

Міністерство освіти і науки України

**Поліграфічні, мультимедійні та web-технології
у цифровому середовищі**

Том 2

Колективна монографія

Харків 2026

УДК 004.9

П50

Рекомендовано до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету радіоелектроніки (протокол № 6 від 21 травня 2026 р.)

Рецензенти:

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

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

- П50 **Поліграфічні, мультимедійні та web-технології у цифровому середовищі:** колективна монографія (для спеціальностей G20 Видавництво та поліграфія, F3 Комп'ютерні науки) / редкол.: О. В. Вовк, І. Б. Чеботарьова, Ж. В. Дейнеко. Харків : Друкарня Мадрид, 2026. Т. 2. 397 с.

У 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 у 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 галузей, розробникам мультимедійних інформаційних продуктів, аспірантам і студентам.

УДК 004.9

ISBN 978-617-8254-59-9
DOI: 10.30837/PMW.2026.T2

© Вовк О. В., Чеботарьова І. Б.,
Дейнеко Ж. В., 2026
© ТОВ «Друкарня Мадрид», 2026

ЗМІСТ

ВСТУП

1	<i>Vovk O., Chebotarova I., Chub L., Mendieliava M.</i> FACTORS OF EFFECTIVENESS OF 2D ANIMATED VIDEOS IN DIGITAL ADVERTISING	6
2	<i>Кукура Ю.В., Кукура О.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКАРСЬКИХ ФАРБ ТА ПАПЕРУ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ОФСЕТНОГО ДРУКУ	47
3	<i>Сільченко В.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КНИЖОК ШРИФТОМ БРАЙЛЯ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМИ ДОДАТКАМИ	62
4	<i>Григор'єв О.В., Вовк О.В., Яценко Л.О.</i> АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПРОДУКТІВ	85
5	<i>Azarenkov V.</i> ABOUT THE UNIVALENCY OF THE FOUNDATIONS OF COLOR CREATION THEORIES	134
6	<i>Голубник Т.С.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ ТОНУ В ЕЛЕКТРОФОТОГРАФІЇ	145
7	<i>Дубневич М.М., Сельменська З.М.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗМІСТУ ЗОБРАЖЕННЯ У СУБЛІМАЦІЙНОМУ ДРУЦІ	154
8	<i>Семенів В.В., Занько Н.В., Ковальський Б.М., Семенів М.Р.</i> ТРАНСФОРМАЦІЯ КОЛЬОРІВ У СИСТЕМАХ ІЗ РОЗШИРЕНИМ КОЛІРНИМ ОХОПЛЕННЯМ	170
9	<i>Семенів М.Р., Кинаш Ю. Є., Кустра Н. О., Логойда М.М.</i> ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ ШРИФТІВ У ЦИФРОВОМУ ДИЗАЙНІ	182
10	<i>Слуцкін М.В.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІМИ КОМУНІКАЦІЯМИ НА ПОЛІГРАФІЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	199
11	<i>Maik L., Maik V.</i> ANALYSIS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN PLATE-MAKING PROCESSES OF GRAVURE PRINTING	216
12	<i>Havenko S., Labetska M.</i> PRINTING TECHNOLOGY COMPATIBILITY AND GERMINATION VIABILITY OF SEED PAPER AS A SUSTAINABLE PACKAGING INSERT MATERIAL	226
13	<i>Трунова Т.О., Табакова І.С.</i> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ПОЛІГРАФІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В CAD/CAE-СИСТЕМАХ	236
14	<i>Дейнеко Ж.В., Криворучко М.О., Морозова Л.Ю.</i> МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КЛАСИЧНІ ПРОЦЕСИ СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ	254

15	<i>Супрун О.О., Чеботарьова І.Б.</i> ВРАХУВАННЯ СПЕЦИФІКИ МЕДІАГАЛУЗІ В НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОМУ КОНТЕНТІ ДИСЦИПЛІНИ «ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ ДИЗАЙНЕРІВ»	269
16	<i>Челомбітько В.Ф.</i> ВИКОРИСТАННЯ ШРИФТІВ В ОЗДОБЛЕННІ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ	299
17	<i>Сеньківський В.М., Піх І.В., Кудряшова А.В.</i> МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЧИТАЦЬКОГО ПОПИТУ	311
18	<i>Хамула О.Г., Васюта С.П., Угрин Я.М.</i> АНАЛІЗ ТА ВИОКРЕМЛЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПРОЦЕС НАНЕСЕННЯ ШРИФТУ БРАЙЛЯ НА ПАКОВАННЯ	328
19	<i>Криховець О.В., Сельменська З.М.</i> ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРАФАРЕТНИХ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ	342
20	<i>Король А.Л.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ДРУКАРНІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ	358
21	<i>Марків О.О., Висоцька В.А., Лозинська О.В.</i> КОНЦЕПЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ФЕЙКОВОГО КОНТЕНТУ З УРАХУВАННЯМ UI/UX-ПІДХОДІВ	376
	АНОТАЦІЇ	386
	АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	397

ВСТУП

Монографію підготовлено за матеріалами міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології», організаторами проведення якої є кафедра «Медіасистем та технології» Харківського національного університету радіоелектроніки та кафедра мультимедійних технологій Інституту поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка».

Мета конференції – розширення міжнародного співробітництва та поглиблення спільної діяльності у науковій, дослідницькій, викладацькій та інших сферах, в галузі видавничої справи, поліграфії, мультимедійних технологій, економіки галузевих підприємств; підвищення ефективності освітнього процесу з підготовки фахівців для видавничо-поліграфічної галузі та впровадження в навчальний процес інноваційних форм і методів навчання.

Основні питання, що розглядалися 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.

У монографії колективом авторів висвітлено актуальні питання розвитку сучасних цифрових, мультимедійних та поліграфічних технологій. Значна увага приділена дослідженню інноваційних підходів у сфері web-технологій, мультимедійних видань, цифрового дизайну, інтеграції штучного інтелекту в інформаційні системи, а також автоматизації процесів у видавничо-поліграфічній галузі. У роботах розглянуто питання створення когнітивно-адаптивних інтерфейсів, мультимодальної цифрової обробки тексту, тематичного моделювання текстових корпусів, інтелектуального аналізу даних та використання сучасних AI-технологій у навчанні, рекламі, дизайні й медіакомунікаціях.

Важливе місце займають дослідження у сфері друкарських технологій, аналізу друкарських матеріалів, екологічності виробничих процесів та впровадження інтелектуальних систем управління у поліграфічному виробництві.

FACTORS OF EFFECTIVENESS OF 2D ANIMATED VIDEOS IN DIGITAL ADVERTISING

Vovk O.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0001-9072-1634

Chebatarova I.

Senior Lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0003-0105-4484

Chub L.

Master, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Mendielieva M.

Assistant, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0009-0002-4282-3147

Abstract. *This paper investigates which elements of animated videos have the greatest impact on audience attention, emotional response, and content memorability. Key criteria for the effectiveness of animated videos were identified and applied to the creation of an original promotional video aimed at attracting prospective students to design courses. Developed set of recommendations are intended to improve the effectiveness of communication with the target audience. Their implementation will enhance audience engagement, improve the quality of animated videos, strengthen their recognizability and emotional impact, and thereby contribute to increasing the competitiveness of multimedia content in the Ukrainian market.*

Keywords: *animation, 2D animation, video advertising, vector graphics, educational courses, target audience, visual effects.*

Introduction

In the contemporary information environment, visual communication plays a key role in how audiences perceive brands, educational products, or social initiatives. With the development of digital technologies [1, 6, 7] and the active use of social media [10, 17], animated videos have become one of the most effective tools for capturing attention and rapidly conveying information. Unlike static content, animation combines dynamics, color, sound, and visual accents, which ensures deep emotional engagement [12].

In recent years, animation has been actively integrated into advertising, educational, and social projects. Researchers point out that motion graphics are capable

not only of quickly capturing the user's attention but also of making information more comprehensible due to visual metaphors, rhythmic structure, and well-thought-out composition [15].

The growing role of animated videos is particularly relevant in the field of education and professional training. Educational courses, specifically in the domain of design, increasingly utilize short animated clips to capture the attention of prospective students and present material in a simple, accessible, and dynamic manner. Such videos not only inform but also establish an emotional connection with the viewer, build trust in the educational product, and contribute to differentiation among competitive offerings [14].

Despite the evident popularity of animation, the number of studies examining the impact of specific animation elements on viewer behavior and emotional engagement remains limited. A significant proportion of existing research focuses on the technical aspects of video production or general advertising issues, while providing insufficient insight into the particular visual and structural techniques that make an animated video effective for its target audience. Therefore, there is a need to investigate which specific elements of animated videos have the greatest impact on attention, emotional response, and content retention.

The purpose and objectives of the research

The aim of the study is to enhance the impact of animated videos on the behavioral, cognitive, and emotional responses of various target audience groups through developed guidelines for their creation process.

The key objectives of the study include:

- to conduct an analysis of animated advertising videos in order to identify successful approaches and factors influencing audience engagement;
- to design and conduct a survey among the target audience to determine the criteria by which animated videos are retained in memory and achieve their communication goals;
- to identify the main factors contributing to the effectiveness of animated videos, including storyline, visual style, color palette, movement rhythm, duration, and interactive elements;
- to develop an animated video based on the results of the analysis and survey, taking into account the identified criteria;
- to evaluate the effectiveness of the developed video in order to determine its compliance with quality standards and its impact on the target audience;
- to formulate content guidelines for animated videos for further use in advertising and educational projects.

The developed content guidelines for animated videos will contribute to higher viewer engagement, better information retention, and a more effective communication strategy.

Main part

1 Analysis of current research

Today animated videos occupy a significant place in communications, advertising, and educational projects. By combining motion, color, and sound, they facilitate rapid attention capture and present information in a comprehensible, emotional format. In a digital environment where viewers interact with vast amounts of content daily, short animated videos often prove to be the most effective tool for establishing contact with the audience [9, 21]. The demand for this format is increasing, particularly among educational platforms and courses that utilize animation to explain material and engage prospective higher education students. Within this domain, it is crucial not only to create an appealing visual sequence but also to understand which animation elements, such as color palette, rhythm, content delivery, and stylistic approach, influence emotional perception and information retention [13].

Despite the widespread adoption of animated videos, comprehensive research into their impact on target audiences remains insufficient. The majority of studies focus on technical aspects or general advertising principles, while the questions of emotional influence and the effectiveness of visual solutions remain under-researched [22]. Therefore, it is important to determine which elements of an animated video have the greatest influence on viewer attention and emotional response, thereby enabling the formulation of recommendations for developing more compelling and competitive video materials.

In the modern communication system, animated videos are viewed as one of the most effective means of information delivery. The scholarly literature emphasizes that animation is capable of combining emotional impact, informativeness, and visual appeal, which leads to its widespread use in advertising, education, social campaigns, and promotional materials [14]. Researchers underscore that key elements, such as storyline, execution style, color palette, composition, motion dynamics, character design, and audio accompaniment, play a crucial role in the perception of an animated video. The combination of these factors forms a cohesive message and determines the level of emotional and cognitive impact on the viewer.

An important factor in the effectiveness of animated videos [20] is the use of color and its influence on the viewer's emotional state. A successful combination of color palette, movement pace, and sound design enables the creation of videos that evoke a distinct emotional response and facilitate better information assimilation [9].

An analysis of both Ukrainian and international scholar sources [2-5, 16, 26] indicates that the effectiveness of an animated video depends on the integration of several key components as a well-developed storyline, rhythmic dynamics, a harmonious color palette, expressive character design, balanced composition, and appropriate interactive elements. These very factors will form the foundation for creating the experimental animated video and will provide the basis for evaluating its impact on the target audience, which serves one of the primary objectives of this study.

2 Factors Affecting the Effectiveness of Animated Videos

The effectiveness of animated videos is determined not by one, but by a entire set of interrelated factors that influence how the viewer perceives information, reacts to visual and audio signals, and remembers the main message. Based on the analysis of modern research in the fields of animation, graphic design, and perception psychology, it is possible to identify key elements that shape the emotional and cognitive response of the audience [22].

2.1 Visual influencing factors.

The visual component of an animated video is the primary factor influencing audience perception, as images, color, and motion are the first elements to shape the viewer's emotional response and determine whether they will continue watching. Studies in animation and graphic design indicate that people react instantly to visual signals. Therefore, the storyline, character stylization, composition, and frame rhythm must be coherent and functional [15]. In the context of intense information competition, the first seconds of a video play a decisive role, while a clear focus on the main elements and well-designed transitions between scenes help maintain the viewer's attention [14].

This section examines the main visual factors that influence the effectiveness of animated videos.

1. The storyline and structure of the video.

The storyline serves as the foundation of an animated video, as the sequence, logic, and development of events are the primary means through which the core message is conveyed and the emotional direction of perception is formed. Research on visual storytelling emphasizes that a well-structured narrative helps viewers navigate the presented material more quickly and remember key messages more effectively [3].

Clear dramatic structure is particularly important for short animated videos and it typically consists of several logical stages:

- an opening scene that immediately establishes the context and captures attention;
- the main content section, where the key information is delivered;
- a climactic moment that generates the strongest emotional response;
- a final emphasis or conclusion that reinforces the main message.

Breaks in narrative logic or an excessive number of secondary details reduce audience engagement, as viewers expend attention on elements that do not convey essential information. Researchers also note that first impressions are formed within the first 2-3 seconds. Therefore, the opening of a video should be highly expressive quickly immerse the viewer in the topic [15].

An important aspect of the storyline is simplicity and conciseness. A short animated video cannot contain a complex or branched narrative. Instead, it should communicate one clear idea supported by all visual and audio elements. This approach makes the video more focused and helps avoid unnecessary cognitive overload for the audience.

In the context of educational and advertising videos, the sequential structure of information delivery is also essential: information should unfold progressively from simple concepts to more complex ones, enabling viewers to follow the content effortlessly. This increases the level of comprehension and contributes to better retention of the material [25].

Thus, the storyline and structural organization of a video are fundamental factors that determine the logic of information perception and the degree of the audience's emotional engagement. Their quality directly influences whether viewers are willing to continue watching and how effectively they retain the core message.

2. Character design.

Characters are one of the key visual elements of animated videos, as they are capable of quickly establishing an emotional connection with viewers and facilitating information perception. Research in animation design emphasize that characters function as “carriers” of emotions and meaning, while their stylization directly influences the audience's willingness to engage with the video [22].

One of the main principles of character creation is silhouette readability. The character's shape should be simple and recognizable even in motion (see Fig. 1). This helps viewers quickly identify the character and understand their role within the narrative. Expressive gestures and minimalist facial expressions make it possible to convey emotions without overloading the scene with details, which is particularly important in short videos where every second matters.



Figure 1 – M&M's characters

The color design of a character is equally important. Psychological studies demonstrate that warm tones are associated with activity and friendliness, whereas cool tones are linked to restraint and analytical thinking [15]. Consequently, color helps reinforce the character's personality and creates an emotional context within the frame.

Another important aspect is the correspondence between the character design and the target audience. Youth-oriented videos require dynamic and contemporary character designs, while educational content more often relies on mentor-like characters intended to simplify complex topics. In advertising videos, characters frequently serve as central focal points around which the composition and narrative are constructed.

Excessive detail may complicate perception. Therefore, many sources recommend the use of simple, stylized character designs that allow viewers to focus on the content and movement rather than on secondary decorative elements [25].

Thus, well-designed characters support the storyline, enhance emotional impact, and help viewers better remember the key ideas conveyed in the video.

3. Color solution.

Color in an animated video affects the viewer more quickly than any other visual element within the frame. It is through that emotional tone establishes the first visual impression but the color palette performs not merely a decorative but also a distinctly functional role. Studies indicate that color is capable of directing attention, enhancing the mood of a scene, and even influencing how easily a person remembers the presented information [15].

Color palettes based on several dominant colors tend to be the most effective, as they help avoid visual clutter (see Fig. 2). The contrast between the background and key objects allows viewers to focus their attention more quickly on the intended elements and makes the image easier to perceive even during rapid viewing [9].



Figure 2 – Characters of the animated film *Despicable Me*

Color within a scene also performs an emotional function. Warm tones create a sense of energy and openness, whereas cool tones are generally associated with calmness or technological sophistication. Pastel shades are particularly effective in educational content, where it is important to avoid visual strain and to ensure that the presentation remains soft and comfortable for viewers.

Special attention should also be paid to color rhythm – the alternation of bright and restrained tones. This technique helps structure information and highlight logical sections without the need for additional graphic accents [14]. In advertising videos, it also contributes to the creation of a recognizable visual style and supports brand identity.

Overall, the color palette in an animated video is not merely an aesthetic component. It influences viewing comfort, the speed of information perception, and the viewer's emotional state, making it an essential component of effective communication.

4. Frame composition.

Composition plays an important role in how viewers perceive a scene and determine which elements attract their attention first. A properly constructed frame helps organize the visual space in such a way that key elements immediately capture attention, while the viewer's gaze naturally follows the logic of the video. Research in visual communication demonstrates that composition influences not only aesthetics but

also the speed of information processing; therefore, in animation it becomes a tool for directing audience attention [9].

One of the fundamental principles of composition is the hierarchy of elements. Each frame should contain a single primary object – a character, an important gesture, infographic, or text element. When several objects compete for attention simultaneously, viewers may struggle to understand the main idea of the scene. For this reason, designers often employ scale, color, contrast, or positioning to emphasize the primary focal point and reduce “visual noise”.

It is also important to maintain a balance between filled areas of the frame and empty space. Clearly organized white space does not make a video appear empty. On the contrary, it helps emphasize meaning, reduce perceptual overload, and create a sense of visual order (see Fig. 3). Frames lacking sufficient space often appear heavy and oversaturated, causing viewers to become fatigued more quickly [25].

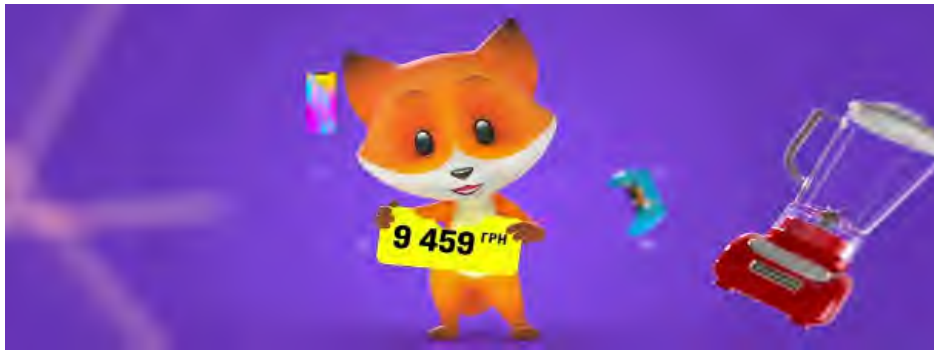


Figure 3 – Composition of Foxtrot advertising

Another key element is the use of compositional lines and direction of movement. The human eye naturally follows the direction of a gesture, a character’s gaze, or the vector of animation. Therefore, such lines should guide the viewer toward the main elements of the frame. If character movements or animation effects diverge in different directions, this creates a sense of chaos and disrupts the logic of perception (see Fig. 4).



Figure 4 – Composition of Green Forest advertising

In dynamic animation, the sequence of frames is of particular importance, because the transition between scenes should be smooth in order to avoid abrupt “breaks” in visual logic. When scenes change naturally, viewers are able to maintain focus more easily and retain the content more effectively.

Thus, frame composition is not merely a matter of aesthetics. It determines the logic of eye movement, the pace of perception, and the overall comfort of viewing. A well-constructed frame helps make an animated video clearer, more structured, and more appealing to the target audience.

5. Rhythm and pace of animation.

The rhythm and pace of a video determine how dynamically the viewer perceives the presented information. Even with high-quality graphics and a well-designed narrative, a poorly chosen pace can reduce the effectiveness of the animation. Too rapid delivery overloads attention, while an excessively slow one leads to a loss of audience interest. Research in motion design emphasizes that rhythm specifically helps structure movement and create a natural viewing “flow” [9].

In short videos is particularly important because viewers evaluate the content within the first few seconds. If the scenes change logically and harmoniously from the very beginning, the viewer easily follows the storyline. However, when transitions are too abrupt or uncoordinated with the musical accompaniment or character movements, it creates a sense of chaos and reduces the level of engagement.

A crucial aspect is the synchronization of movement with the musical accompaniment. Smooth transitions, character movements, and the appearance of text blocks must all rhythmically align with audio cues. This approach helps enhance the emotional impact and make the video more cohesive. Cognitive science research demonstrates that the synchronicity of visual and auditory elements enhances focus and accelerates content comprehension [14]. It is also essential to consider the dynamics within a single frame: movements must be logical, and the speed must match the character of the scene. For instance, educational videos often feature a calmer pace, allowing the viewer to internalize the information. Conversely, advertisements utilize rapid cuts and active animation to convey energy and sustain attention throughout the entire video.

Another aspect is the rhythm of graphic elements. When scenes change at relatively equal intervals and visual cues appear exactly where the viewer expects them, the video is perceived more naturally. Conversely, when the rhythm changes constantly without logical justification, it becomes more difficult for viewers to maintain focus and can create a sense of fragmentation.

2.2 Sound impact factors

Sound design is an integral part of an animated video, as it complements the visual layer and significantly shapes emotional perception. Audio elements help maintain the rhythm of the video, emphasize key moments, and create an atmosphere that reinforces the meaning of each scene [14]. For this reason, music, sound effects, and voice-over are considered separate factors influencing viewer engagement and viewing comfort.

1. Musical accompaniment.

Musical accompaniment is one of the elements that viewers may not consciously notice, yet it forms the emotional foundation of the entire animation. Music defines the

character of a scene, the pace of perception, and creates coherence between individual frames. Studies in multimedia design emphasize that a well-chosen soundtrack can significantly enhance the impact of a video and make it more memorable [14].

One of the primary functions of music is emotional regulation. For example, light melodies enhance a sense of comfort, dynamic tracks add energy, while deeper and more atmospheric compositions help create a focused or tense mood. In short advertising videos, music often becomes part of brand identity, as it can evoke associations without requiring additional visual cues.

Equally important, music helps structure the rhythm of the video. When visual changes align with audio accents, the video is perceived as more natural. Conversely, if the music does not correspond to the scene dynamics, a sense of dissonance arises, which distracts attention and may even reduce trust in the content.

