.

Ph.D., Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Abstract. *Modern printing production is characterized by the complexity of the technological base used, a wide variety of characteristics of the products produced, and a significant set of basic technological operations. This necessitates the development and implementation of effective methods for planning production processes. This work is devoted to the study of methods for optimizing the technological process of calendar planning of printing production.*

Keywords: PRINTING PRODUCTION, OPTIMIZATION METHODS, CALENDAR PLANNING, TECHNOLOGICAL PROCESS.

UDC 655.1+655.3.062

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES OF LAMINATION AND VARNISHING ON PRODUCT QUALITY

Zatserkovna R.S.

docent, Lviv Polytechnic National University

Slotska L.S.

docent, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

***Abstract.** The work is devoted to the study of the finishing of cardboard packaging by varnishing and lamination. The lamination process modes were studied: temperature and speed. The properties of varnished prints were studied. Cause-and-effect diagrams were constructed to assess the influence of factors on the quality of lamination and varnishing in the manufacture of packaging.*

***Keywords:** TECHNOLOGICAL MODES, PACKAGING, LAMINATION, VARNISHING, PRODUCT QUALITY.*

UDC 686.1.05-69

INFORMATION TECHNOLOGY FOR OPTIMIZING LASER DRYING OF BOOK BLOCKS

Sikora Liubomyr

Doctor of Science, Professor, Department of Computerized Automatic Systems,
Lviv Polytechnic National University

Lysa Nataliia

Doctor of Science, Associated professor, Department of Computerized
Automatic Systems, Lviv Polytechnic National University

Fedevych Olga

Ph.D., Associated professor, Department of Computerized Automatic Systems,
Lviv Polytechnic National University

Fedyna Bohdana

Ph.D., Associated professor, Department of Computer Technologies
in Publishing and Printing Processes, Lviv Polytechnic National University

Khyliak Nazarii

Postgraduate student, Department of Computer Technologies in Publishing
and Printing Processes, Lviv Polytechnic National University

***Abstract.** The article considers the information technology of the structure and objects of thermodynamic interaction of book block drying processes. A method for activating book block drying processes based on models of interaction «glue – paper» using infrared, ultraviolet, and laser emitters has been developed. Designs of laser emitters have been developed to optimize book block drying processes.*

***Keywords:** LASER EMITTERS, OFFSET PAPER, STRUCTURE, ADHESIVE, DRYING QUALITY, OPTICAL AND THERMODYNAMIC INTERACTION.*

UDC 76:681.6-34:005.336.3

QUALITY OF PLANOGRAPHIC PRINTING FOR GRAPHIC ART

Ohirko I.V.

Prof., Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, NULP

Plyatsko M.M.

Postgraduate Student
Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, NULP

Abstract. *The qualimetry of planographic printing for graphic art encompasses methods for quantitative assessment of print quality, including statistical, expert, and metrological approaches. This paper examines the influence of technological process factors on quality indicators and defines criteria for their evaluation.*

Keywords: OFFSET, QUALITY, PRINTING, QUALIMETRY, EXPERTISE, GRAPHICS.

UDC 338.33

SELECTION OF ACTION STRATEGY MODELS FOR PROBLEM-ORIENTED SYSTEMS

Sabat V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Multimedia Publishing
Lviv Polytechnic National University

Kuhot V.O.

PhD student, Department of Multimedia Publishing,
Lviv Polytechnic National University

Abstract. *The article is focused on the development of models of operational management of complex hierarchically structured systems in conditions of threats associated with emergency situations, adhering to the strategies of a goal-oriented decision-making method in crisis conditions.*

Keywords: MODELING COMPLEX PROCESSES IN DECISION-MAKING SYSTEMS, GRAPH THEORY, HIERARCHICAL AUTOMATED CONTROL SYSTEMS, AGGREGATED STRUCTURES, FUZZY SETS.

UDC 004.932.2

MOBILE TOOLS FOR IMAGE-BASED PLANT DISEASE RECOGNITION

Lysa N.K.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Lviv Polytechnic National University

Shamanovsky B.V.

PhD student, Department of Applied Mathematics,
National University "Lviv Polytechnic"

Shcherbyna A.E.

student, Department of Automated Control Systems,
Lviv Polytechnic National University

Abstract. *The work is devoted to the development of mobile image-based tools for plant disease recognition. The proposed solution enables timely and accurate identification of plant diseases using smartphone cameras. The system is intended for farmers, researchers, and the general public. Features of its design and implementation are considered. The mobile application is a convenient and accessible tool for minimizing crop losses and supporting food security efforts.*

Keywords: PLANT DISEASE RECOGNITION, IMAGE PROCESSING, COMPUTER VISION, MOBILE APPLICATION, PHOTO IDENTIFICATION, MACHINE LEARNING.

UDC 655.42+336.6

ANALYSIS OF AN INNOVATIVE MANAGEMENT SYSTEM FOR A PRINTING ENTERPRISE PRINTBOOST

Maik L.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Multimedia Publishing, Lviv Polytechnic National University

Maik V.

Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Printing Technologies
and Packaging, Lviv Polytechnic National University

Lotoshynska N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information
Technologies in Publishing, Lviv Polytechnic National University

Abstract. *Automation of production is the optimal way to develop domestic printing enterprises, as it provides managers with an effective management tool. To solve these problems, the Ukrainian Printboost system was developed, which provides maximum convenience for both printing houses and their customers, thanks to its unique capabilities, specially adapted to the specifics of the printing industry.*

Keywords: INNOVATIVE SYSTEM, AUTOMATED SYSTEM, CONTROL ELEMENTS, DATABASE, CONTROL SYSTEM, PRINTING ENTERPRISE.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Azarenkov V.I.	5	Огірко І.В.	209
Deineko Zh.V.	5	Пляцко М.М.	209
Андрющенко Т.Ю.	95	Сабат В.І.	219
Григор'єв О.В.	124	Савченко О.М.	62
Дейнеко Ж.В.	71	Сікора Л.С.	197
Зацерковна Р.С.	186	Слоцька Л.С.	186
Зелений О.П.	71	Федевич О.Ю.	197
Король А.Л.	164	Федина Б.І.	197
Криворучко М.О.	71	Хиляк Н.А.	197
Кугот В.О.	219	Чеботарьова І.Б.	124
Левикін І.В.	27	Челомбітько В.Ф.	49
Лиса Н.К.	197, 230	Шамановський Б.В.	230
Лотошинська Н.Д.	241	Шимко Д.І.	27
Маїк В.З.	241	Щербина А.Е.	230
Маїк Л.Я.	241	Яценко Л.О.	124
Манаков В.П.	124, 164		

Наукове видання

**ВОВК Олександр Володимирович
ЧЕБОТАРЬОВА Ірина Борисівна
ДЕЙНЕКО Жанна Валентинівна**

«Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан»

Монографія

(укр. та англ. мовами)

в авторській редакції

Відповідальний редактор

Дейнеко Ж.В.

Комп'ютерна верстка

Чеботарьова І.Б.

Технічний редактор

Гобельовська Л.П.

Підп. до друку 16.07.2023. Формат 60х84 1/16. Гарнітура Nimes New Roman
Спосіб друку цифровий. Ум. друк. арк. 17,67. Обл.-вид. арк. 9,4.
Наклад 100 прим. Зам. № 0083



Видавець та виготовлювач: ТОВ «Друкарня Мадрид»

Через ФОП Гобельовська Л.П.

61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18 Тел.: 0800 33 67 62

www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №4399 від 27.08.2012 р.