In educational videos, music is typically used as a background element – it should not dominate or interfere with the perception of textual information. In this context, it is important to find a balance between emotional expressiveness and neutrality so that the melody supports the overall atmosphere without distracting from the content.

Another aspect is volume and sound quality. Uneven audio levels, abrupt changes, or excessively loud accents can cause discomfort, leading some viewers to stop watching. Therefore, sound balance is as important as the choice of the musical composition itself.

Overall, musical accompaniment is an important psychological tool that helps guide attention, set the mood, and create the desired emotional effect. It enhances visual decisions and makes an animated video more cohesive and expressive for the target audience.

2. Sound effects.

Sound effects complement the visual component of a video and often serve as micro-accents that enhance specific actions, transitions, or character interactions. As a result, scenes appear more dynamic, and changes within the frame become clearer to the viewer. Studies in multimedia technologies indicate that appropriately selected sound effects help create a sense of space, tempo, and dynamics, thereby influencing the overall emotional atmosphere of the video [8].

One of the key functions of sound effects is to emphasize important moments. For example, the sound of an object that appears, a click, a soft impact, or a character's movement serves not only a decorative but also an informative function. Viewers respond more quickly to changes in the frame when they are accompanied by brief but appropriate sound cues. This helps highlight key elements and improves the comprehension of ongoing actions.

Sound effects also contribute to a sense of realism. Even in stylized animation, short audio cues can create a “presence” of objects – the viewer perceives that a character is touching an object, moving through space, or interacting with other elements of the scene. This makes character behavior appear more natural and the overall video more cohesive.

It is important to maintain balance, as an excessive number of effects or overly loud accents can overload the viewer. Some videos lose effectiveness precisely because sound effects distract from the main content or conflict with the musical background. Therefore, literature recommends using effects selectively and aligning them with the overall style of the video [19].

3. Voiceover.

Voice-over is an essential element of sound design, especially in animated videos where the storyline must be clearly communicated or complex material explained. The audio accompaniment helps structure the presentation, underscores key messages, and makes the information more accessible to different audience groups [25].

One of the key characteristics of effective sound design is naturalness. Viewers are more likely to trust a voice that sounds calm, lifelike, and not overloaded with intonation. Excessive emotionality or, conversely, monotony can reduce interest and make the video less persuasive. It is also important for the tone and speaking style correspond to the style of the video: educational content typically uses a more restrained tone, whereas advertising videos frequently utilize a more energetic and emphasized style.

Voice delivery also affects the pace of perception. If the story is not synchronized with the visual changes, it becomes harder for the viewer to follow the video. Articulation and diction are also important. The audio must be clean, without distortion or ambient noise, as poor sound quality can create a sense of unprofessionalism and reduce trust in the video. In advertising and explanatory videos, it is often the voiceover that determines how the viewer perceives the final message [19].

2.3 Content factors.

In addition to visual and audio elements, the content of an animated video plays a crucial role. The extent to which the storyline is well-designed, the information is presented logically, and the message is clearly formulated determines the video's ability to influence the viewer's emotions, engagement, and motivation [24]. Therefore, content-related factors are regarded as a key component of audience engagement and the achievement of communication objectives.

1. Narrative Structure.

The narrative is the foundation of any animated video, as it determines the logic of events, the sequence of scenes, and the manner in which information is presented. A well-constructed narrative allows viewers to easily follow the content and transition naturally from one stage of the video to the next [24].

For short animated videos, it is particularly important that the narrative remains highly concise. An excessive volume of information or redundant scenes creates cognitive overload, causing the viewer to lose focus. Consequently, most effective videos employ a classical structure that consists of an introduction, the main content, and a brief conclusion, which summarizes the key message.

The underlying message of the narrative also plays a vital role. When a video features a clearly formulated concept, it serves as the foundation around which

characters, scenes, and visual transitions are constructed. If the content lacking such a central idea often appears disjointed, and the video itself may seem like a random sequence of frames [2].

Particular attention should be paid to the pacing of events. If the narrative develops too slowly, the viewer loses interest, but if it progresses too quickly, they fail to understand the key points. This is especially critical in advertising videos, where every second carries informational value. In educational content, a slower pace is acceptable, as it facilitates better information retention.

Narrative structure also influences emotional perception. Minor plot twists, humorous elements, or logically constructed dialogues help sustain attention and make the video more engaging. Simple yet expressive stories are often perceived better than complex concepts, as they appeal to the fundamental mechanism of storytelling, to which the majority of the audience responds favorably [3].

2. Key messages.

Key messages are the specific ideas or statements that a video aims to communicate to the audience most clearly. They determine what viewers will remember after watching and what meaning will remain in their perception [26].

One crucial principle is conciseness. If there are too many key messages, the viewer is unable to process or memorize them within the given timeframe. Therefore, it is essential to select one to three key concepts that best reflect the purpose of the video. In promotional videos, this key concept can be a call to action or a brief product advantage, whereas in educational videos, it represents the primary concept or process being explained.

Beyond quantity, the method of presentation is of significant importance. Messages should be formulated in a manner that ensures immediate comprehension upon first viewing. Excessively complex wording or terminology that does not correspond to the audience's level of preparation reduces the effectiveness even of high-quality animation. Simple, clear, and emotionally neutral phrases that require no further explanation tend to be the most effective.

For key messages to be perceived naturally, they must be naturally integrated into the narrative. Successful videos use visual cues, changes in pacing, or short character lines to emphasize key ideas without direct imposition. In many animated videos, key messages are duplicated as on-screen text. This reinforces memory retention and is particularly critical for visual learners.

3. Humorous and emotional elements.

Humor and emotional accents are important content elements that can significantly enhance the impact of an animated video. They help establish a more natural connection with the audience, make the presentation more engaging, and emphasize key points.

Humor is often used to relieve tension and make the video feel more relatable to viewers. Even a brief joke or a playful character movement can create a sense of ease and sustain attention (see Fig. 5). However, it is important that the humor is appropriate and aligns with the overall aesthetic of the video. If it appears forced or does not fit the

topic, it may produce the opposite effect by distracting viewers or reducing the seriousness of the main message.



Figure 5 – visual design of the social advertising campaign "*Dumb ways to die*"

Emotional elements function somewhat differently. They may be subtle, such as changes in color, character facial expressions, or smooth transitions, or more expressive, for example, a clearly articulated emotional message or a dramatic moment. Such techniques help viewers establish a connection with the video rather than perceive it merely as informational material. Even minimal emotional elements create a sense of engagement and generate a deeper interest in the topic.

In promotional animated videos, emotional and humorous elements are often used as tools for building brand loyalty. In educational videos, they help avoid monotony and make the material more dynamic and engaging. In both cases, it is important that emotionality supports the content rather than overshadows it. Various studies emphasize that content evoking any emotional response such as a smile, empathy, or surprise is generally remembered more effectively and more quickly [24]. Animation provides broad opportunities for creating such accents due to the flexibility of movement, facial expressions, and stylized characters.

2.4 Platform factors.

The platform on which an animated video is distributed also influences its effectiveness. Each platform has its own technical limitations, promotion algorithms, and audience behavior characteristics that must be taken into account during video production. Research in media communications indicates that adapting content to a specific platform increases the likelihood of views, enhances audience engagement, and improves memorability metrics [25]. Therefore, the platform should be considered not merely a distribution environment, but also a separate factor influencing the perception of the video.

1. Video duration.

Video duration is one of the key parameters that determines audience engagement. Different platforms have their own “ideal” time frames shaped by the characteristics of user behavior. For example, short videos perform most effectively on TikTok and Instagram Reels [23], whereas on YouTube viewers are generally willing

to spend more time watching content, especially when the video is educational in nature.

In most cases, shorter duration provides an advantage because modern audiences consume content rapidly and are not always willing to devote more than 10-20 seconds to familiarizing themselves with material. However, excessive shortening may also be a disadvantage: if the video does not have sufficient time to develop its main idea, it may appear superficial or incomplete. Therefore, it is important to maintain a balance between concise presentation and sufficient informativeness.

Promotional videos most commonly use a duration of 10-15 seconds, as this is generally sufficient to communicate the key message. Educational content may be longer, but the narrative should develop consistently and without unnecessary pauses in order to maintain viewer attention. Research indicates that video duration should correspond both to the purpose of the video and to audience expectations on a particular platform [19].

2. Social Media Platforms and Format Adaptation.

Social media platforms have their own specific approaches to content presentation, which is why adapting the video format to a particular platform plays an important role. Each platform imposes different requirements regarding aspect ratio, frame dimensions, and methods of audience interaction. Visual materials that perform effectively on YouTube may be less effective on Instagram or TikTok, where content is primarily consumed on mobile devices and at a much faster pace.

Social media platforms also require a more dynamic tempo. Viewers are accustomed to rapidly switching between videos; therefore, it is important to ensure that key accents appear within the first few seconds. Research demonstrates that a strong opening and a visually striking first frame significantly increase audience retention [25]. Consequently, both the storyline and the composition should be adapted to the behavioral patterns of the audience on a particular platform.

Another important aspect is the use of text overlays. In mobile-oriented social networks, they are especially significant because many users watch videos without sound. Clear, concise, and properly positioned text blocks can compensate for the absence of voiceover narration and help viewers understand the key message more quickly.

It is also important to consider the algorithms of social media platforms. These algorithms prioritize videos that quickly generate reactions and views. Therefore, the role of format adaptation extends beyond technical parameters to include the ability of a video to immediately capture audience attention. If a video appears organic within the recommendation environment, its chances of being widely distributed increase significantly.

3. Features of Platform Display and Algorithms.

The algorithms of different platforms determine how and to whom an animated video will be shown. They primarily rely on user behavior, including whether viewers remain engaged with the video, watch it to completion, and interact with it. As a result,

the first few seconds of a video are of particular importance, since they influence the user's decision either to continue watching or to scroll further.

Another important factor is the clarity of the video under conditions of rapid content consumption. Algorithms tend to promote videos in which the composition is clear and the key elements remain easily distinguishable even at small display sizes. This is especially relevant for mobile platforms, where videos are consumed quickly and without close attention to minor details.

Platforms also take into account the overall pacing of the video because videos with balanced dynamics and logical transitions generally receive more views. If changes within the video appear natural and do not create discomfort for the viewer, the audience is more likely to continue watching, which positively affects further promotion by the platform's algorithms.

3 Research methods

In the field of multimedia technologies, where the objects of study include emotional reactions, perceptual characteristics, and viewers' subjective impressions, the combination of quantitative and qualitative methods plays a particularly important role. This is explained by the fact that animated content is often evaluated simultaneously as a visual message, an emotional product, and a technically constructed structure.

Quantitative methods make it possible to determine which video characteristics are mentioned most frequently by respondents, what types of dynamics they identify, and which stylistic decisions are perceived as attractive or, conversely, ineffective.

Qualitative methods provide an opportunity to examine an animated video not merely as a set of elements, but as a complete communication product in which every compositional, stylistic, narrative, or auditory decision is important.

In the field of animation, qualitative methods help reveal the "internal logic" of a video, namely the factors that make it cohesive, expressive, and professional. This is particularly important when comparing several videos or evaluating created content, since certain professional shortcomings may not be noticeable to ordinary viewers but can significantly influence the final result.

Within the scope of this study, a combination of two approaches was selected: a quantitative method in the form of a questionnaire survey and a qualitative method in the form of expert evaluation. This choice makes it possible to assess animated videos simultaneously from the perspectives of viewers and specialists, thereby ensuring the objectivity of the experiment.

3.1 Questionnaire Survey Method.

The essence of a questionnaire survey lies in recording respondents' answers to a standardized set of questions presented in the form of a questionnaire. This method is characterized by a high level of structure, reproducibility, and the ability to reach a large number of participants within a short period of time. A questionnaire enables the collection of both quantitative and qualitative data, making it an effective tool for a wide range of scientific studies.

The advantages of questionnaire surveys that make them one of the most effective research tools include:

- the ability to quickly reach a large number of respondents and ensure sample representativeness;
- standardization of questions, which ensures comparability of responses and enables quantitative analysis;
- anonymity that promotes greater honesty and reduces social desirability bias;
- cost-effectiveness, as surveys do not require significant financial or material resources;
- convenience for respondents, who can complete the questionnaire at any time and under comfortable conditions;
- ability to combine different types of questions (closed-ended, open-ended, and scale-based) to obtain comprehensive information;
- ease of use of online platforms that automatically organize, process, and visualize results.

Questionnaire surveys are a universal and methodologically flexible approach to data collection that combines structure, accessibility, and high efficiency. They allow researchers to obtain both objective quantitative data and subjective opinions of respondents, making this method an essential component of modern empirical research.

3.2 Analysis of Animated Video Analogues.

The analysis of existing analogues plays an important role in studying the impact of animated videos, as it enables the identification of effective information presentation techniques, the strengths and weaknesses of contemporary video content, and the specific patterns of interaction between videos and viewers. For this purpose, three animated videos were selected, each representing different approaches to the creation of educational and promotional multimedia content.

The first analogue is a promotional video of the online English language school Green Forest (Fig. 6). The second analogue is an E-Learning App promotional video demonstrating an educational application for self-directed learning (Fig. 7). The third analogue is a promotional video “Stop postponing – join EnglishDom!”, which combines character animation with an emotional and dynamic presentation (Fig. 8).



Figure 6 – Green Forest promotional video

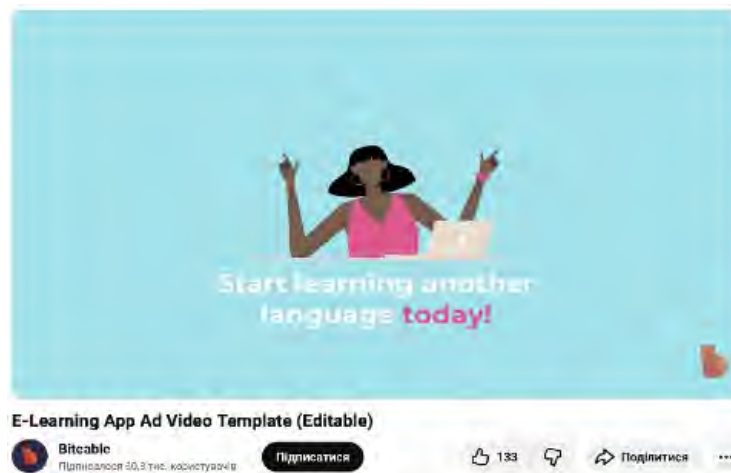


Figure 7 – E-Learning App promotional video

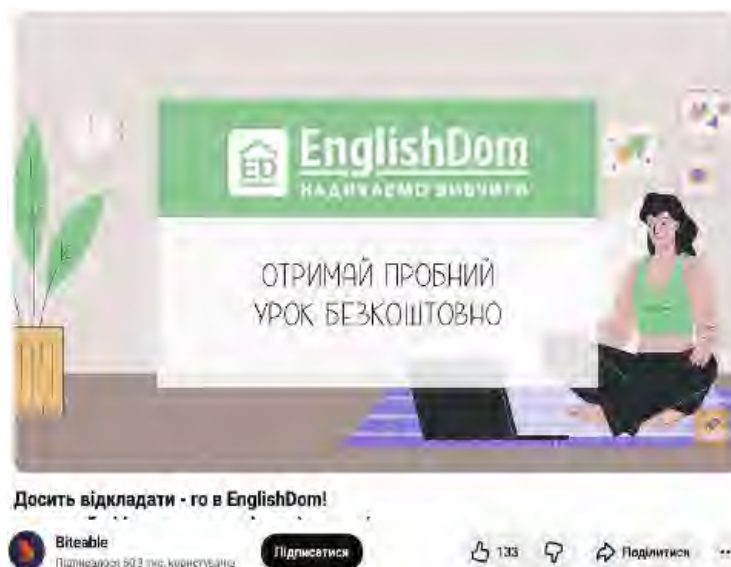


Figure 8 – EnglishDom promotional video

3.3 Target audience of animated videos.

The target audience of animated videos is defined by the purpose of their creation and their field of application. The primary focus is on a young audience that actively consumes digital content and engages with multimedia materials through social media, educational resources, and online platforms. This group includes high school students, university applicants, and young professionals interested in creative and technical fields, particularly design and visual communication.

This audience is characterized by a dynamic style of information consumption and high sensitivity to visual and auditory stimuli. For this reason, emotionally expressive animated videos with a well-considered color palette, composition, and pacing are able to quickly attract attention and create a positive impression of the message [9]. Such viewers expect short, informative, and visually appealing videos that correspond to contemporary aesthetic trends.

A separate segment of the audience consists of applicants and potential students of higher education programs. For them, animated videos serve not only an informative

but also a motivational function, as they help generate interest in a field of study and demonstrate the attractiveness of the educational environment [13].

An understanding of the characteristics and needs of the target audience makes it possible to more precisely determine the visual and structural techniques that will be most effective in the process of creating animated videos and ensure efficient communication with viewers.

3.4 Developed Design of Questionnaire.

For the practical part of the research, an online questionnaire was developed using the Google Forms. Its aim was to examine the perception features of animated promotional videos and to identify the criteria that influence the target audience's level of interest. The questionnaire consisted of several logically structured sections, which made it possible to systematically collect information about participants, their experience of interacting with animated content, and their in-depth evaluation of specific video materials.

Each block of the questionnaire served a distinct research function (Fig. 6).

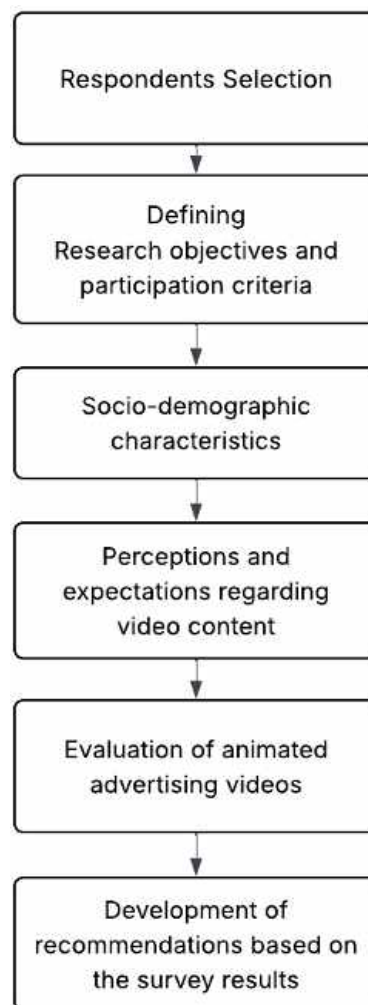


Figure 6 – Algorithm of the empirical survey

The first block had an introductory character and included an opening message addressed to respondents. It briefly outlined the objectives of the study and specified

the conditions of participation, including voluntariness and confidentiality. This introduction performed an important motivational and organizational function, encouraging informed participation from respondents.

Afterwards, participants proceeded to the socio-demographic section, which included questions about age, field of activity, and interest in educational courses. This block made it possible to establish a preliminary profile of participants and to determine whether their social and professional characteristics influenced how they evaluated animated advertising. This, in turn, allowed for consideration of media consumption contexts across different groups and the analysis of differences in their preferences.

The third section of the questionnaire was aimed at identifying respondents' general perceptions and expectations regarding animated promotional videos. In this section, respondents evaluated the frequency with which they watch animated content, indicated the optimal duration of a promotional video, and identified key elements that shape a positive or negative impression of a video. Considerable attention was given to parameters such as the importance of humor, simplicity of presentation, clarity of structure, as well as the visual and content coherence of the video. The questions in this section made it possible to determine viewers' basic preferences and to assess which components of video advertising are most significant from the audience's perspective.

The most detailed was the fourth section of the questionnaire, which involved evaluating three selected animated analogue videos used as comparative examples. For the analysis, the promotional videos of Green Forest, E-Learning App, and EnglishDom were selected. These videos differ in structure, style, emotional intensity, and information delivery. In this section, respondents evaluated each video according to specific criteria: content and main message, visual style, animation quality, use of humor, emotional impact, musical accompaniment, voiceover narration, speed and rhythm of information delivery, presence of infographics, clarity of characters, and use of on-screen text and subtitles. This multidimensional assessment made it possible to determine which video elements are most effective and which require improvement.

The fourth section also included scaled questions, which allowed for the quantitative measurement of the level of emotional impact of the videos, the attractiveness of the visual style, and the ability of the videos to maintain viewer attention. This is important because the emotional tone and dynamics of video advertising directly influence the user's intention to take a target action, ranging from visiting a website to registering or purchasing a product.

Here are the examples of questions included in the questionnaire:

- “What duration do you consider optimal for a promotional video?”;
- “Which elements make an animated video clearer and more convincing?”;
- “How important is humor or a light tone in a promotional video for you?”;
- “Which characteristics, in your opinion, make a video memorable?”;
- “How long do you usually remember an advertising video you have watched?”;
- “Have you ever become genuinely interested in a product after watching an animated advertisement (e.g., visited a website, subscribed, or signed up)?”;

- “How much did you like the video?”;
- “Which video best conveyed the advertising message?”.

Based on the results of the empirical survey, a set of recommendations was developed to improve the effectiveness of animated promotional videos. The recommendations focus on enhancing audience engagement, increasing emotional impact and content memorability, as well as improving communication with the target audience through the use of effective visual and narrative elements.

3.5 Survey results.

The questionnaire made it possible to collect quantitative data on how representatives of different age and professional groups perceive animated promotional videos. The obtained responses helped identify general trends in audience preferences, as well as determine specific video elements that influence the level of interest and memorability. The survey was conducted online using the Google Forms, which ensured convenient access for respondents and allowed for a broad sample to be reached. A total of 78 respondents participated in the survey.

In the first section of the survey, socio-demographic data were collected, including age, field of activity, level of interest in educational courses, and experience of interacting with animated content. The majority of participants were aged between 18 and 35 years (Fig. 9).

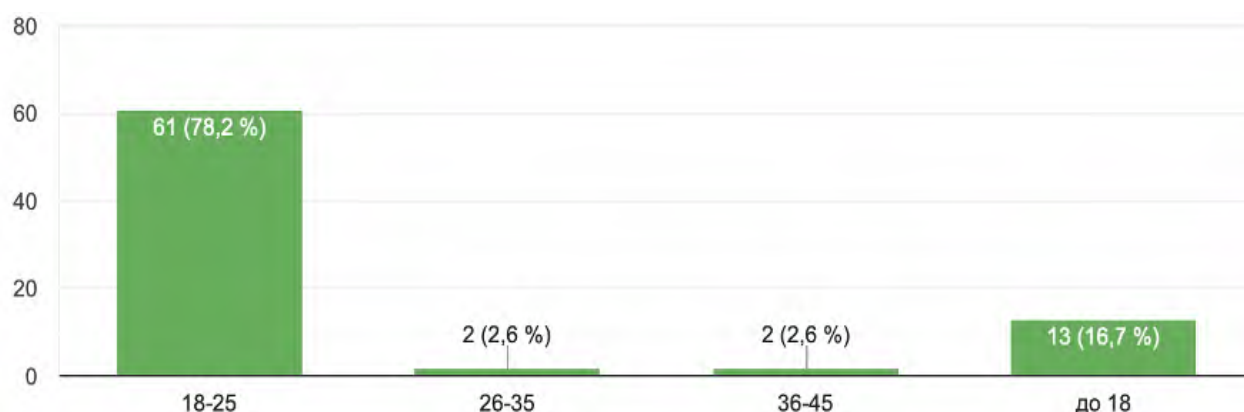


Figure 9 – Results by age category

In terms of professional background, the majority of responses were received from higher education students and young professionals in creative fields, which corresponds to the profile of the target audience for which promotional animated videos are typically created (Fig. 10). This made it possible to obtain realistic evaluations of the effectiveness of different video styles.

One of the key objectives was to determine which video format respondents consider the most convenient. The majority of participants indicated that the optimal duration of an animated promotional video is up to 15 seconds (61,5%), 15-30 seconds (33,3%), and 30-60 seconds (5,2%). This confirms the ongoing trend toward shorter digital advertising formats, which enable effective user attention retention in conditions of information overload.

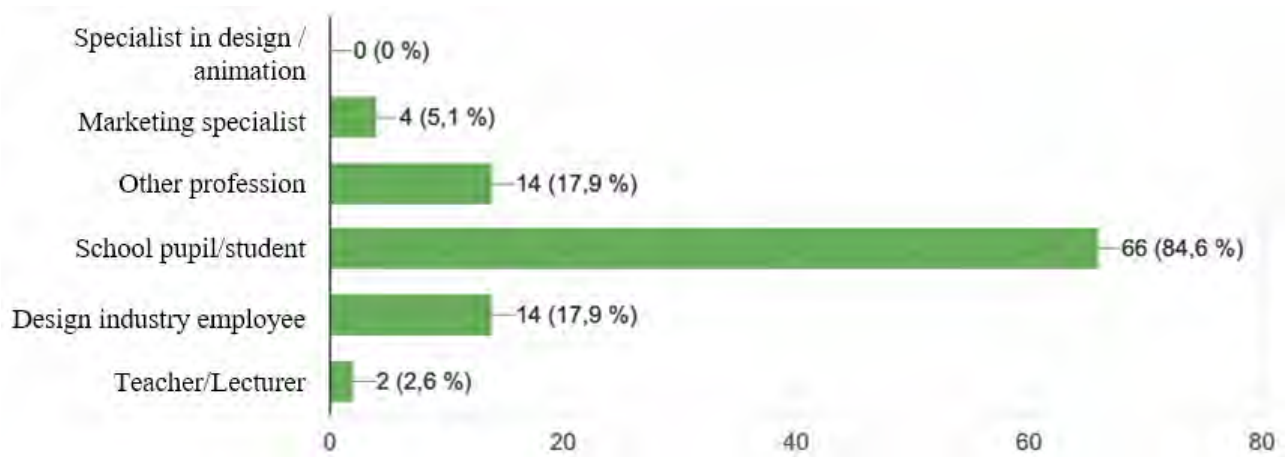


Figure 10 – Occupation

Respondents also identified the main factors that make a video engaging and easy to understand (Fig. 11).

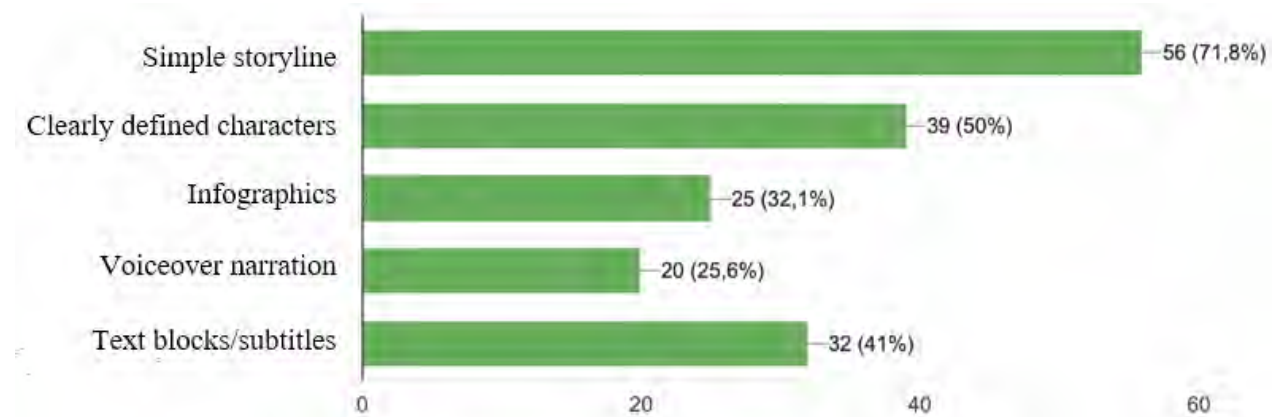


Figure 11 – Factors that make a video clear and persuasive

The most frequently mentioned factors were:

- a clear narrative structure;
- expressive characters;
- a harmonious color palette;
- well-chosen music;
- simplicity and humor in presentation.

These preferences demonstrate that viewers value structure, conciseness, and visual clarity. The role of humor and lightness was particularly notable – almost half of the respondents indicated that emotional or humorous elements help them remember advertisements better:

- very important – 71,8 %;
- moderately important – 21,8 %
- not important – 6,4 %.

A separate section of the questionnaire was devoted to identifying characteristics that make a video memorable (Fig. 12). This aspect is crucial for animated advertising videos, as a short visual story should not only attract attention but also leave an emotional impression that encourages further viewer action. Respondents were

allowed to select multiple answers, as memorability is shaped by a combination of different factors.

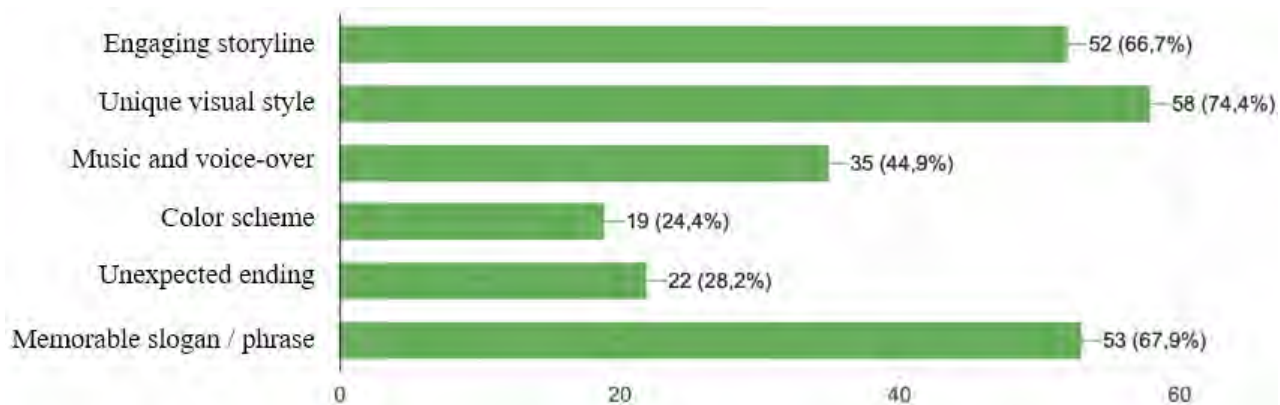


Figure 12 – Characteristics that make a video memorable

Participants most often highlighted a unique visual style (74,4 %), an interesting storyline (66,7 %), and a memorable slogan or phrase (67,9 %). Music and voice-over were considered slightly less important, although still significant (44,9 %). A smaller proportion of respondents selected color scheme (24,4 %) or an unexpected ending (28,2 %).

The next question concerned how long respondents typically remember advertising videos. The results showed that the largest proportion of participants maintain an impression of the video for several hours (30,8 %) or even several days (23,1 %). 12,8 % of respondents can maintain video impression for one day, and 25,6 % can do this for a few minutes. This confirms that short animated promotional videos can have a relatively long-lasting impact if they successfully generate interest or an emotional response. Only a small percentage of respondents indicated that they remember a video for more than a week (7,7%) – such cases are typically associated with highly distinctive and unconventional videos.

The questionnaire also included a section on elements that respondents consider undesirable (Fig. 13).

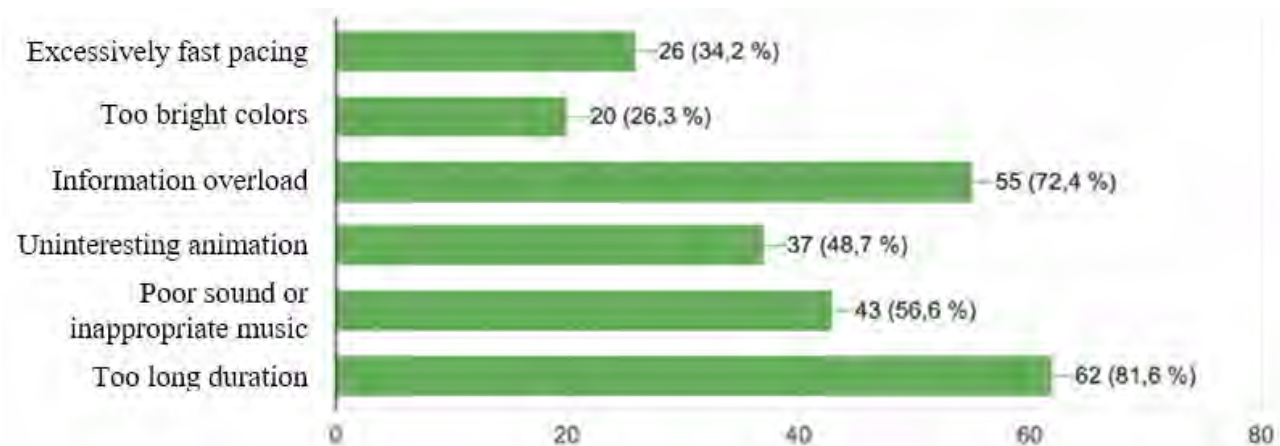


Figure 13 – Elements that may interfere with viewing

The most frequently mentioned responses included: excessively fast pacing that makes it difficult to process information; visual overload, such as excessive detail,

small text, or too much graphics; poor sound quality or inappropriate music; overly bright colors; and excessively long duration.

Respondents first evaluated the Green Forest promotional video. The overall reaction was moderately positive: the average score was 3,74 points, indicating some level of interest but without a strong emotional impact. The majority of responses were 4 points (38,5%), while the maximum score of 5 points was given by 26,9% of participants. This suggests that the video is generally liked rather than disliked. However, it does not evoke strong enthusiasm or a vivid emotional response (Fig. 14).



Figure 14 – Evaluation of the overall impression of the Green Forest video

Respondents also separately evaluated how clearly the video explains information about the course. In this case, the average score was lower – 3,18 points (Fig. 15). This may indicate that despite its pleasant visual style and high-quality presentation, the video does not convey the main idea of the course sufficiently clearly.



Figure 15 – How clearly the video explains the course content

Interestingly, the responses to the question “Whether the video encouraged you to learn more about the course” were rather critical. Only 20,8% of respondents answered “Yes”, while 32,5% explicitly stated that the video did not stimulate further

interest. The largest proportion (46,8%) selected “partially”, indicating a certain level of interest, but not strong enough to motivate action.

The second video evaluated by respondents was the E-Learning App Video. The overall ratings of this video were lower than those of Green Forest. The average score was 2,51 points, indicating that it was perceived as mediocre and relatively unremarkable (Fig. 16).

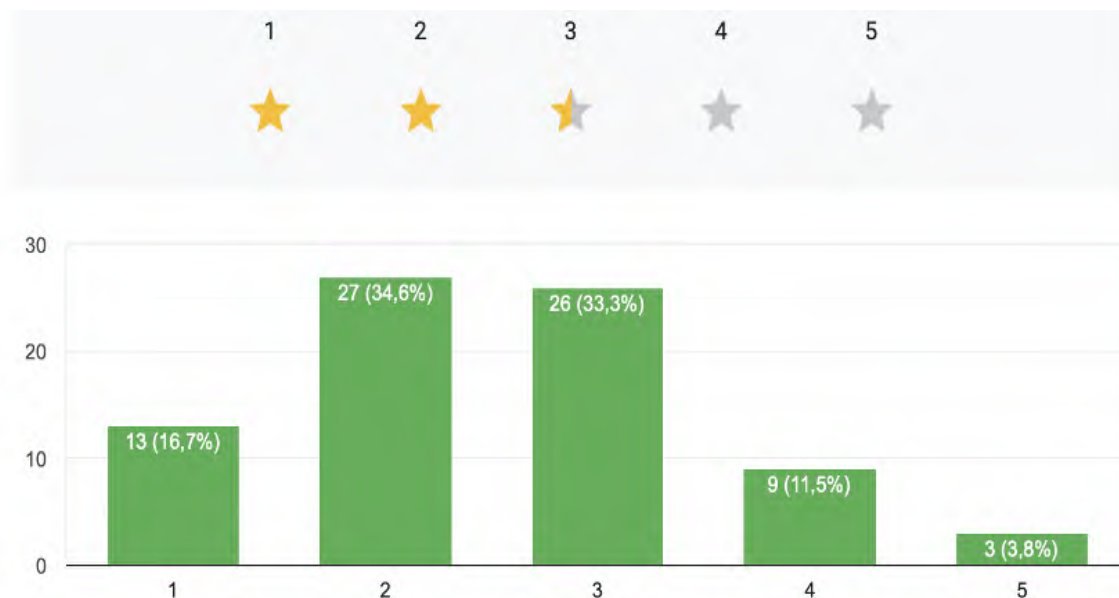


Figure 16 – Evaluation of the overall impression of the E-Learning App Video

Slightly higher results were obtained regarding the clarity of information presentation. The average score here was 3,42 points, with respondents more frequently selecting ratings of 3 or 4 (Fig. 17).

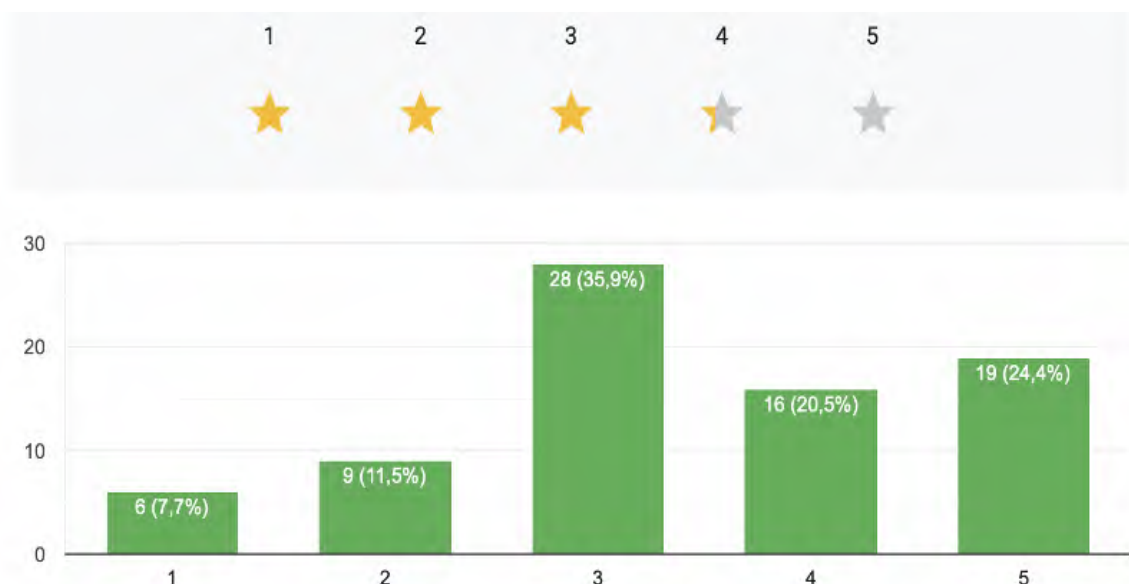


Figure 17 – How clearly the video explains the course information

This suggests that, from an informational standpoint, the content of the video is presented in a relatively logical and understandable way; however, it lacks the emotional component necessary for a strong advertising impact.

The most revealing were the responses to the question regarding viewer motivation. The majority of respondents (64,9%) stated that the video did not encourage them to learn more about the course. A partial interest was reported by 23,4%, while only 11,7% of participants expressed a positive reaction. This indicates that, although the video is structured, it does not have sufficient persuasive power to motivate potential higher education applicants to take action.

The third analyzed video was the EnglishDom promotional video, which is characterized by more dynamic animation, a clear structure, and a strongly expressed educational message. According to the survey results, the perception of this video was noticeably more positive compared to the second video, but slightly more restrained than the reaction to the first one. The average score of 3,58 indicates an overall positive impression. Particularly notable is the group of respondents who gave ratings of 4 (29,5%) and 5 (20,5%), demonstrating a strong emotional response to the video's style and dynamics (Fig. 18).



Figure 18 – Evaluation of the overall impression of the EnglishDom video

Clarity of content became the strongest indicator for the EnglishDom video, with an average score of 4,09. More than half of the participants (51,3%) stated that the video partially generated interest, while 26,3% indicated that it fully engaged them. This was the highest result among all three videos.

Summarizing the respondents' evaluations, a clear difference in the perception of each of the three videos can be observed. In response to the question "Which video best conveyed the meaning of the advertisement?", the majority of respondents selected Video 3, which received 53,9% of the votes. It was considered the most informative and the clearest in explaining the essence of the course. Videos 1 and 2 received significantly smaller shares – 22,4% and 23,7%, respectively.

A similar trend can be observed regarding the overall effectiveness of the videos. According to the responses to the question "Which video is the most effective for advertising courses?", Video 3 again ranked first with 45,5% of responses. Video 1 also demonstrated a relatively strong result with 40,3%, although it still lagged behind

the third video in terms of impact. Survey participants considered Video 2 the least effective, as it received only 14,3% of the responses.

3.6 Justification of the Criteria for Evaluating Animated Videos.

Based on the analysis of the literature, the reviewed video analogues, and the results of the questionnaire survey, a clear set of criteria was established that most significantly influence the perception and effectiveness of animated promotional videos. These criteria will subsequently be used by experts to evaluate the videos.

The following criteria were proposed for the evaluation of animated promotional videos:

- clarity of the main message (the extent to which the video communicates its core idea clearly and whether viewers can easily understand what it is about);
- logical structure and coherence of presentation (the degree of consistency, coherence, and organization of information, including how naturally scenes and content blocks transition into one another);
- visual attractiveness (the overall impression produced by the video's stylistic design);
- quality of animation (smoothness of movement, correctness of transformations, technical execution of scenes, and attention to minor details);
- use of color (the correspondence of the color palette to the emotional tone of the video);
- sound design and voiceover narration (the appropriateness of music, emotional expressiveness, correspondence to the genre and pace of the video, clarity of diction, voice timbre, intonation, and the overall suitability of the voice to the advertising content);
- pacing and dynamics of presentation (the comfort of scene transition speed, optimal scene duration, and balance between calm and dynamic sequences);
- emotional impact (the ability of the video to evoke interest, trust, or motivation to learn more about the course);
- memorability (the presence of recognizable elements that remain in viewers' memory after watching the video);
- informational richness (whether the video provides sufficient useful and specific information without being overloaded with unnecessary details).

4 Development of an animated video

The promotional animated video for design courses was created based on the results of the questionnaire survey, in which respondents identified the key elements that influence their attention and emotional perception of advertising videos. The obtained responses made it possible to form a clear understanding of what an effective promotional video should be like.

The survey results became the basis for the development of the storyboard – a sequence of scenes that determines the logic of the video, the placement of key accents, and the order of visual transitions [11, 18]. The storyboard helped structure the

material, visualize the script, and ensure a consistent progression of information delivery (Fig. 19).

After the storyboard had been developed, work began on the final visual style. The animation was created in a contemporary flat design style. The color palette combines calm background tones with contrasting accent colors, which helps highlight key elements without overloading the composition. The use of contrast corresponds to the psychological characteristics of color perception and helps viewers focus their attention more easily [15].

The typography was selected to ensure maximum readability. Text blocks are concise and placed within spacious compositional areas, allowing viewers to comfortably perceive key messages.



Figure 19 – Storyboard

The storyline of the video is based on the “problem-solution” model. The introductory part presents viewers with a typical situation or need, while the final scenes focus on delivering the main message and include a brief conclusion together with a call to action. Such a structure allows information to be communicated consistently and clearly even within a short duration.

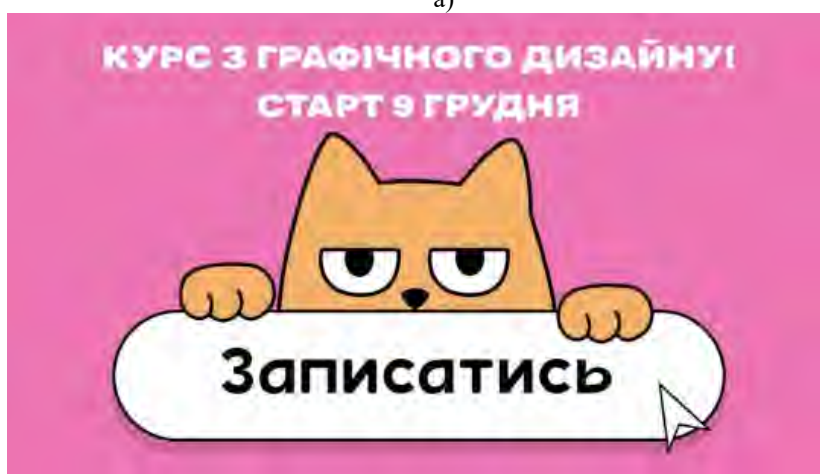
To strengthen individual accents, the video uses simple visual metaphors, including enlargement of elements, rhythmic appearance of text synchronized with the music, and color highlighting of objects. These techniques help make the information accessible and emotionally understandable without overloading the visual composition.

The pacing and dynamics of the video were adjusted according to the audience preferences identified in the questionnaire survey. Respondents noted that excessively rapid presentation complicates perception, while overly slow pacing reduces interest. For this reason, the video employs smooth transitions, a stable rhythm, and carefully designed pauses that allow viewers to comfortably process the content.

Cat that is the single animated character plays a special role in the video. Its presence was a deliberate choice, as some respondents indicated during the survey that they appreciated small emotional or “lively” elements in videos that create a friendly atmosphere (Fig. 20).



a)



b)

Figure 20 – Examples of frames from the developed video:

a) Opening frame, b) Call-to-action frame

The sound design was selected to create a light and unobtrusive background that supports the overall style of the video. Several sound effects were also used in the video:

- sound of mouse click – to indicate the selection of important options;
- notification sound – as an acoustic marker signaling the appearance of new information;
- light “pop” effects are accompanying the appearance of graphic elements.

The duration of the video is 22 seconds, which fully corresponds to the results of the questionnaire survey. The majority of respondents indicated that the optimal length of an educational-promotional animated video is between 15 and 30 seconds, as this format is most effective in maintaining audience attention while allowing information to be presented concisely and in a structured manner.

5 Conducting expert evaluation

In order to objectively evaluate the created animated video and compare it with other videos of a similar type, an expert evaluation was conducted. Four videos were included in the analysis: Green Forest, E-Learning App Ad Video, EnglishDom, and the developed animated video for design courses.

This approach made it possible not only to identify the strengths and weaknesses of each video individually, but also to determine the factors that allow the developed video to compete with existing content.

The expert group consisted of eight specialists working in the fields of design, motion graphics, advertising, and multimedia content production. These experts possess practical experience in visual communication and a strong understanding of the criteria used to evaluate the quality of animated advertising. Each expert worked independently and had no access to the evaluations of others, which prevented mutual influence and ensured the independence of the results.

To evaluate all four videos, a set of criteria was used that had been formed on the basis of literature analysis and the results of the questionnaire survey.

All evaluations were recorded using a 10-point scale and then entered into a summary table. The scores of each expert were documented separately for each of the four videos, which made it possible to subsequently calculate average values and obtain an overall picture of the results.

As part of the preparatory stage, all eight experts were asked not only to review the list of criteria but also to determine the importance of each criterion. For this purpose, each expert assigned a score using a 10-point scale, which made it possible to obtain an initial representation of their professional priorities.

After the ranking stage, the relative weight of each criterion was calculated. This was necessary to ensure that the final analysis considered not only the average score but also the degree of agreement among experts. For this purpose, a formula was used in which the total score of a criterion was correlated with the overall sum of standard deviations:

$$W = \frac{\sum x_i}{\sum \sigma_i}, \quad (1)$$

where x_i – row sum of scores;
 σ_i – standard deviation.

To verify the consistency of expert evaluations, the coefficient of variation was calculated for each criterion. The coefficient of variation (V) makes it possible to assess the degree of dispersion of evaluations relative to their mean value and to determine whether expert opinions are stable or excessively divergent. The formula for calculating the coefficient of variation is as follows:

$$V = \frac{\sigma}{X_e}, \quad (2)$$

where σ – standard deviation;
 X_e – average value according to all experts.

If $V \leq 0,2$ ($\leq 20\%$), the expert evaluations are considered consistent.

If $V > 0,2$, the level of disagreement is considered excessively high, and the expert evaluation should preferably be repeated.

After calculating the coefficient of variation for each criterion, it was established that all values did not exceed the acceptable threshold of 0.2, indicating a sufficient level of agreement among the experts. This means that the obtained evaluations are reliable and may be used for further calculations of the weighting coefficients of the criteria.

For comparison, four animated videos were selected and evaluated by experts according to each criterion using a scale from 1 to 4.

Criterion 1 – Clarity of the Main Message.

Question for experts: How clearly does each video formulate its key idea? Can the viewer quickly and without additional prompts identify the main message of the video?

The obtained concordance coefficient $W = 0.79$ indicates a high level of agreement among experts regarding Criterion 1.

Criterion 2 – Logical Structure and Coherence of Presentation.

Question for experts: How consistent, coherent, and logically structured is the presentation of material in each promotional video?

The obtained concordance coefficient $W = 0.86$ indicates a very high level of agreement among expert evaluations.

Criterion 3 – Visual Attractiveness.

Question for experts: How do you evaluate the overall visual appearance of the promotional video? How harmoniously are the graphic elements, style, composition, and overall aesthetics combined? Which video, in your opinion, appears the most visually attractive and best corresponds to the advertising theme?

The obtained concordance coefficient $W = 0.88$ indicates a very high level of agreement among experts regarding the visual attractiveness of the videos.

Criterion 4 – Animation Quality.

Question for experts: How do you evaluate the quality of animation in each video? Are the movements smooth and natural? How technically accurate are the transitions, transformations, and minor details?

The obtained concordance coefficient $W = 0.86$ indicates a very high level of agreement among experts. This means that the opinions of the experts regarding animation quality are highly consistent, and the evaluation is stable and reliable.

Criterion 5 – Use of Color.

Question for experts: How do you evaluate the use of color in each video? Does the selected color palette correspond to the emotional tone of the advertisement? How successfully are the colors combined, and do they avoid causing visual discomfort? Which video, in your opinion, uses color most effectively as a tool for reinforcing the advertising message?

The obtained concordance coefficient $W = 0.87$ indicates a very high level of agreement among experts. This demonstrates that expert opinions regarding the use of color are highly consistent, and the evaluations are stable and reliable.

Criterion 6 – Sound Design and Voice-Over Narration.

Question for experts: How do you evaluate the quality of the sound design in each promotional video? How appropriately was the music selected, and how

harmoniously does it support the visual sequence and mood of the storyline? Is the voiceover expressive, clear, and appropriate to the style of the video? Which of the videos demonstrates the highest level of audio design?

The obtained concordance coefficient $W = 0.91$ indicates a very high level of agreement among expert evaluations. This means that the specialists' opinions regarding the quality of sound design are almost identical, and the criterion can be used for the further substantiated selection of the most effective promotional video.

Criterion 7 – Pacing and Dynamics of Presentation.

Question for experts: How do you evaluate the speed of scene transitions, the rhythm of information delivery, and the overall dynamics of each promotional video? How comfortable is the pacing, and is it too slow or excessively intense? Which video, in your opinion, demonstrates the most optimal balance between activity and smoothness of presentation?

The obtained value $W = 0.78$ indicates a high level of agreement among experts regarding pacing and dynamics of presentation. This means that experts demonstrate similar views concerning this criterion, and the evaluation results are reliable and stable.

Criterion 8 – Emotional Impact.

Question for experts: How effectively does the promotional video evoke an emotional response? Is it capable of generating interest and creating a sense of trust, motivation, or inspiration? Which of the presented videos, in your opinion, leaves the strongest emotional impression?

The obtained value $W = 0.66$ indicates a sufficiently high level of agreement among experts. Although the evaluations are not perfectly identical, the level of agreement is sufficient for the results to be considered reliable and suitable for further conclusions.

Criterion 9 – Memorability.

Question for experts: The experts were asked to evaluate how easily each promotional video is remembered after viewing. The evaluation concerned the presence of recognizable visual and audio elements that remain in memory.

The obtained value $W = 0.73$ indicates a high level of agreement among experts. This means that their opinions regarding the memorability of the videos are relatively similar, and the evaluation results are reliable.

Criterion 10 – Informational Richness.

Question for experts: How do you evaluate the sufficiency, relevance, and balance of information in the promotional video? Does it contain all the necessary information, and does the informational content correspond to the purpose of the video? Which video, in your opinion, communicates key information most effectively without overloading the viewer?

The obtained value $W = 0.68$ indicates a high level of agreement among experts.

Based on the evaluations according to the ten criteria and taking into account their weighting coefficients, a generalized ranking of the four promotional videos was calculated.

As a result, the developed animated video demonstrated the best performance, receiving a total rating of 28.93, which secured first place in the overall ranking. The high result was determined by strong performance in the criteria of emotional impact, logical coherence of presentation, use of color, and overall visual attractiveness. The video consistently received high evaluations from experts across most parameters, indicating its comprehensive quality.

The Green Forest video ranked second with a total score of 20.19. Its strengths included clarity of the main message, expressive sound design, and effective pacing. However, compared to the leading video, it lacked a certain degree of emotional depth and richness of visual presentation.

Third place was taken by the EnglishDom video, which received 17.56 points. The video is characterized by a well-designed structure, appropriate pacing, and confident use of color; however, it was inferior to the competing videos in terms of informational richness.

The lowest total score among the four videos was obtained by the E-Learning App Ad Video, which received 13.32 points and ranked fourth overall. The main shortcomings of this video were insufficient clarity of the main message, low memorability, and weak emotional impact. Nevertheless, in some criteria, such as the use of color and certain aspects of visual style, the video demonstrated average performance.

The obtained results confirm that the developed animated video is the most balanced and effective among all the analyzed videos. It best meets audience expectations, demonstrating a high level of technical implementation, logical structure, emotional impact, and visual communication. Although the other videos also possess certain strengths, they do not achieve such a comprehensive combination of quality characteristics.

The created animated video, developed in accordance with the recommendations proposed in this study, demonstrated greater clarity of the main message, stronger audience engagement, and a more significant emotional impact. Experts noted that the consistency of visual, technical, and audio elements contributed to clearer information perception, while the survey results indicated increased audience interest and more positive behavioral responses. Thus, the application of the proposed recommendations genuinely enhances the effectiveness of animated content and improves communication outcomes.

Research results

6 Recommendations for improving the effectiveness of animated videos

The obtained results of the expert evaluation and the survey of the target audience made it possible to formulate comprehensive recommendations for improving animated videos for the age groups of 16-25 and 25-35 years. These two groups are active consumers of multimedia content; however, they differ in terms of attention span, viewing motivation, sensitivity to visual and audio elements, as well as expectations regarding informativeness and presentation style.

The results of the expert evaluation and the research findings confirm that the effectiveness of a video and its overall rating are primarily determined by the quality of communication, visual structure, color solutions, pacing, animation techniques, and emotional impact [25].

6.1 Recommendations for improving the effectiveness of animated videos.

1. Video content. The content should be presented according to the principle of “one idea – one scene” in order to improve attention retention and ensure rapid comprehension. Concise messages and a logical structure enhance the clarity of the video and make the material accessible even to unprepared viewers.

2. Visual component. The composition should contain one clear focal point, while the color palette should support the emotional tone and direct attention to key elements. Bright accent colors are appropriate for younger audiences, whereas adult audiences tend to perceive restrained and professional color tones more comfortably.

3. Animation and technical elements. Movements should be smooth, logical, and synchronized with changes in information, without excessive visual effects. Animated transitions should reinforce the content, emphasize important elements, and create a sense of scene coherence.

4. Sound design. Audio accents should be synchronized with key visual moments, while background music should not overpower the narrator’s voice. Properly adjusted volume levels and rhythm enhance perception and help maintain audience attention.

5. Emotional impact. Emotional accents should reinforce the main message and conclude the video with a sense of logical completeness. The most effective techniques are brief scene contrasts or a final emotional frame that strengthens memorability.

6.2 Video content.

The content should be structured in such a way that viewers can understand it regardless of their level of prior knowledge.

For the 16-25 age group, the “one idea – one scene” presentation format is particularly effective. This approach reduces cognitive load and helps maintain attention within a fast-paced information environment. If text is used within a scene, it should be concise and function as a “core message” throughout the video (Fig. 21).

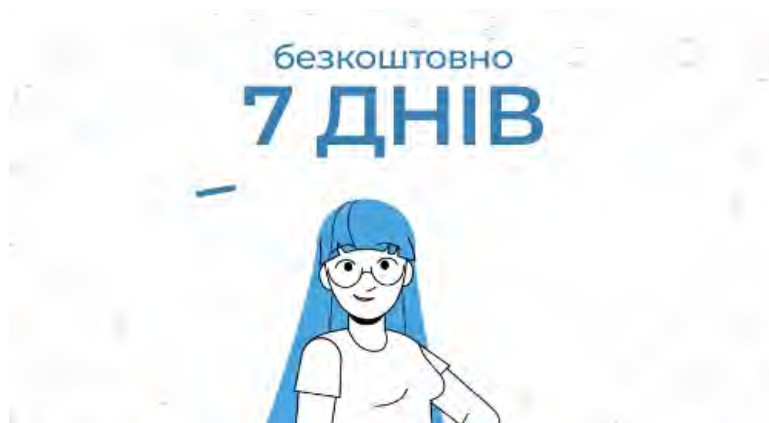


Figure 21 – Short message

For example, instead of the phrase “In this course, you will learn how to create animation for social media,” the shorter message “Create your first animation” is significantly more effective, followed by a visual example in the next scene [15].

For the 25-35 age group, it is advisable to include brief explanations, as this audience values meaningful content and seeks to understand its practical benefits (Fig. 22).

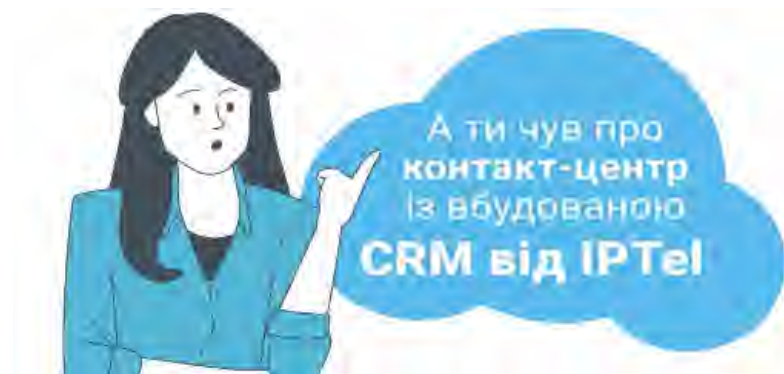


Figure 22 – Long message

For instance, before demonstrating a tool, the phrase “Step-by-step logic” may be used, followed after the demonstration by “Result in 20 seconds.” Such a structure guides the perception of the material and reflects the logic commonly used in contemporary educational videos [13].

There is an effective technique “content loop” where the main thesis is repeated at the end of the video but in a reinforced context. If the beginning presents a problem (“Hard to get started?”), the ending should provide a resolution (“Now you can start easily”). This approach strengthens comprehension of the message and increases memorability.

6.3 Visual component.

The visual component determines the first impression of an animated video and ensures the understanding of its content even before the viewer reads the text or hears the sound. Therefore, it is important to carefully select not only the style and composition, but also color solutions that influence attention, emotional response, and the perceived professionalism of the video. Since the 16-25 and 25-35 age groups differ significantly in behavior, content perception, and viewing rhythm, the visual strategy should take into account the specifics of each group.

For the 16-25 age group, clean minimalist compositions with a single dominant object in the frame and a strong color accent work best. Young audiences are accustomed to processing information very quickly; therefore, a “one main element per scene” structure makes the video clear and visually lightweight. In such cases, it is appropriate to use a dark or neutral background with a bright accent color for the main message or character. For example, against a dark blue or graphite background, bright yellow or electric blue colors naturally draw attention to the key object (Fig. 23).

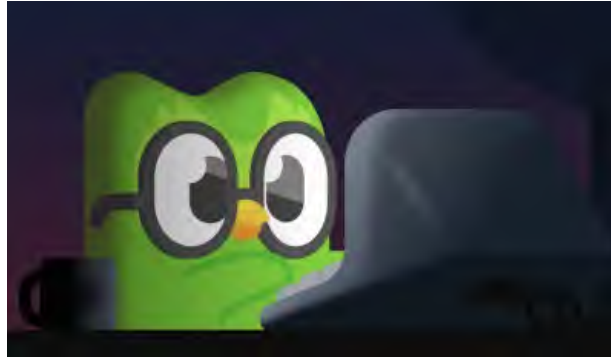


Figure 23 – Accent color of the character

This allows the viewer's focus to be directed precisely toward the element carrying the semantic load. This logic corresponds to the principles of visual hierarchy, where approximately 40% of the viewer's attention is directed to the most contrastive object in the frame [15].

Typical color solutions for a youth audience of 16-25 years old (Fig. 24):

- electric blue;
- neon purple;
- bright yellow;
- mint green.



Figure 24 – Color schemes for the 16-25 age group

These colors are effective because they create a sense of modernity, simplicity, and energy, which are the qualities that the younger generation associates with digital products, learning platforms, and creative tools. They quickly establish an emotional signal and work well with minimalist flat illustrations or stylized characters. If objects or interface elements are used within a scene, it is advisable to scale them to 70-80% of the frame height, as younger audiences respond better to large, expressive interface and character elements.

In contrast, the 25-35 age group prefers more restrained, professional, and structured compositions (Fig. 25).



Figure 25 – Visual restraint

Adult users tend to perceive overly bright or “acidic” color palettes as amateurish; therefore, in educational or advertising videos targeting this age group, moderate contrast solutions are more effective. It is important to create a sense of cleanliness and structural clarity within the frame: fixed text placement on the left side, the visual object on the right side, the absence of unnecessary decorative elements, and a minimal number of small details. Typical color solutions for the 25-35 age group are presented in Fig. 26.



Figure 26 – Color schemes for the 25–35 age group

These palettes create a sense of stability, competence, and structural clarity. For example, dark blue combined with light accents enhances the perception of professionalism, while pastel blue reduces visual load in complex scenes. In videos demonstrating tools, processes, or educational material, such colors make the presentation clearer and more comfortable to perceive. They also help maintain attention, as they do not cause visual fatigue or distract from the main information.

Another important element for both target audiences is visual coding. This means that informational blocks can be assigned specific color markers: for instance,

tools – blue, explanations – green, results – yellow. The viewer subconsciously builds the structure of the video, making the content easier to understand. The technique of visual emphasis is also effective – using a slightly darkened background (by 10-15%) with a bright object as the focal point of attention. This is especially useful in scenes where it is necessary to direct the viewer's focus to a single element.

Overall, a successful visual strategy is based on a combination of minimalism, clear compositional focal points, and a well-designed color logic. Bright accents are suitable for younger audiences, while calm, professional tones are more appropriate for adult viewers. Such an approach makes an animated video not only visually appealing but also more effective in a marketing context, as visual language directly influences the viewer's decision to continue watching or proceed to a target action.

6.4 Animation and technical elements.

The technical quality of animation determines how professional and convincing a video appears. Even with a well-developed script and a strong visual concept, it is motion, speed, rhythm, and the coordination of elements that ultimately create a sense of integrity. Animation should not draw attention to itself; its role is to make the content more understandable. Therefore, it is important to consider the needs of two key age audiences and select appropriate technical solutions for each.

For the 16-25 age group, perceptible dynamism is essential, but it must remain smooth and natural. Viewers in this age range are accustomed to the fast pace of content on TikTok and Instagram, where motion is delivered through short, cleanly composed scenes. For example, when a new element appears in the frame (an illustration, tool, or character), an optimal duration for its appearance is 0.2-0.4 seconds. This timing prevents abrupt transitions and makes motion feel fluid. In scenes showing processes (e.g., software or tool operation on screen), a slight scale-up or minimal pixel shift effectively directs attention to the relevant area of the frame.

Younger audiences respond better to guided motion: visual paths that lead the eye toward key elements, scaling changes, or sequential object movement. If motion is chaotic or contains conflicting directions within a single scene, perception is disrupted. Therefore, all animated transitions must be logically justified: if information flows from right to left, the next block should not suddenly appear from below or above. Such inconsistency reduces perceived professionalism and makes content harder to follow [24].

For the 25-35 age group, stability and precision of motion play a key role. Adult users are more sensitive to excessive effects; therefore, technical minimalism is preferable. For instance, text in videos targeting this group should appear through a smooth fade-in with low opacity or a gentle slide in a single direction. Rotation or scaling effects should be used only in exceptional cases when they logically emphasize meaning. Animation should support readability rather than distract from it.

One of the key technical techniques that enhances animation quality is consistent motion interpolation. This means that the speed of an object's movement should not be constant from start to finish. Every motion should include slight acceleration and deceleration phases – this is what makes animation feel alive. If an element appears

and disappears at a uniform speed, it is perceived as mechanical, which reduces the emotional impact of the scene.

Another important aspect is depth management. Even in 2D animation, a sense of spatial depth can be created: the foreground moves faster, the midground more slowly, and the background remains almost static. This technique improves visual quality and clarifies the narrative structure, as viewers intuitively understand which object is most important. For younger audiences, such spatial logic adds dynamism, while for older viewers it creates a more organized and easily readable scene.

Equally important is the correct synchronization between animation and text. If text changes faster than it can be read (less than 2 seconds per phrase for the 16-25 group and less than 2.5-3 seconds for the 25-35 group), part of the information will be lost. Therefore, motion and text appearance should be aligned with reading speed: text appears – animation pauses; text disappears – motion resumes. This approach enhances clarity and ensures a comfortable perception rhythm.

Overall, the technical component of a video should not be merely aesthetic but functional. Every movement should explain, focus, reinforce, or structure information. Animation is not decoration; it is a tool that transforms video into an effective advertising or educational medium.

6.5 Sound design.

Sound design is one of the key factors shaping the overall perception of an animated video. Even with a strong visual component, poorly chosen music or incorrect audio synchronization can disrupt the structure and reduce viewer attention. Sound should not compete with the visuals; instead, it should enhance them by creating an emotional background and a logical rhythm. Therefore, different approaches should be applied for different age groups, adapting volume, rhythm, accent strength, and narration style.

The 16-25 age group is sensitive to energetic backgrounds and fast-paced audio. Young audiences are accustomed to content where sound drives the narrative. Therefore, for videos targeting this group, it is appropriate to use light electronic music or modern pop-style background tracks with a clear percussion pattern. Such music does not overload perception but establishes a rhythm into which the visuals naturally integrate. When an important element appears in the frame – such as a logo, button, or keyword – it is effective to emphasize it with a subtle sound cue. This should not be a loud effect; a soft click or short synthesized signal is sufficient to capture attention and improve memorability.

In youth-oriented videos, synchronizing music with animation is highly effective. When an object moves, a tempo change or a subtle beat accent in the soundtrack makes the scene feel natural and cohesive. However, an excessive number of audio effects creates noise clutter; therefore, balance is essential: one sound effect per semantic emphasis. If voiceover narration is used, it should sound clear but not overly dramatic – young audiences tend to reject overly monotonous delivery.

For the 25-35 age group, the role of sound is somewhat different. Older viewers respond better to calm, clean audio solutions where music does not dominate but instead provides a subtle background layer. For this audience, it is important that sound does not interfere with content comprehension; therefore, background music should be kept at a lower volume than the narration. The music should be steady, without abrupt transitions or sudden intensifications. If the video demonstrates tools or interface actions, sound does not need to accompany every interaction – one or two subtle accents at key moments are sufficient.

Clarity of narration is particularly important. The speaker's pace should match the complexity of the content: faster and more energetic delivery is suitable for simple information, while explanations of processes or algorithms require a calmer tone and slightly longer pauses. Older audiences perceive neutral emotional intonation better, where speech is structured, confident, and friendly.

One of the most important technical principles is proper volume balancing. When a large amount of text appears on screen, background music should automatically decrease so that the viewer can focus on the content. The difference in volume between music and voice-over should be at least 20-30%, otherwise the narration loses clarity. This is especially important in videos containing instructions or complex informational blocks.

It is also essential to avoid a common mistake – lack of synchronization between actions and sound. If an object changes in the frame but the sound response is delayed or premature, viewers experience discomfort. Even a 0.1 second mismatch can reduce the perceived professionalism. Sound effects must be precisely aligned with the appearance of key objects, character movements, or scene transitions [8].

Thus, sound design is not merely a technical component but a tool for directing attention. For younger audiences, sound establishes rhythm and emotional intensity; for older audiences, it structures information and enhances clarity.

6.6 Emotional impact.

Emotional effect is what determines whether a video generates interest, whether the viewer wants to learn more, and whether they proceed to a target action. Even if the informational content is well developed and the visual and technical parameters are properly designed, it is the emotional background that shapes the final feeling of “I want to try this,” “this suits me,” or “this is important for me.” Emotion in an animated video should not be excessive; its role is to create an internal response that reinforces the message and helps the viewer identify with the character or situation.

For the 16-25 age group, an effective emotional approach is based on rapid association and contemporary visual metaphors. Young audiences respond to images that feel familiar within the digital environment: a character overcoming an obstacle in a single motion; a tool “coming to life” on screen; or a scenario where the outcome is presented as a small achievement. This allows viewers to immediately understand that the video is “about them.” For example, in an educational video, a scene may show a character initially confused by a large number of tools and then suddenly finding a

“simple solution.” Such a narrative introduces light humor while also creating a sense of accessibility what young audiences seek in educational and advertising content [25].

Another way to engage younger audiences is through dynamic emotional shifts within 2-3 frames (e.g., a character initially appears surprised or confused but quickly transitions to confidence and joy). This contrast creates “micro-dramaturgy,” which effectively maintains attention and makes the video feel more alive. For younger viewers, it is important to see a positive outcome quickly, as this aligns with the formats they are accustomed to consuming on social media.

In contrast, the 25-35 age group responds better to emotionality grounded in practical logic. For this audience, a sense of usefulness, professionalism, and completeness is essential. Unlike younger viewers, they are less responsive to intense micro-emotions or overly dynamic scenes. Therefore, it is more appropriate to use emotional accents related to results rather than processes. For instance, after demonstrating a short process, a “before/after” scene can be shown, where an object becomes larger, clearer, or more organized – creating a sense of achievement that is particularly important for adult audiences.

One of the most effective techniques for both age groups is a recurring visual motif – an element that appears across multiple scenes and gradually forms an association. This may be a consistent accent color, a small icon, a character, or even a specific motion pattern. When the same element appears throughout the video, viewers begin to perceive it as a “signal of important information,” and it becomes more memorable by the end. This technique is widely used in advertising, as it builds recognition and strengthens the perception of a product or service without explicit repetition.

In advertising videos, it is especially important to create an emotionally strong ending, as the final 2-3 seconds often determine whether the target action will be performed. If the video is aimed at younger audiences, the ending may include a short emotional micro-scene – such as a character winking, making a “thumbs up” gesture, or a bright accent frame. For older audiences, an effective ending is a confident, concise statement on a clean, light background, creating a sense of closure and appropriate tone.

Thus, emotional effect is a synthesis of color, rhythm, character expression, scene structure, and final emphasis. For younger audiences, a fast, vivid, and light emotional response is crucial. For older audiences, emotionality should be logical, restrained, and meaningful. When emotion reinforces content, the video becomes not only visually appealing but also persuasive, leaving a lasting impression and motivating the viewer to act.

Conclusions

Animation videos have become one of the key tools of modern digital communication, as they combine dynamism, visual expressiveness, and the ability to transmit information rapidly. Given the growing role of video content in education,

social media, and advertising, research into the impact of animated videos on viewers is of particular relevance.

This study identifies the main factors influencing information perception in video format. The practical part is based on a combination of audience surveys and expert evaluation of videos according to predefined criteria. This approach made it possible to analyze the impact of animation from both viewers' and specialists' perspectives.

The results of the study show that the effectiveness of animated videos is determined by the coherence of content, composition, color design, technical execution, and sound accompaniment. The most significant factors are message clarity, logical structure, quality of animation transitions, and emotional expressiveness. The synthesis of survey data and expert assessments confirmed that a well-structured video sequence can significantly increase viewer engagement and improve information comprehension. Based on the obtained results, recommendations were developed for creating effective animated videos, covering content, visual, technical, and emotional components.

These recommendations are aimed at improving the quality of multimedia content and can be applied in advertising, educational, and creative fields. The findings may also serve as a basis for further academic research in animation and communication design.

References.

1. Kaluhin, N., & Vovk, O. (2024). Artificial intelligence and digital art. *Memorias de SYNTOPIA*. (p. 30-31).
2. Blazer, L. (2012). *Animated Storytelling: Simple Steps for Creating Animation and Motion Graphics*. New York: Focal Press.
3. McCloud, S. (1993). *Understanding Comics: The Invisible Art*. New York: HarperCollins.
4. Shaw, A., & Colette, J. (2020). *Motion Design Toolkit: Principles, Practice, and Techniques*. New York: Routledge.
5. Web Book. (2024). Використання анімації в сучасному графічному дизайні. <https://webbookstudio.com/ua/articles/the-use-of-animation-in-modern-graphic-design/>.
6. Біла, Д.С., & Вовк, О.В. (2025). Використання Blender, Unity, Three.js для анімації в мультимедіа. *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті*. 2025. Т. 6. (с. 558-559).
7. Вовк, О.В., Григор'єв, О.В., & Біла, Д.С. (2025). Особливості створення 3D-анімації для трейлерів відеоігор у середовищі Blender. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 2. (с. 12-13).
8. Вовк, О.В., Григор'єв, О.В., & Дзеніс, Є.С. (2025). Використання психоакустики в рекламі для впливу на споживача. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 2. (с. 35-38).
9. Вовк, О.В., & Задорожна, В.К. (2024). Сумісність кольору і звуку у рекламі та відео. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 2. (с. 102-104).
10. Вовк, О.В., & Ольховик, О.І. (2025). AI-інструменти для створення ефективної реклами в соціальних мережах. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 1. (с. 252-253).
11. Вовк, О.В., & Товма, С.С. (2025). Розробка анімаційної соціальної реклами психологічного додатку. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 2. (с. 175-177).
12. Вовк, О.В., Черемський, Р.А., & Некрасова, Н.М. (2017). Використання інтерактивної інфографіки в сучасних мультимедійних виданнях. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 1. (с. 204-205).

13. Вовк, О.В., & Чуб, Л.О. (2024). Створення анімаційної відеореклами спеціальності 186 для залучення абітурієнтів. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 31-33).
14. Вовк, О.В., & Чуб, Л.О. (2025). Вплив анімаційних відео на цільову аудиторію. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 245-247).
15. Калиновський, К.Ю., & Вовк, О.В. (2020). Принципи гештальту у створенні відео. Друкарство молоде. (с. 56-57).
16. Мурашко, М. (2020). Візуалізація персонажа в нерозважальних відео. Актуальні питання гуманітарних наук, 29(5), 155-160. https://www.aphn-journal.in.ua/archive/29_2020/part_5/24.pdf.
17. Ольховик, О.І., & Вовк, О.В. (2025). Використання нейромереж для створення текстів, зображень і відео в рекламі. Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті. Т. 6. (с. 596-597).
18. Товма, С.С., & Вовк, О.В. (2025). Препродакшен в анімації. Етапи підготовки та оптимізація робочого процесу. Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті. Т. 6. (с. 612-613).
19. Токар, Е.В., & Вовк, О.В. (2023). Розробка рекомендацій для створення соціальної реклами на тему насильства над жінками. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 226-228).
20. Чеботарьова, І.Б., & Баришева, В.С. (2021). Дослідження засобів підвищення ефективності реклами. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 141-143).
21. Чеботарьова, І.Б., & Мартиненко, Ю.С. (2025). Актуальність створення сінематика для комп'ютерних ігор. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 69-72).
22. Чеботарьова, І.Б., & Олянішин, В.В. (2016). Реклама як спосіб залучення уваги споживача. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 172-173).
23. Чеботарьова, І.Б., Полозов, О.Б., & Попова, Є.О. (2025). Створення ефективних креативів для реклами в Instagram. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 200-203).
24. Чуб, Л.О., & Вовк, О.В. (2023). Застосування 3d моделей у інтерактивних проєктах. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 50-51).
25. Чуб, Л., & Вовк, О. (2025). Вплив анімаційних роликів на цільову аудиторію. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 122).
26. Шипова, М.К., & Вовк, О.В. (2020). Психоемоційний вплив кольору. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 11-13).

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКАРСЬКИХ ФАРБ ТА ПАПЕРУ НА ЯКІСТЬ ВІДБИТКІВ ОФСЕТНОГО ДРУКУ

Кукура Ю.А.

к.т.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-0041-6351

Кукура В.В.

к.х.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-4217-9638

***Анотація.** Досліджено вплив характеристик фарби і паперу на колірні та денситометричні показники відбитків офсетного друку і визначено оптимальну кількість фарби на відбитках. У висновках подано практичні рекомендації щодо нанесення тріадних фарб плоского офсетного друку на різних типах паперу для забезпечення якості відповідно до стандарту ISO 12647-2.*

***Ключові слова:** офсетний друк, якість відбитків, колірна відмінність, оптична щільність, трепінг, коефіцієнт контрасту.*

Вступ

Швидкий розвиток цифрових технологій друкування і зростання частки флексографії на ринку пакування та етикетки приводить до поступової втрати плоским офсетним друком своїх незаперечних лідерських позицій як найбільш широко розповсюдженого способу друку. Однак, як показує практика, потенціал цього способу друку ще не використаний на повну потужність. Це підтверджується новітніми розробками високопродуктивних машин для друкування картонних пакувань, застосуванням нових високоефективних і екологічно безпечних фарб, все ширшим використанням «сухого» офсету та різноманітних «гібридних» технологій – поєднання цифрових і офсетних друкарських процесів.

Ці тенденції підтверджуються аналізом, згідно якого глобальний ринок офсетного друку оцінювався в 3 мільярди доларів США у 2024 році та, за прогнозами, досягне 6,6 мільярда доларів США до 2030 року, зростаючи зі середньорічним темпом 14,1% з 2024 по 2030 рік [1]. Зростання ринку офсетного друку зумовлене кількома факторами, включаючи зростання попиту на високоякісні друковані матеріали, постійну потребу в масовому друкованому виробництві та постійні технологічні вдосконалення, що покращують ефективність та сприяють збільшенню обсягу виробництва. Одним з основних факторів є розширення пакувальної галузі, де офсетний друк широко

використовується у виробництві яскравих та міцних пакувальних матеріалів, таких як складні коробки, етикетки та гофровані коробки. Оскільки споживчі вподобання зміщуються в бік візуально привабливих та екологічних пакувальних рішень, здатність офсетного друку забезпечувати чудову якість зображення та обробляти широкий спектр матеріалів вигідно позиціонує його порівняно з іншими технологіями друкування [1].

Зростаючі вимоги замовників до скорочення термінів виробництва і підвищення якості продукції вимагають від виробників впровадження ефективних процедур контролю і оптимізації виробничих процесів. Важливою перевагою саме плоского офсетного друку є високий рівень стандартизації технологічних процесів, який постійно вдосконалюється. Тому актуальним завданням є дослідження впливу характеристик друкарських фарб, паперів і технологічних режимів друкування на якість відбитків з метою одержання таких параметрів якості, які відповідають вимогам галузевих стандартів.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження було встановлення закономірностей впливу характеристик друкарських фарб на якість відбитків плоского офсетного друку на різних типах паперу. Для досягнення вказаної мети були поставлені такі завдання: встановити залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності тріадних офсетних фарб серій Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та на основі встановлених залежностей визначити оптичні щільності цих фарб, при яких забезпечуються показники кольоровідтворення відповідно до стандарту ISO 12647-2; визначити відхилення колірних координат a^* в залежності від товщини фарбового шару для досліджуваних матеріалів і визначити оптимальну кількість тріадних фарб на відбитках; провести денситометричні дослідження трепінгу та визначити показник контрасту тріадних фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP; на основі проведених досліджень зробити практичні рекомендації щодо оптимального нанесення фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP, при яких колірні характеристики відбитків відповідатимуть вимогам стандарту ISO 12647-2.

Основна частина

Розвиток технологій офсетного друку супроводжується постійними дослідженнями у цій галузі. Набуті знання було систематизовано та узагальнено у роботах українських вчених [2-4]. Сучасні праці науковців присвячені моделюванню і вдосконаленню як технологічного процесу та матеріалів офсетного друку, так і розробці нового і вдосконаленню існуючого обладнання для цього процесу. Підвищення репродукційно-графічних показників відбитків офсетного друку та якості кольоровідтворення досягається за рахунок встановлення (на основі аналізу експериментальних досліджень) залежностей

впливу на ці показники технологічних режимів друкування [5], властивостей паперу і фарб [6-9] та вдосконалення вузлів друкарського обладнання [10]. У роботі [11] для аналізу та оцінки якості друкування при аркушевому офсетному друці використано такі інструменти методу комплексного управління якістю, як діаграма Парето, діаграма Ісікави та 5xWhy і доведена ефективність цих методик. У роботі [12] для комплексної оцінки якості в офсетному друці використано принципи нечіткої логіки, що дозволило в результаті отримати кількісний показник якості друку. У дослідженні [13] з використанням штучного інтелекту розроблено нову модель оптимізації процесу офсетного друку на основі підходу «Шість сигма» з метою зменшення мінливості процесу та досягнення стабільних, передбачуваних результатів виробництва. На основі дослідження [13] були визначені межі мінливості виробничих параметрів для забезпечення стабільності та високої якості продукції.

Ключовим елементом впровадження сучасних розробок є всебічний контроль та стандартизація технологічних процесів [14-15]. Тому на провідних поліграфічних підприємствах галузі вже не просто відбувається контроль виробничих процесів, а створені системи контролю якості, які керуються розробленими світовими стандартами.

Контроль багатофарбового друкарського процесу описує стандарт ISO 12647-2. Метою даного стандарту є не стандартизація матеріалів (папір, фарби, обладнання, офсетні полотна), а диференціація між фіксованими (друкарський процес) і нефіксованим (друкарська фарба) змінними. Іншими нормативними документами, які є важливими при формуванні системи контролю якості на поліграфічному підприємстві є специфікації, наприклад, Fogra 39 (Fogra Graphic Technology Research Association, Німеччина) і GRACoL (IDEAlliance, США). Обидві включають групи стандартних параметрів, які ґрунтуються на інтерпретаціях стандарту ISO 12647-2. Для впровадження ISO 12647-2 компанією Fogra для німецької асоціації поліграфістів bvdn була розроблена система впровадження Process Standard Offset (PSO) [16], яка пропонує практичний посібник з його застосування. Успішно впровадивши систему PSO, друкарня отримує право подати заявку на сертифікацію за стандартом ISO 12647-2. Цей стандарт встановлює вимоги до ключових параметрів друкарського процесу в залежності від типу використаного паперу, а саме: координат кольору Lab, розтискування растрової крапки і балансу по сірому. Стандарт регулярно оновлюється, щоб відповідати змінам у хімічному складі паперу, фарб та розвитку технологій контролю. Перша версія стандарту (ISO 12647-2:1996), орієнтована на традиційні фотоформи та аналогові процеси, заклала фундамент для стандартизації офсету. Найбільш поширеною стала друга версія (ISO 12647-2:2004 та оновлення 2007) [17], на якій базується відомий колірний профіль FOGRA39 (ISO Coated v2). У ній введено параметри для цифрового вводу даних (CtP), уточнено колориметрію фарб та змінено значення TVI на 3% порівняно з першою версією. В Україні ця версія імплементована як ДСТУ ISO 12647-2:2008 Поліграфія. Керування процесами

виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків [18]. ISO 12647-2:2013 [19] є найновішою версією, яка враховує поширеність паперу з великим вмістом оптичних відбілювачів. На базі цієї версії створені профілі FOGRA51 (PSO Coated v3) та FOGRA52 (PSO Uncoated v3). В цій версії введено режим вимірювання M1, який використовує джерело світла з ультрафіолетовим компонентом (D50) для коректного вимірювання кольору на папері з відбілювачами та було переглянуто показники кривих розтискування для кращої відповідності сучасному обладнанню. В статті [20] розглянуто особливості стандарту для офсетного друку ISO 12647-2:2013 та проаналізовано відмінності цього стандарту від ISO 12647-2:2004. Авторами розраховано коефіцієнти нелінійності друкарського процесу з врахуванням технологічних параметрів регламентованих обома редакціями стандарту ISO 12647.

Дотримання вимог стандарту ISO 12647-2 дозволяє друкарні гарантувати клієнту, що результат у тиражі буде максимально близьким до кольоропроби, а замовнику готувати макети за єдиними світовими правилами.

Результати досліджень

В експериментальній роботі використовувались фарби для плоского офсетного друку серії Arnon-T виробництва компанії Dong Yang Ink (Республіка Корея). Це універсальна серія фарб, яку можна застосувати для друкування широкого спектру продукції. Фарби виготовлені на основі соєвої та лляної олії.

В дослідженнях також використовувались фарби для плоского офсетного друку серії Sunlit Diamond виробництва компанії Sun Chemical. Це серія високоякісних фарб для триадного аркушевого офсетного друку, які можуть використовуватися з максимально широким асортиментом паперу і картону, в технології їх виробництва використовуються тільки натуральні оливи, відновлювальні матеріали складають 74% в структурі фарби.

Як основа для задруковування використовувались два типи паперу: багатофункціональний чистоцелюлозний офсетний папір SCP (Mondi SCP) граматурою 70 г/м² та крейдований папір Magno Star 115 (Sappi) граматурою 115 г/м².

Для отримання тестових відбитків використовували прободрукарський пристрій виробництва компанії IGT Testing Systems (Нідерланди). Після задруковування на пристрої, шляхом зважування визначали кількість фарби, яка перейшла на відбиток. Знаючи параметри відбитку (ширину і довжину) розраховували кількість фарби в г/м².

Для визначення колориметричних та сенситометричних характеристик відбитків використовували спектрофотометр X-Rite SpectroEye.

Міжнародний стандарт офсетного друку ISO 12647-2 регламентує колір офсетних фарб на відбитку в колірних координатах CIE Lab (D50, 2°), а допуски на відхилення від цих колірних координат визначає за формулою CIE delta E (ΔE) 1976 р. Різниця щільності або delta D не може застосовуватися як величина, яка

регламентує колірне відхилення, оскільки оптична щільність не корелюється з кольором і може використовуватися лише для визначення товщини невизначеної за кольором фарби. Однак визначати денситометричні щільності для різних фарб і паперів для оперативного контролю під час друкування важливо: щільності для конкретної пари фарба/папір вимірюються при різному накочуванні і фіксується та щільність, де колірне відхилення від стандарту мінімальне.

На першому етапі досліджень з використанням прободрукарського пристрою IGT Testing Systems було виготовлено по дев'ять тестових контрольних відбитків з використанням різної кількості тріадних фарб Aronon-T та Diamond (приблизний крок складав 0,1 г) на офсетному (SCP) та крейдованому (Magno Star) папері. За допомогою спектрофотометра X-Rite SpectroEye для кожного зразка було визначено оптичні щільності і координати кольорів у системі CIELab, а також величину колірної відмінності (ΔE).

За отриманими експериментальними даними були побудовані залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності тріадних фарб серії Aronon-T та Diamond на папері Magno Star (рис. 1-2).

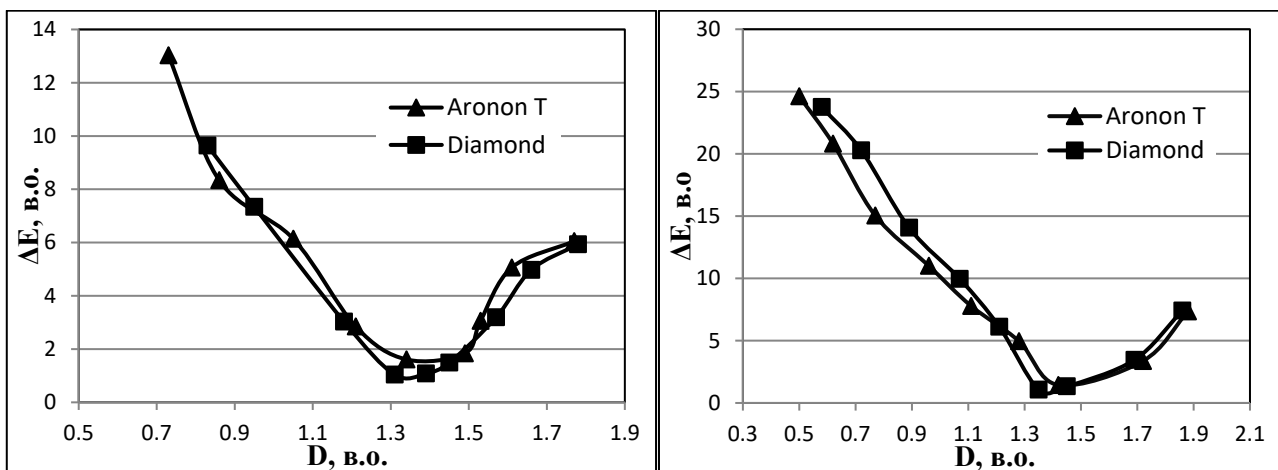


Рисунок 1 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Yellow (ліворуч) та Цяан (праворуч) на відбитку (папір Magno Star)

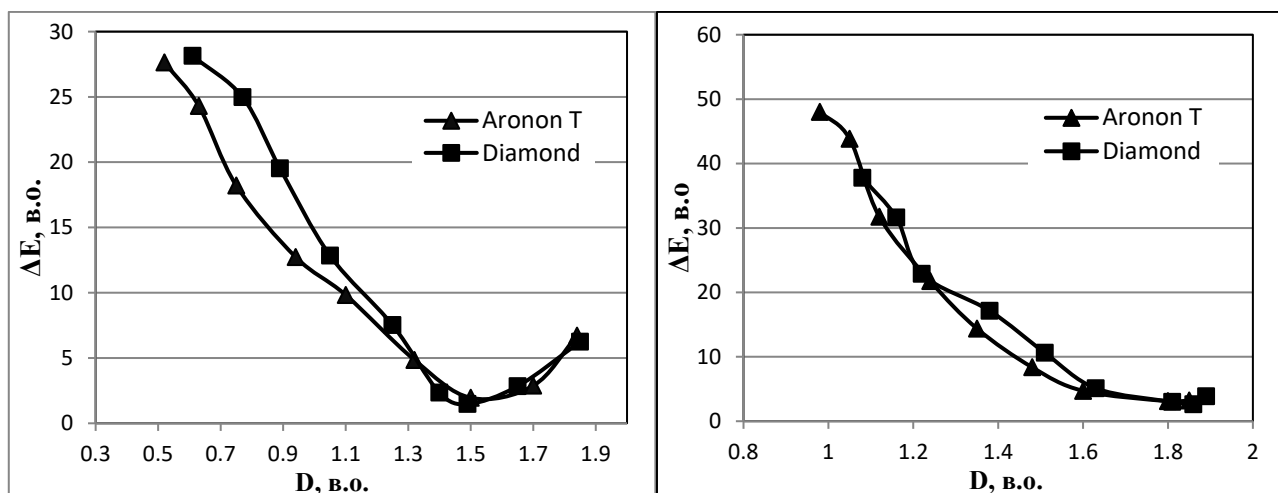


Рисунок 2 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Magenta (ліворуч) та Black(праворуч) на відбитку (папір Magno Star)

Для усіх досліджуваних фарб спостерігаємо подібний характер отриманих кривих, які дають можливість визначити мінімальне колірне відхилення та ту величину оптичної щільності, яка йому відповідає. Слід зауважити, що при вимірюванні фарби Black було б коректніше визначати не сумарне колірне відхилення ΔE , а відхилення за світлотою ΔL , бо рекомендовані координати кольору для цієї фарби рівні нулю, однак, як правило, у цьому випадку значення ΔE та ΔL корелюють між собою.

Менше значення ΔE для фарб серії Diamond свідчить про їх вищу насиченість і прогнозовано вищу оптичну щільність порівняно з фарбами Aronon-T. Для фарб Yellow спостерігаємо доволі суттєву різницю – фарби серії Diamond забезпечують значно ближчий до стандарту відтінок ($\Delta E=1,04$), порівняно з фарбами Aronon-T ($\Delta E=1,84$). Для фарб Magenta та Cyan також має перевагу серія Diamond ($\Delta E_{DM}=1,47$, $\Delta E_{AM}=1,95$; $\Delta E_{DC}=1,06$, $\Delta E_{AC}=1,44$), однак не таку суттєву. В цілому, не дивлячись на отриману різницю, колірні відмінності обох серій фарб є нижчими двох одиниць ($\Delta E < 2,0$), що свідчить про їх відповідність стандарту ($\Delta E < 3,0$).

Для зручнішого проведення аналізу отриманих результатів, визначені оптимальні оптичні щільності фарб зведено в одну діаграму (рис. 3).

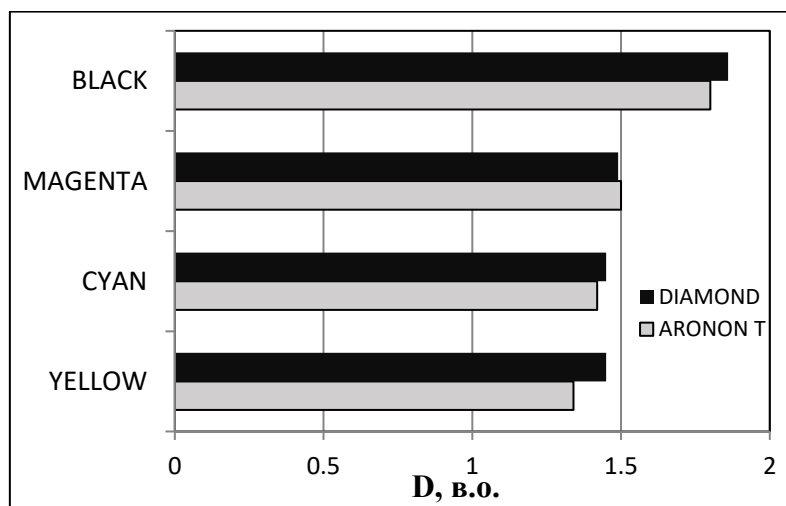


Рисунок 3 – Визначені оптичні щільності фарб Diamond та Aronon-T для оптимального кольоровідтворення на папері Magno Star

Як бачимо, фарби Magenta обох серій (рис. 3) при мінімальному колірному відхиленні забезпечують практично однакову оптичну щільність плашки ($D=1,5$), для Black та Cyan отримані оптичні щільності фарб Diamond є на 3-3,2% вищими від фарб Aronon-T, а для фарби Yellow ця різниця ще більш суттєва і складає $\Delta D=0,9$. Відповідно до рекомендацій, оптичні щільності тріадних фарб повинні складати: $D_Y=1,45 \pm 0,1$, $D_M=1,5 \pm 0,1$, $D_C=1,55 \pm 0,1$, $D_B=1,85 \pm 0,15$. Таким чином, визначені оптичні щільності усіх досліджуваних фарб відповідають рекомендованим значенням.

Аналогічні дослідження були проведені з використанням офсетного паперу марки SCP. Як свідчать отримані результати (рис. 4-5), на офсетному папері перевага у коректності кольоровідтворення тріадних фарб Diamond є ще

більш вираженою. Різниця між отриманим колірним відхиленням для фарб Magenta і Cyan складає приблизно 0,7 в.о., а для фарби Yellow – 0,2 відносні одиниці. Як і на крейдованому папері, на офсетному папері обидві серії фарб забезпечують відповідність кольоровідтворення до вимог стандарту.

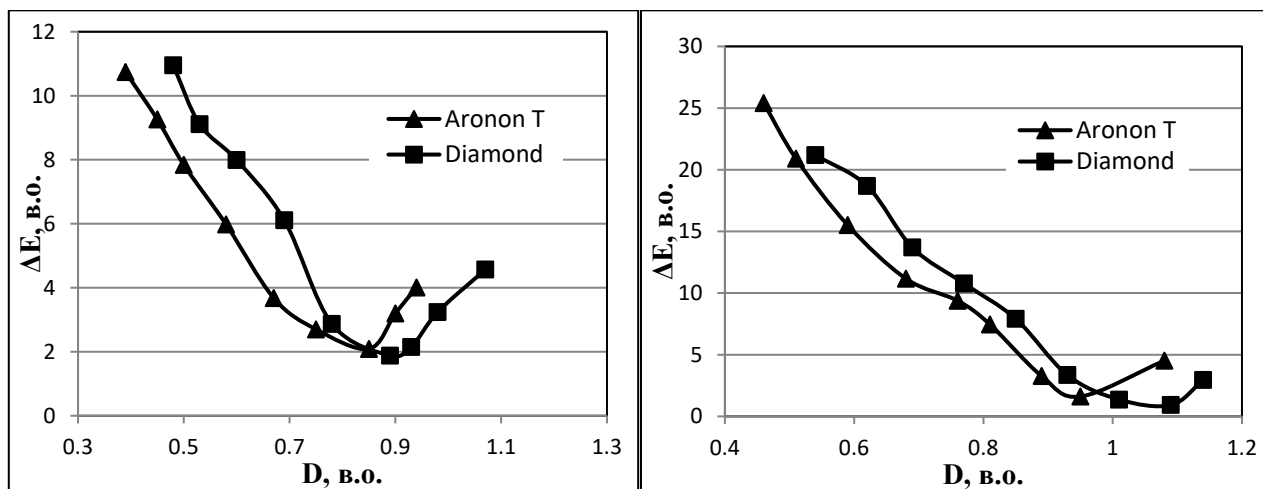


Рисунок 4 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Yellow (ліворуч) та Cyan (праворуч) на відбитку (папір SCP)

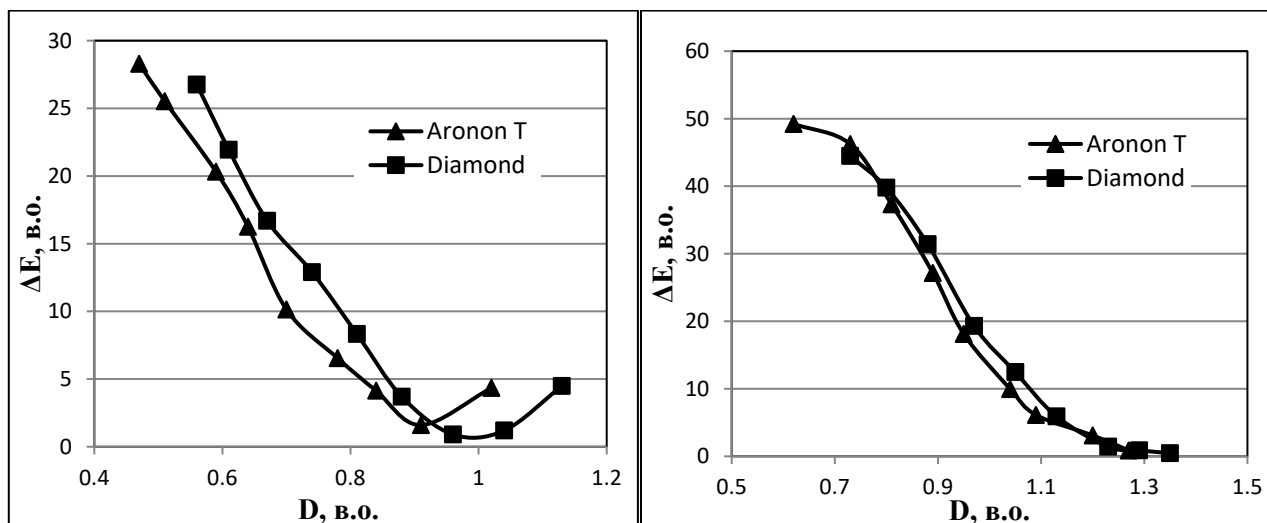


Рисунок 5 – Залежність показника колірної відмінності від оптичної щільності фарб Magenta (ліворуч) та Black (праворуч) на відбитку (папір SCP)

Визначені оптимальні оптичні щільності фарб на офсетному папері (рис. 6) в цілому корелюють з показниками для крейдованого паперу, однак у цьому випадку ще більш помітною є перевага фарб серії Diamond – практично для усіх фарб тріади їх оптична щільність є на 3-6% вищою. Порівняння отриманих значень з рекомендованими показниками ($D_Y=0,95\pm0,1$, $D_M=0,95\pm0,1$, $D_C=1,0\pm0,1$, $D_B=1,25\pm0,15$) підтверджує належну якість усіх досліджуваних фарб.

Отримані експериментальні дані дозволяють визначити ще один важливий технологічний параметр – оптимальну товщину фарбового шару, при якій забезпечуються відповідні стандарту колориметричні та денситометричні показники. Цей параметр важливий також і з економічної точки зору, адже

показує, якою мінімальною кількістю фарби можна добитися належних якісних показників відбитку. На крейдованому папері Magno Star (рис. 7) оптимальна кількість фарби Yellow складає 1,0 та 0,9 г/м², для фарби Magenta – 1,1 та 1,0 г/м², для фарби Black – 1,2 та 1,1 г/м² – для фарб Aronon-T та Diamond відповідно. Для фарби Cyan цей показник є ідентичним для обох серій фарб – 1,1 г/м².

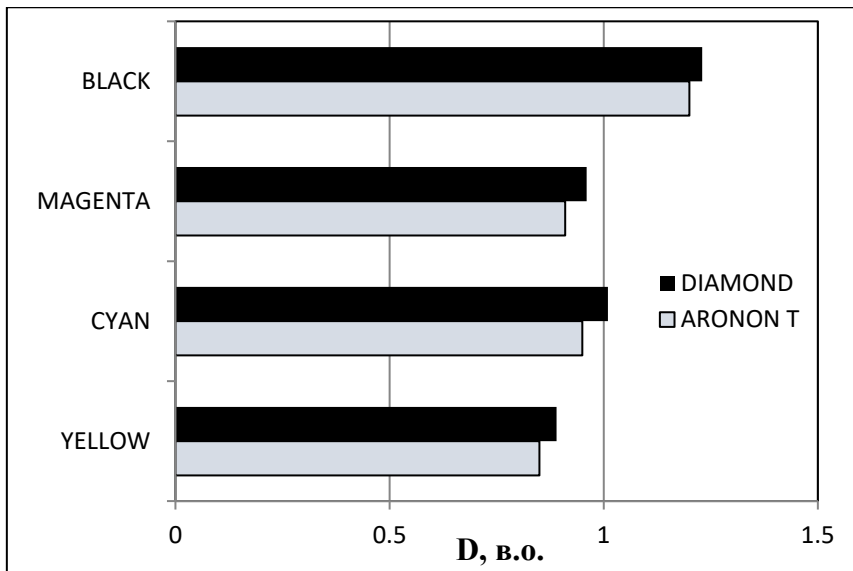


Рисунок 6 – Визначені оптичні щільності фарб Diamond та Aronon-T для оптимального кольоровідтворення на папері SCP

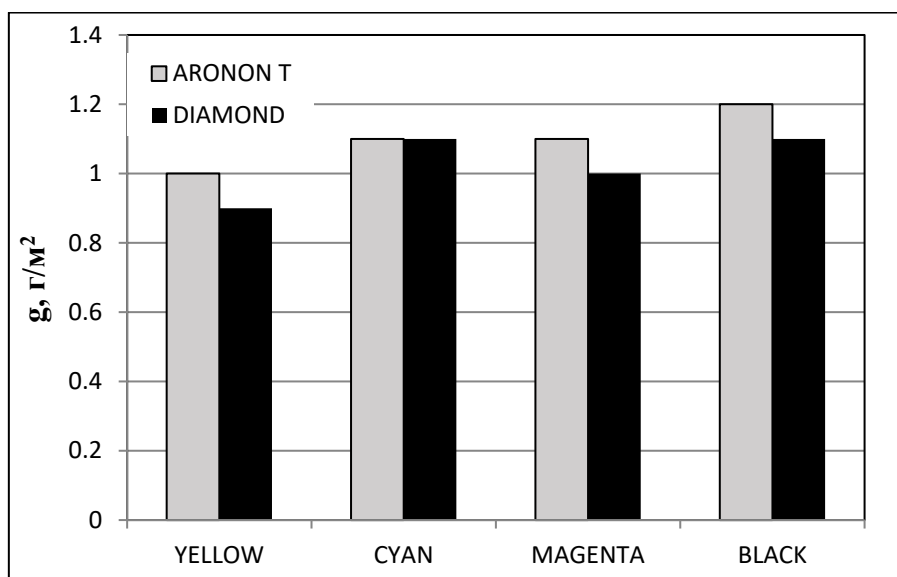


Рисунок 7 – Оптимальна кількість фарб Diamond та Aronon-T на відбитку на папері Magno Star

Таким чином, можемо твердити, що для фарб серії Diamond, порівняно із фарбами серії Aronon-T, необхідна товщина фарбового шару для відтворення належних колориметричних характеристик є нижчою.

Аналогічний експеримент був проведений на офсетному папері SCP (рис. 8), де перевага фарб серії Diamond виявилася ще більш очевидною – для усіх фарб тріади оптимальна товщина фарбового шару є меншою на 0,1 г/м².

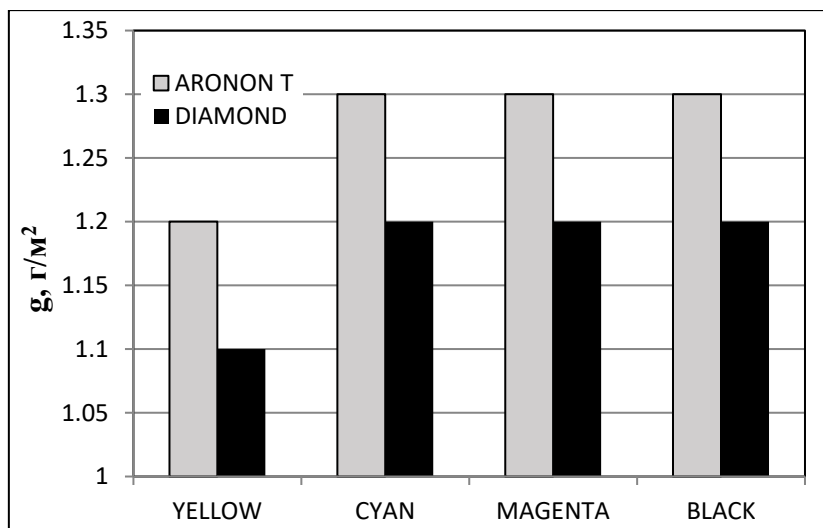


Рисунок 8 – Оптимальна кількість фарб Diamond та Aronon-T на відбитку на папері SCP

Це може пояснюватися, перш за все, особливостями складу фарб – у «європейської» тріади Diamond, очевидно, дещо вища концентрація чи дисперсність пігменту, а в'яжуче не так інтенсивно всотується у пори паперу. Більш ґрунтовні висновки можна буде зробити тільки після додаткових лабораторних досліджень.

Для більш глибокого розуміння колористики досліджуваних тріадних фарб, з використанням отриманих експериментальних даних були побудовані їх колірні характеристики в координатах a^* b^* на крейдованому та офсетному паперах (рис. 9-10).

Діаметр кільця на графіках відповідає допуску відхилення координат кольору, які рекомендовані стандартом ISO 12 647-2. Можемо спостерігати, що найбільш близькими до цільових координат (рекомендованих ISO 12 647-2) для обох серій фарб на обох типах паперу є фарби Magenta – у межах допуску отримано точки і через них проходить умовна лінія тренду. Криві для фарби Cyan серії Diamond перетинають площу кільця допуску (маючи у ній точки) незалежно від типу паперу. Для фарби Aronon-T при певних товщинах фарбового шару досягаються близькі до рекомендованих значення – умовні лінії тренду дотикають площину кільця допуску. Найбільше відхилення координат кольору спостерігаємо для фарб Yellow і, якщо крива тренду для фарби Diamond Yellow є близькою до рекомендованих стандартом координат, то для фарби Aronon-T Yellow спостерігаємо більш суттєве відхилення від стандарту. Таке відхилення можна пояснити тим, що на ринку тріадних фарб присутні різні за колористикою жовті фарби – так звані «теплі» та «холодні», колір яких залежить від типу пігменту, який використовувався при їх виготовленні.

Залежності (рис. 9-10) наглядно демонструють, що колористика фарб серії Diamond повністю відповідає вимогам стандарту, а фарб Aronon-T має незначні відхилення для фарби Yellow.

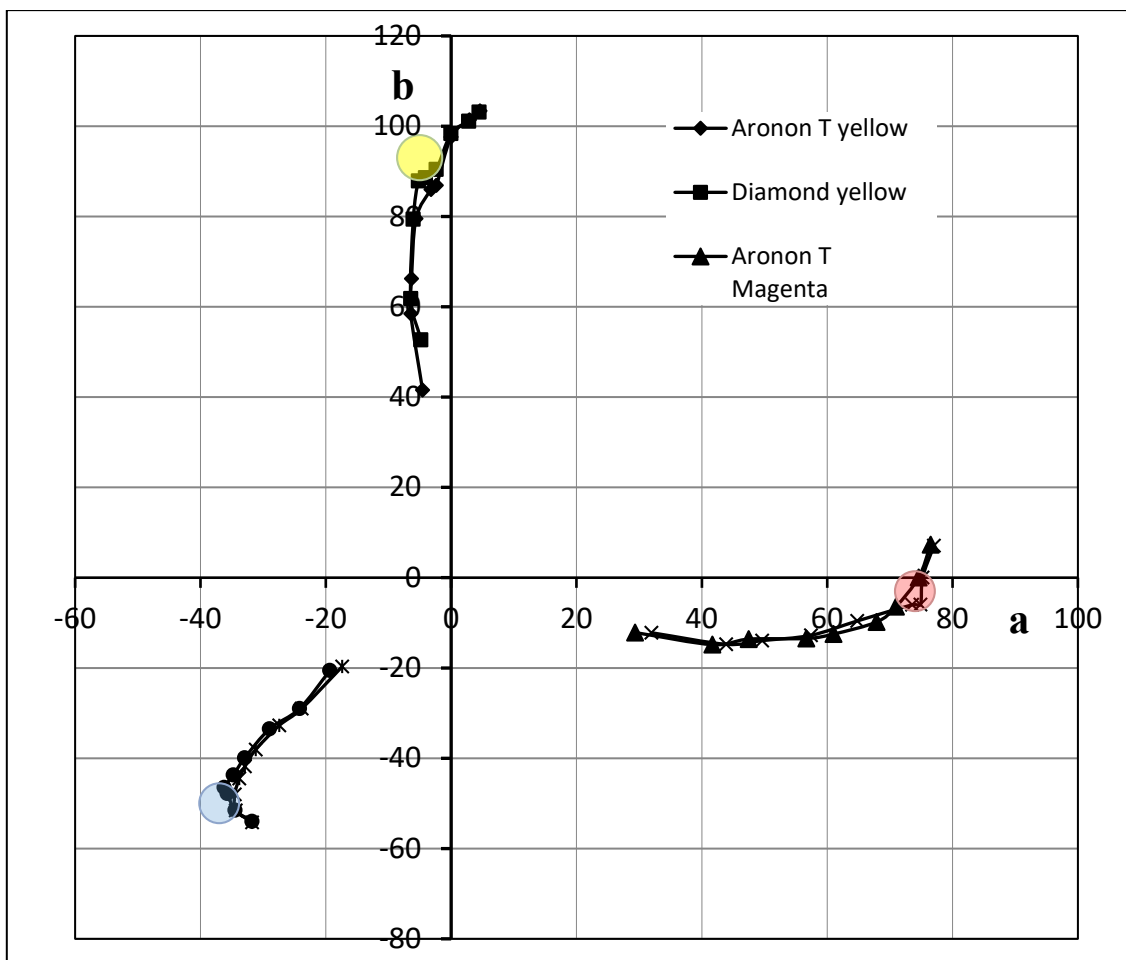


Рисунок 9 – Координати ab для фарб Aronon T та Diamond для різної товщини фарбового шару (папір Magno Star)

Зауважимо також, що на побудованих графіках наведено лише дві координати – ab , а більш повну картину кольорового охоплення тріади можна отримати при введенні третьої координати – світлоти (L), тоді кільце допуску цільової координати перетвориться на кулю у трьохмірному просторі Lab .

Необхідною умовою синтезу нових кольорів в процесі друкування повноколірного зображення є накладення фарб одна на одну. Офсетний друк кольорових зображень в режимі «по сирому» характеризується різними умовами перенесення першої та наступних фарб. Якщо шар першої фарби наноситься на сухий папір, то наступні шари фарби повністю або частково взаємодіють з шарами, які ще не висохли. В результаті шари однієї і тієї ж фарби, нанесені на задрукований матеріал і на шар іншої фарби, мають різну товщину (різниця може досягати 50%), а при колориметричному контролі двофарбових полів з'ясовується, що їх кольорні координати мають зрушення в бік кольору нижньої фарби.

При оцінюванні величини трепінгу (величини фарбосприйняття) важливо не стільки її абсолютне значення, скільки тенденція до зміни в ту чи іншу сторону. Контроль накладення фарб обов'язково слід виконувати при зміні задруковуваного матеріалу, фарб, зволожуючого розчину, офсетного полотна, регулювання тиску друкування.

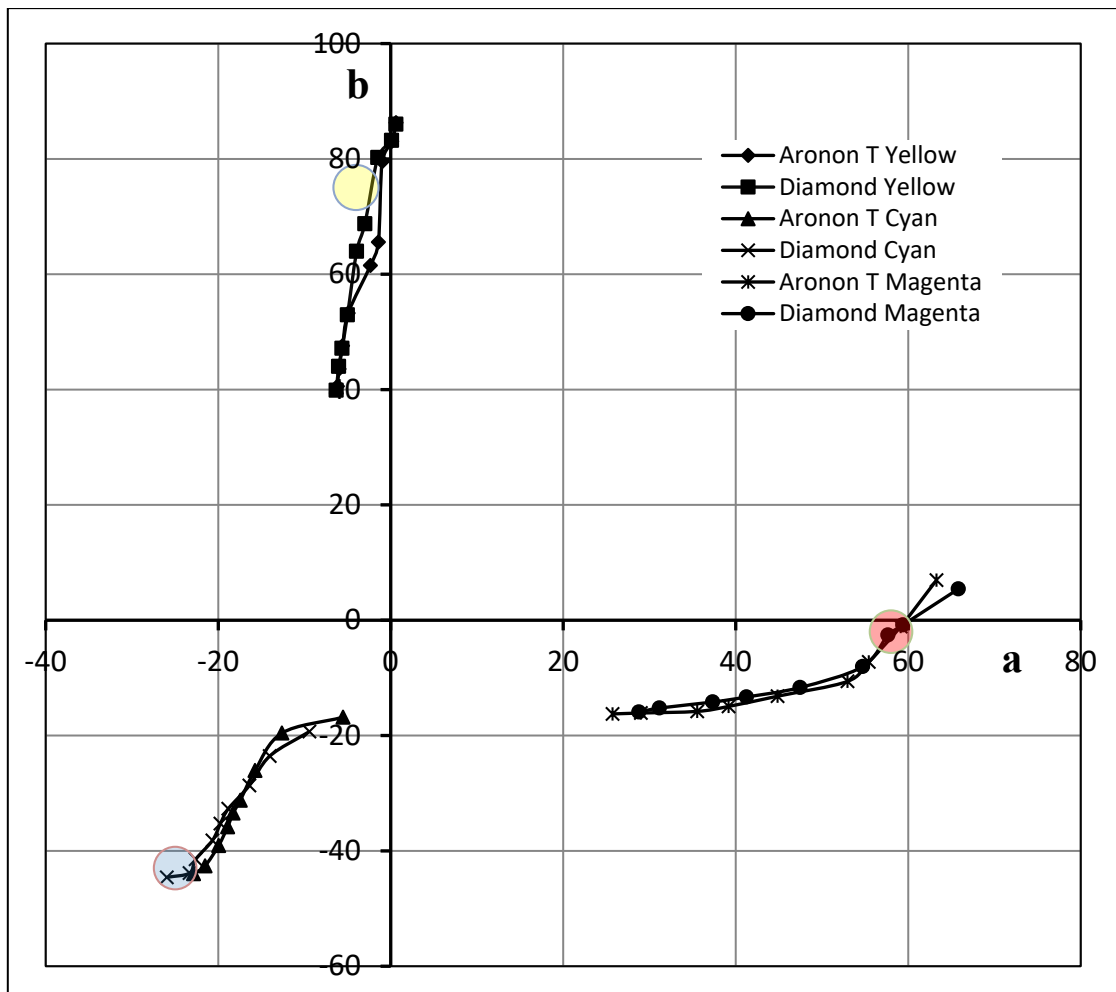


Рисунок 10 – Координати ab для фарб Aronon T та Diamond для різної товщини фарбового шару (папір SCP)

Визначення величини трепінгу проводили за допомогою спектроденситометра шляхом вимірювання оптичної щільності двофарбових (бінарних) полів контрольної шкали. Для розрахунку оцінки накладення фарб також виконували вимірювання оптичної щільності однофарбових 100% полів відповідних фарб.

Для оцінювання накладення фарб використовували метод Пройціла (Preucil), який полягає в порівнянні величин оптичної щільності фарби при її нанесенні на шар попередньої фарби і на задруковуваний матеріал:

$$T_p = \frac{D_{12} - D_1}{D_2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де D_{12} – оптична щільність двофарбового поля;
 D_1 – оптична щільність поля першої (нижньої) фарби;
 D_2 – оптична щільність поля другої (верхньої) фарби.

Було проведено експериментальні дослідження, визначено оптичні щільності та за формулою Пройціла розраховано величину трепінгу для досліджуваних серій фарб на крейдованому та офсетному папері (рис. 11-12).

Отримані результати свідчать, що фарби Diamond при накладанні забезпечують ближчі до рекомендованих компанією X-Rite ($T_{MY}=70\%$, $T_{CY}=80\%$, $T_{CM}=75\%$) значення трепінгу як на крейдованому, так і на офсетному папері. В цілому, також спостерігаємо більше відхилення від рекомендованих значень трепінгу на офсетному папері для обох серій фарб.

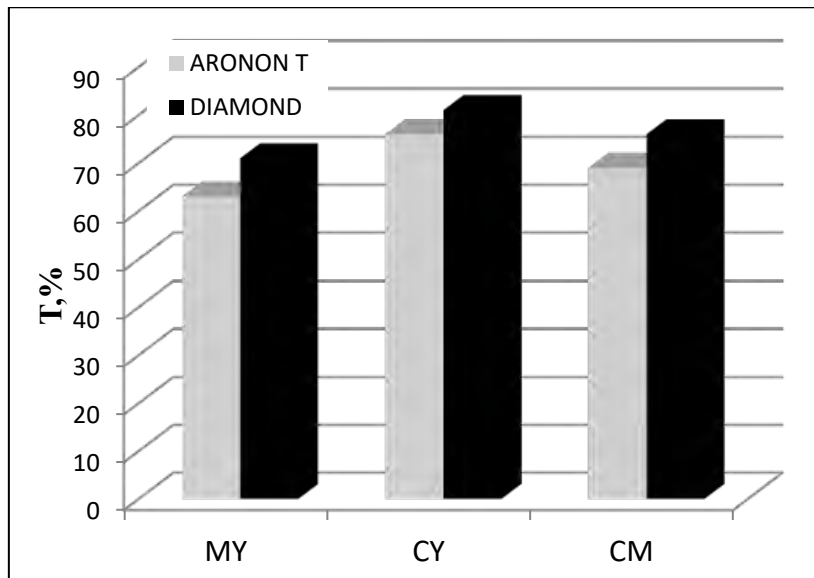


Рисунок 11 – Результати денситометричних досліджень трепінгу фарб Arnon T та Diamond на папері Magno Star

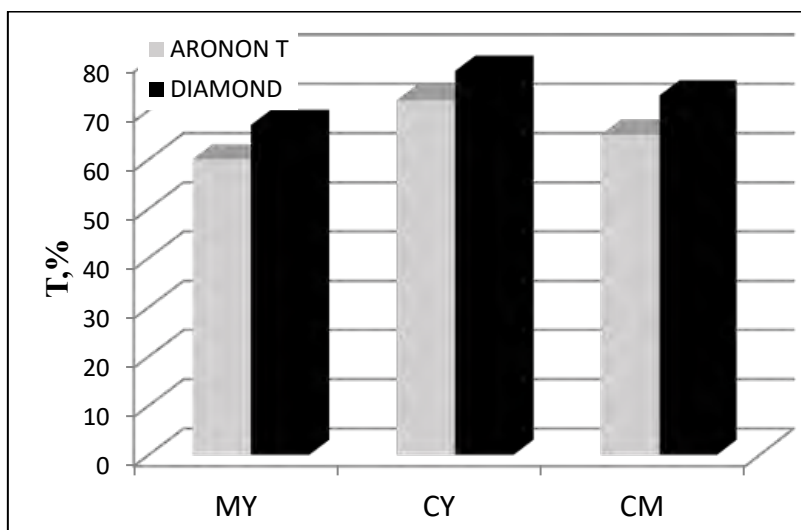


Рисунок 12 – Результати денситометричних досліджень трепінгу фарб Arnon T та Diamond на папері SCP

Ще одним важливим показником контролю якості відбитка офсетного друку є контраст, адже широко поширеним дефектом друку є втрата градацій в тінях растрових зображень. До виникнення цього дефекту може привести, зокрема, збільшення подачі фарби з метою кращого відтворення деталей в світах зображення. Для контролю відтворення тіней растрових зображень служить показник контрасту друку – коефіцієнт Ширмера. При розрахунку коефіцієнта контрасту друкування проводиться вимірювання зональних оптичних щільностей 100% і 80% полів растрової шкали. Показник розраховується за формулою:

$$k = \frac{D_s - D_r}{D_r} \cdot 100\% \quad (2)$$

де k – коефіцієнт контрасту;
 D_r – інтегральна оптична щільність;
 D_s – оптична щільність суцільного фарбового шару (плашка).

Отримані експериментальні результати свідчать, що показник контрасту тріадних фарб серії Diamond на крейдованому папері Magno Star в цілому вищий від цього показника фарб серії Aronon T на 5-7% (рис. 13).

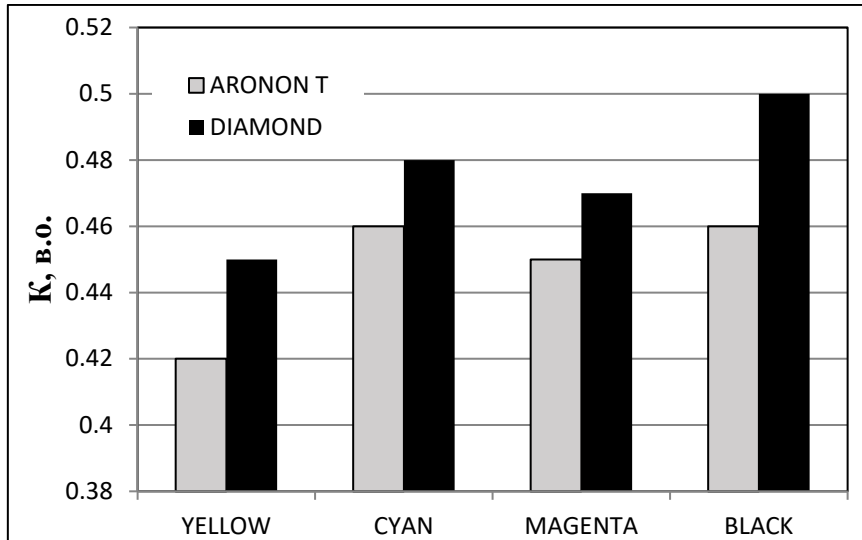


Рисунок 13 – Результати денситометричних досліджень показника контрасту фарб Aronon T та Diamond на папері Magno Star

На офсетному папері SCP (рис. 14) ще більш яскраво визначена перевага фарб серії Diamond за показником контрасту, цей показник вищий на 10-14%.

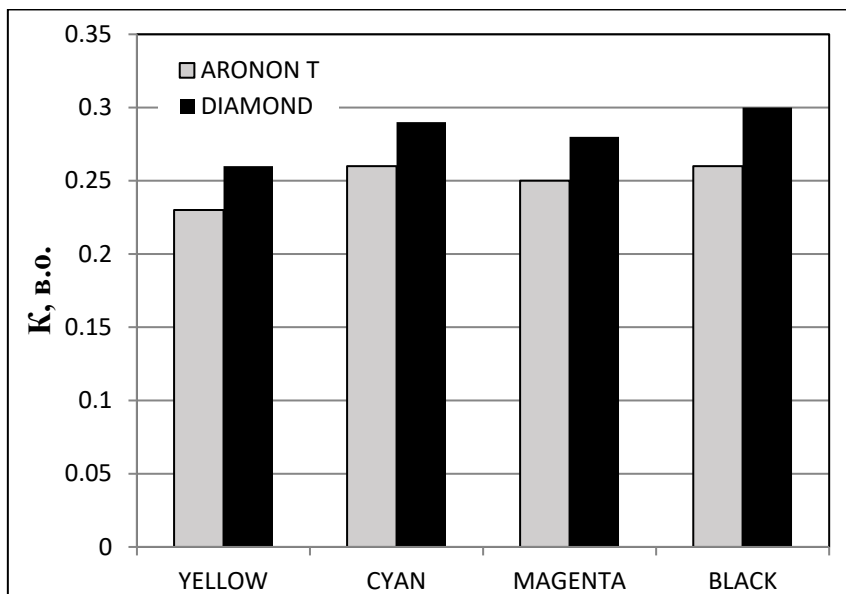


Рисунок 14 – Результати денситометричних досліджень показника контрасту фарб Aronon T та Diamond на папері SCP

Отже, фарби серії Diamond переважають фарби серії Aronon T за якістю відтворення градацій у тінях зображення. При цьому показник контрасту для усіх досліджуваних фарб відповідає вимогам стандарту.

Для повного приведення кольоровідтворення до вимог стандарту необхідно також привести у відповідність градаційні характеристики (лініаризувати криві тоновідтворення) і узгодити (збалансувати) отримані результати. Це може бути предметом наступних досліджень.

Висновки

В результаті проведених експериментальних досліджень відбитків плоского офсетного друку:

- встановлено залежності показника колірної відмінності від оптичної щільності тріадних фарб серій Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та на основі цих залежностей визначено оптичні щільності фарб серій Aronon-T і Diamond при яких забезпечуються показники кольоровідтворення відповідно до стандарту ISO 12647-2;

- визначено відхилення колірних координат ab в залежності від товщини фарбового шару тріадних фарб Aronon-T і Diamond на паперах Magno Star та SCP та встановлено, що колористика фарб серії Diamond повністю відповідає вимогам стандарту, а фарб Aronon-T має незначні відхилення для фарби Yellow, найбільш близькими до цільових координат для обох серій фарб на обох типах паперу є фарби Magenta;

- визначено, що оптимальна кількість (з точки зору колориметричних характеристик) тріадних фарб Aronon-T на відбитку на папері Magno Star складає 1,0-1,2 г/м², на папері SCP – 1,2-1,3 г/м², а для тріадних фарб Diamond - на папері Magno Star 0,9-1,1 г/м², на папері SCP – 1,1-1,2 г/м²;

- встановлено, що фарби Diamond при накладанні забезпечують ближчі до рекомендованих компанією X-Rite значення трепінгу (за формулою Проїцїла) як на крейдованому, так і на офсетному папері;

- встановлено, що показник контрасту тріадних фарб серії Diamond на крейдованому папері Magno Star в цілому вищий від цього показника фарб серії Aronon T на 5-7%, а на папері SCP – на 10-14%, що свідчить про перевагу фарб серії Diamond за якістю відтворення градацій у тінях зображення.

В цілому, за аналізом результатів проведених експериментальних досліджень встановлено оптимальні кількості фарб Aronon-T і Diamond на відбитках та підтверджено, що фарби Diamond забезпечують вищі колориметричні та денситометричні показники відбитків офсетного друку при дещо нижчій товщині фарбового шару.

Список літератури.

1. Research and markets. (2026). Offset Printing – Global Strategic Business Report. <https://www.researchandmarkets.com/report/offset-printing?srsId=AfmBOorqMT2f3A5boISn-eW6rKxzHuD1fh-75U7yTJB2TAf6A4AiW7Hh>.

2. Мельников, О.В. (2007). Технологія плоского офсетного друку. Львів: УАД.
3. Ярема, С.М., Карплюк, В.А., Мельнічук, С.І. & Прокопчук, Р.С. (2002). Офсетний друк. Друкарські машини, оздоблювальне та допоміжне обладнання. ХаГар.
4. Мельнічук, С.І., & Ярема, С.М. (2002) Офсетний друк. Технологія та обладнання додрукарських процесів. ХаГар.
5. Гавенко, С.Ф., Бернацек, В.В., & Лабєцька, М.Т. (2020). Дослідження впливу технологічних режимів друкування на якість офсетних відбитків. Технологія і техніка друкарства, 3(69), 16-24.
6. Cuvalcioglu, G., Gundogdu, D. & Ozel, F. (2025). A multi-criteria decision making method to measure offset printing quality according to paper type: Intuitionistic fuzzy entropy based TOPSIS method. <https://ifigenia.org/images/7/79/NIFS-31-4-532-552.pdf>.
7. Nguyen, T.P., Nguyen, L.G., Le, C.D., Truong, T.T., Che, Q.L., & Nguyen V.N. (2026). Quantifying the Correlation between Ink Trapping Efficiency and Color Difference (ΔE_{ab}) in Offset Printing: A Predictive Model for Process Optimization. Jstage. <https://doi.org/10.11413/nig.63.43>.
8. Mertoğlu Elmas, G., Karabulut, B. & Sönmez, S. (2022). The effect of some office papers quality characteristics on offset printing process. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 37(2), 270-281. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/npprj-2022-0002/html>.
9. Назар, І.М., Ривак, П.М., & Карпа, І.І. (2025). Дослідження якості відбитків офсетного способу друку для виготовлення пакувальної та рекламної продукції. Технологія і техніка друкарства, 2(88), 24-33.
10. Зигуля, С.М. (2017). Дослідження параметрів якості друкованого відбитка при двобічному друкуванні на аркушевих офсетних машинах. Технологія і техніка друкарства, 2(56), 34-44.
11. Phung, A.T. (2021). A study on the assessment of quality of printed sheets in offset sheet-fed printing. Engineering and Technology For Sustainable Development, 31(1), 41-45.
12. Repeta, V., Ryvak, P., & Krykhovets, O. (2026). Models for calculating the integral quality indicator of the offset printing process for the IIOT-system. Applied Computer Science, 22(1), 99-109.
13. Bratić, D., Miljković, P., Jurečić, D., & Grabarić, T. (2025). AI-Driven Random Forest Model and the Six Sigma Approach for Enhancing Offset Printing Process and Product Quality. Appl. Sci., 15(5), 2266.
14. Гавенко, С., & Мельников, О. (2006). Стандарти у видавничо-поліграфічній галузі Укр. акад. друкарства.
15. Ярема, С., Моргунюк, В., & Пашуля, П. (2004). Стандарти у поліграфії: Стандартизація у видавничій, поліграфічній та пакувальній справі. Ун-т “Україна”.
16. PSO-Insider. (n.d.). Fogra, & Bundesverband Druck und Medien. <https://www.pso-insider.de/en/psa>.
17. International Organization for Standardization. (2004). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes (ISO Standard No. 12647-2:2004). <https://www.iso.org/standard/37880.html>.
18. Державне агентство з питань технічного регулювання та споживчої політики України. (2008). Поліграфія. Керування процесами виготовлення растрових кольороподілених фотоформ, пробних і тиражних відбитків. Частина 2. Процеси офсетного плоского друкування (ISO 12647-2:2004, IDT + ISO 12647-2:2004/Amd.1:2007, IDT) (ДСТУ ISO 12647-2:2008). <https://online.budstandart.com>.
19. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes (ISO Standard No. 12647-2:2013). <https://www.iso.org/standard/57833.html>.
20. Ковальський, Б., Занько, Н., & Писанчин, Н. (2015). Аналіз особливостей нового стандарту для офсетного друку ISO 12647-2: 2013. Комп’ютерні технології друкарства, 2(34), 196-204.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ КНИЖОК ШРИФТОМ БРАЙЛЯ З МУЛЬТИМЕДІЙНИМИ ДОДАТКАМИ

Сільченко В.В.

аспірант, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0009-0009-2504-1283

***Анотація.** У роботі досліджуються основні етапи виготовлення книжок шрифтом Брайля та особливості застосування мультимедійних додатків для інклюзивної літератури. Розглянуто два варіанти розробки аудіододатків для дитячої книги «Кваско і Катруся», яка призначена для слабозорих та незрячих дітей молодшого шкільного віку. У першому використовується спеціалізоване програмне забезпечення для створення аудіокниги та голосів дикторів, у другому – розпізнавання тексту підготовленого оригінал-макета та автоматична генерація аудіофайлу. З метою визначення більш ефективної технології виготовлення аудіододатків було проведено експертну оцінку цих додатків та розроблено рекомендації щодо використання мультимедійних технологій для інклюзивних видань.*

***Ключові слова:** інклюзивна література, шрифт брайля, аудіокнига, аудіоредактори, експертні методи, метод портфоліо.*

Вступ

За даними ВООЗ у світі проживає 180 млн осіб із поганим зором, з яких приблизно 45 млн повністю сліпі, а 135 млн мають слабкий зір. Щорічно кількість незрячих у світі зростає на 1-2 млн осіб. Якщо така тенденція збережеться, то до 2025 р. налічуватиметься понад 100 млн людей із вадами зору. Для України проблема сліпоти та порушення зору надзвичайно актуальна, оскільки захворювання посідає четверте місце серед основних причин інвалідності [1].

У сучасному суспільстві індустрія електронних книг набирає обертів. Читачі бажають отримувати інформацію і читати книжки. І саме недорога електронна книга може вдовольнити ці потреби. Видавництва, які виготовляють електронні книжки, на шляху боротьби за читача дуже активно впроваджують різні інновації. Однією з найбільших інновацій у цій галузі став розвиток електронних книг з розширеними можливостями. Тепер користувачі можуть насолоджуватися не тільки текстом, а й додатковими функціями, такими як аудіо, відео, інтерактивність та багато іншого.

Щорічно у всьому світі видають тисячі книг шрифтом Брайля, але лише мала їх частина виходить в Україні. Це пояснюється, в першу чергу, нестачею коштів. Вартість друку однієї книги може доходити до 50-60 доларів, що досить велика для людей з інвалідністю. Тиражі в Україні зазвичай не перевищують 300 примірників [2].

Із початком повсюдної комп'ютеризації у друкованих книг з'явилися альтернативи, наприклад, аудіокниги, мовні синтезатори і інтерактивні книги формату DAISY – теж аудіо, але з можливістю пошуку в тексті. Однак тифлопедагоги і активісти в один голос стверджують: повністю замінити друковану книгу не може ніщо. Дитина, яка не читає шрифтом Брайля, не зможе навчитися їм писати, і навіть дорослі без практики втрачають навички. Крім того, не варто забувати про сліпоглухонімих людей: для них рельєфно-крапкове зображення, в принципі, – єдине джерело інформації і спілкування з навколишнім світом.

За даними [1] на початку 2022 року в Україні проживало близько 80 тисяч людей із порушеннями зору, в тому числі майже 10 тисяч це діти. Навіть за участю волонтерів та меценатів, ситуація з виданням книг шрифтом Брайля в країні поки що далека від повного задоволення існуючих потреб.

Останні міжнародні дослідження та звіти також демонструють зростання уваги до інклюзивної літератури та доступності книжок для різних груп читачів [3, 4], хоча проблема репрезентації та доступності все ще залишається актуальною. Тому перехід на електронні книжки або використання мультимедійних додатків для звичайних друкованих книжок значно розширює можливості видавництва щодо забезпечення більшої кількості читачів книжками. Обираючи різні мультимедійні функції одні й ті ж самі книжки можуть читати люди і з вадами зору, і з вадами слуху, і звичайні люди. Розроблення оптимальних технологій створення мультимедійних додатків та використання для цього сучасного програмного та технічного забезпечення дозволить не тільки зробити ці книжки більш цікавими, але й більш доступними і дешевими. На сьогодні це і є основна проблема інклюзивної літератури.

В роботі розглядаються різні технології розробки аудіокнижок для незрячих людей, а також розглянуто особливості інтелектуального розпізнавання тексту при створенні аудіокниг.

Мета та задачі дослідження

Мета роботи – дослідження основних етапів підготовки та виготовлення книжок шрифтом Брайля та підвищення ефективності технологічного процесу розробки інклюзивних видань за допомогою використання мультимедійних технологій.

Об'єкт дослідження – процес розробки інклюзивних видань з аудіододатком.

Предмет дослідження – технології виготовлення книг шрифтом Брайля, вимоги до програмного забезпечення та технології розробки аудіододатків до інклюзивних видань.

Для реалізації поставленої мети реалізовані наступні задачі:

- аналітичний огляд літератури;
- аналіз технологій, матеріалів та обладнання для виготовлення книжок шрифтом Брайля;

- аналіз програмного забезпечення для розробки аудіосупроводження інклюзивних видань;
- розробка аудіододатка за різними технологіями;
- експертне оцінювання та визначення найбільш ефективної технології для розробки мультимедійних аудіододатків для інклюзивних видань;
- розробка рекомендацій щодо застосування мультимедійних технологій для інклюзивних видань;

Актуальність роботи полягає в тому, щоб показати важливість впровадження інклюзивної літератури в сучасні умови розвитку суспільства

Основна частина

1 Проблеми видання інклюзивної літератури

Державний стандарт України не регламентує визначення видань для сліпих [5]. Такі видання відрізняються від звичайних друкованих видань за знаковою природою інформації

За аналізом літератури [6, 7], «видання для сліпих – це видання, які призначені для самостійного читання сліпими за допомогою дотику чи слухового сприйняття з використанням звуковідтворювальної апаратури». В таких виданнях застосовують спеціальний рельєфно-крапковий шрифт Брайля. Читання здійснюється за допомогою дотику пальців.

Більшість видань шрифтом Брайля в Україні випускалися Республіканським будинком звукозапису і друку Українського товариства сліпих, який працює і зараз, забезпечуючи літературою спеціалізовані бібліотеки в містах України.

Допомагають випускати книжки шрифтом Брайля і приватні підприємства. Наприклад, ТОВ «Друкарня «Мадрид», за допомогою меценатів придбала брайлівський принтер. І з 2018 року крім звичайних книг видає книжки шрифтом Брайля цифровим друком. В 2020 році завдяки співпраці «Друкарні Мадрид» із громадською організацією «Досвід ЄС», у Харкові відкрили приватну соціальну бібліотеку. У бібліотеці представлено видання шрифтом Брайля українських та європейських авторів [2].

Також з 2015 року діє благодійний проєкт «Книга Брайлем» Фонду сім'ї Нечитайло, який займається адресною доставкою книг і поповненням фондів бібліотек [8].

У багатьох випадках в Україні особи з вадами зору віддають перевагу аудіокнигам, і цей сегмент має свої особливості. Видавництва приділяють увагу якості запису, використовують спецефекти та запрошують відомих читачів. Тому аудіокнижки часто мали дуже велику вартість.

І хоча деякі приватні благодійники та компанії надсилають аудіокнижки в бібліотеки та спецшколи, це залишається винятком замість правила. Потреба в таких книгах досить залишається великою.

2 Інновації в індустрії електронних книг

Інновації в галузі електронних книг охоплюють різноманітні аспекти, включаючи створення інтерактивних книг для дітей, розробку програмного забезпечення для поліпшення читання та вивчення мов, а також створення адаптованих книг для осіб з порушеннями зору.

У контексті широкого впровадження комп'ютерів та гаджетів, поряд із традиційними друкованими книгами, з'явилися нові альтернативи, серед них такі.

Аудіокниги – це звукові версії книг, які можна слухати, замість того щоб читати. Вони надають можливість людям вивчати літературу під час подорожей, фізичних вправ або для тих, хто має проблеми з читанням.

Мовні синтезатори – це програми, які перетворюють текст на мовлення. Вони корисні для людей з порушеннями зору або тих, хто шукає альтернативний спосіб взаємодії з текстом.

Інтерактивні книги у форматі DAISY (Digital Accessible Information System) – це аудіокниги, що містять структуровані дані, дозволяючи користувачам переходити між розділами, робити пошук у тексті та взаємодіяти з вмістом за допомогою голосових команд. Такі книги роблять контент більш доступним для осіб з обмеженими можливостями [9, 10].

Ці інновації допомагають поліпшити процеси навчання для дітей та людей з особливими потребами.

Наприклад, компанія «Pera Technology» за підтримки ЄС займається розробкою різноманітних технологій для спрощення життя для людей із вадами зору. Один із останніх винаходів – дисплей зі шрифтом Брайля для читання електронних книг.

«Anagraphs» – це пристрій, який потрібно приєднувати до електронних книг або персонального комп'ютера. За допомогою воску на резистивному сенсорному екрані відтворюватиметься текст шрифтом Брайля. Над пристроєм працювали фахівці із Інституту фотонних мікросхем Фраунгофера (Німеччина), компаній «СК Productions», «Innora» і «Hobart Lasers».

Зараз уже існують електронні книги для незрячих, які складаються з окремих рухомих смуг із отворами для літер шрифтом Брайля. Проте «Anagraphs» є легшим у виробництві та дешевшим.

Пристрій функціонує на основі принципу термо-гідравлічного мікро-реагування. У комплексі з програмним забезпеченням, пристрій відтворює до 6000 точок рельєфно-крапкового шрифту на екрані. Під час роботи рідкий віск формує потрібні знаки і твердне, утворюючи при цьому потрібний текст [9, 11].

В Україні існують видавництва, видавці та індивідуали, які віддано працюють над створенням електронних книг для людей з вадами зору. Навіть створюються спеціальні електронні бібліотеки, де можна знайти та завантажити необхідні книги.

Таким прикладом є онлайн-бібліотека для людей з вадами зору «Ліхтар». На головному сайті є інструкція з навігації (рис. 1).



Рисунок 1 – Головна сторінка онлайн-бібліотеки «Ліхтар»

Незрячій людині потрібно знати 10 клавіш, щоб користуватися «Ліхтарем». Усі дії озвучені синтезатором української мови «Анатоль», а вибраний текст змінює колір, тому цією бібліотекою також можуть користуватись й люди, котрі просто погано бачать.

У бібліотеки є головний сайт та спеціальний сервіс для незрячих. Сайт розроблено для усіх охочих. Ним можна користуватись за допомогою миші. Тоді як спеціальний сервіс було зроблено для частково або повністю незрячих людей. Він також протестований людьми з вадами зору. Керувати ним можна за допомогою миші або клавіш. Незрячі люди майже не користуються комп'ютерними мишами, тому можливість залучити клавіатуру є надзвичайно важливою.

Онлайн бібліотека аудіокниг «Ліхтар» – це спроба полегшити життя як людям із тотальною втратою зору, так і частково незрячим [12].

Прогрес та вдосконалення пристроїв для читання визначають основні тенденції на світовому ринку цифрової літератури. Зростання популярності смартфонів та розширені можливості електронних книг створюють переваги, які, ймовірно, підтримають попит на ці нові формати видань.

Легкий доступ до різноманітних електронних бібліотек через додатки чи онлайн-сервіси стає доступною альтернативою традиційному методу покупки книг. Збільшення кількості та постійна модернізація портативних читальних пристроїв, зокрема смартфонів і планшетів, гратиме ключову роль у підтримці жвавості світового ринку електронних видань.

Використання передових технологій та розробка нових продуктів визначають стратегічні напрямки на книговидавничому ринку. Видавці та автори активно звертають увагу на впровадження інновацій з метою збільшення обсягів продажів, а також для модернізації та оптимізації літературних та видавничих процесів.

Так, наприклад, у січні 2020 р. було випущено програмне забезпечення для аналізу літературних творів за допомогою штучного інтелекту, що дає авторам змогу вдосконалити книгу, перш ніж передати її для професійного редагування. Завдяки програмному забезпеченню також можна визначити потенціал твору й спрогнозувати рівень його популярності серед читачів [8].

Для збільшення продажів книг видавництва випускають подкасти – серію розмов або аудіоепізодів певної книги.

Якщо аудиторія насолоджується подкастами, пов'язаними із книгами, вони можуть стати більш лояльними до автора чи видавництва. Якщо книга доступна у форматі аудіокниги, подкасти можуть надати зразки аудіоконтенту, щоб залучити аудиторію. Це особливо корисно для людей, які вперше спробували аудіокниги. І це незамінна форма для людей з порушенням зору для ознайомлення змісту цікавої для них книги.

Однією з найбільших інновацій у цій галузі став розвиток електронних книг з розширеними можливостями. Тепер користувачі можуть насолоджуватися не тільки текстом, а й додатковими функціями, такими як аудіо, відео, інтерактивність та багато іншого. Наприклад, відомий видавець електронних книг, Amazon Kindle, випустив нову функцію під назвою «Kindle in Motion», яка включає в себе різні функції, такі як анімація елементів на сторінці, змінювання розміру та форми шрифту, додавання зображень та відео, а також відтворення музики та звуків, що доповнюють історії та роблять читання більш захопливим.

Іншими інноваціями в індустрії електронних книг є розвиток інтерактивних книг для дітей, розвиток програмного забезпечення для покращення читання та вивчення мов, а також розробка книг для людей з вадами зору [8, 13-15].

3 Технологія виготовлення видань шрифтом Брайля

Для аналізу можливостей використання мультимедійних технологій для видань шрифтом Брайля обрано популярне дитяче видання в твердій палітурці (рис. 2).

Видання «Квасько та Кватруся» відноситься до 2-ї вікової категорії [5, 16]. Відповідно, для видань шрифтом Брайля є додаткові вимоги:

- розмір букви шрифтом Брайля дорівнює 20 пунктам стандартного шрифту Arial, тому для повторювання звичайного тексту шрифтом Брайля доцільно використовувати саме цю гарнітуру і цей розмір шрифту;
- кількість символів на сторінці А4 повинна бути 26;
- кількість строк на сторінці А4 повинна бути 27;
- шрифт чорний на білому або жовтому фоні (цей колір сприймається).

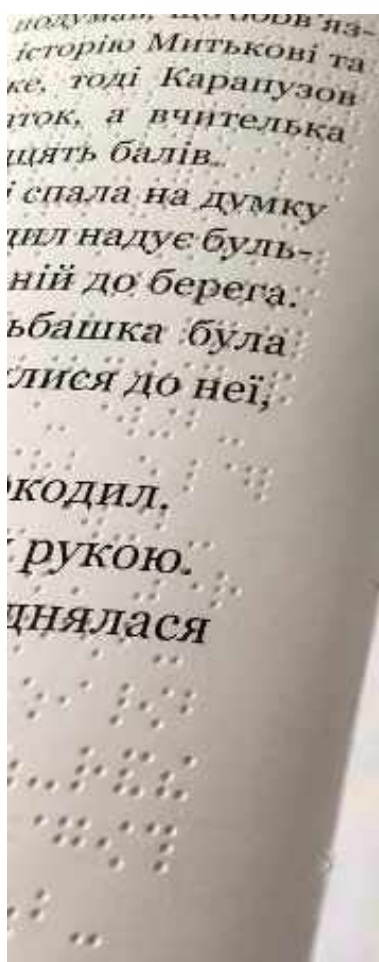
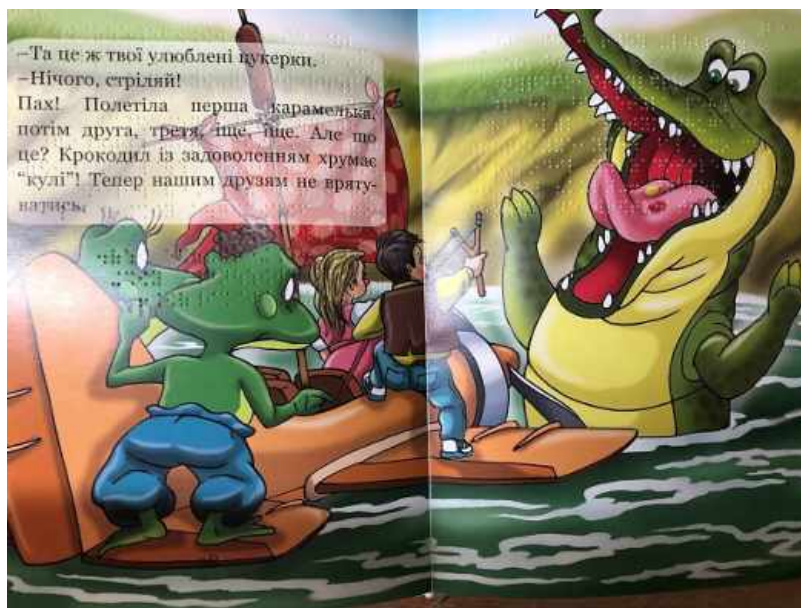
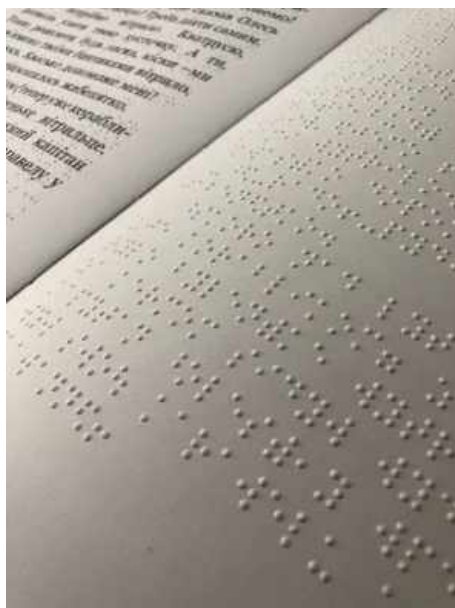


Рисунок 2 – Приклади сторінки проєкту дитячого видання, надрукованого шрифтом Брайля

Макет видання «Квасько та Кватруся» розроблено відповідно до вимог державних стандартів щодо оформлення видань другої вікової категорії та використання шрифту Брайля. Ця книга також має тактильну графіку. Використання шрифту Брайля, кольорових та тактильних зображень для дітей з

вадами зору, а також звичайних шрифтів для читання батьками значно збільшую можливість вивчення цієї книжки. Додатково розроблюється аудіосупроводження, як мультимедійних додаток до книги.

3.1 Основні способи друку шрифтом Брайля.

Брайлівська друкарська машинка складається з шести основних клавіш, що відповідають шести крапкам вічка Брайля, та клавіші «пробіл». Текст, надрукований таким чином, можна читати, не перевертаючи аркуш паперу.

Сучасні методи нанесення шрифту Брайля на матеріали включають поліграфічні технології. Для цього використовується спеціальний папір, але слід відзначити, що картон має меншу тривалість зберігання відтиснених крапок, що скорочує життєвий цикл книг. Розповсюдженість різних форматів аркушів для друку Брайлем залежить від національних традицій друкарства.

Один із способів нанесення шрифту Брайля - конгревне тиснення, де матриця і контрштамп містять необхідну комбінацію крапок. Недоліком є потреба в окремих штампах для кожної сторінки, що здорожує виробництво.

Також розроблено технологію Accubraille, яка дозволяє наносити шрифт Брайля на упаковку під час фальцювання і склеювання. Ця технологія є доступною та ефективною, і швидкість роботи може сягати до 100 тис. примірників на годину.

Термопідняття використовує матеріали, які сильно збільшуються в об'ємі при нагріванні, такі як полістирол, який спінюється. Дрібнодисперсний порошок на їх основі наноситься на свіжу фарбу чи лак. В процесі вібросекції аркуша порошок відділяється там, де немає фарби, і після цього нагрівається. Під впливом тепла порошок, що прилип до фарби, спінюється чи плавиться, створюючи рельєф, і після охолодження фіксується.

Також може використовуватись спеціальний рельєфний лак, який збільшується в об'ємі при нагріванні. Його наносять трафаретним способом, а під впливом УФ-випромінювання він полімеризується, створюючи рельєфне зображення.

Цифровий друк використовує спеціальний тонер, який, потрапляючи в цифрову машину, стає рельєфним. Брайлівські принтери здійснюють друк рельєфно-точковими символами на папері, виводячи текст у шрифті Брайля.

Ці технології мають свої переваги та недоліки. Термопідняття доступне і дешеве, але робочі витрати високі через складний процес обробки. Рельєфний лак ефективний, але дорогий. Цифровий друк використовує спеціальний тонер і дозволяє виводити рельєф на папері. Технологія вакуумної формовки застосовується у виробництві навчально-методичних видань для незрячих, упаковки та реклами, забезпечуючи високі показники міцності та реалістичний вигляд продукції [15].

Для розробленої книжки, яка випускається накладом один примірник, використовується цифровий спосіб друку.

3.2 Вибір спеціалізованого програмного забезпечення та обладнання для виготовлення книжки шрифтом Брайля.

Для виготовлення дитячого видання необхідно також спеціалізоване програмне забезпечення, яке конвертує текстовий файл на шрифт Брайля та два види друкарського обладнання [15]:

- перше, для друкування сторінок шрифтом Брайля і тактильної графіки – в нашому випадку спеціалізований принтер;
- друге, для друкування звичайних сторінок з текстом та графікою – цифрова друкарська машина.

Принтер Брайля – це пристрій, призначений для друку рельєфно-крапковим шрифтом Брайля та тактильної графіки. Ці принтери виводять текстову інформацію, представляючи її у вигляді рельєфних крапок на папері. Принтери для друку шрифтом Брайля і тактильної графіки можуть використовуватися як для виведення на друк текстового контенту, так і для створення тактильних зображень.

Для друкування підготовленого проєкту книжкового видання було використано спеціалізований брайлівський принтер Everest-D V5 – Index Braille. Це професійний швидкісний принтер для друку видань шрифтом Брайля в промислових масштабах. Він друкує на обох сторонах 1 аркуша паперу зі швидкістю 300 символів на секунду. Переваги цього принтера: друк на папері в різних розмірах, двосторонній друк у портретній і альбомній орієнтації, можливість друку буклетів та книг, можливість друку з комп'ютерів, що працюють під управлінням Windows, Mac, Linux, можливість друку з мобільних пристроїв, таких як смартфони і планшети з Android, Windows Phone тощо.

Для друкування текстових сторінок видання була обрана цифрова друкарська машина HP Indigo 7500. Ця машина відноситься до третього покоління цифрових офсетних машин HP Indigo, друкує зі швидкістю до 160 кольорових сторінок А4 в хвилину в режимі ЕРМ. Цифрова офсетна машина HP Indigo 7600 ідеально підходить для великотиражного друку різноманітних комерційних робіт з тиражами від одного примірника до кількох тисяч.

Розглянемо також програмне забезпечення, яке найчастіше використовується для конвертації тексту у шрифт Брайля.

Прикладом програмного забезпечення для конвертації звичайного тексту на шрифт Брайля є Duxbury Braille Translator (DBT) – програмне забезпечення з графічним інтерфейсом користувача, призначене для двонаправленого перекладу тексту. Основна функціональність DBT включає переклад звичайного шрифту в абетку Брайля та навпаки. Проте, програма не обмежується цими можливостями. DBT є потужним текстовим редактором, який дозволяє підготувати різноманітні документи до друку за Брайлем на десятках мов та різних кодуваннях. Крім того, вона містить орфографічний словник з більш ніж 300 000 словами та функцію «Quick Find Misspelling» для швидкого виявлення та виправлення орфографічних помилок. Програму можна використовувати з будь-яким принтером Брайля.

ElPicsPrint – це програмне забезпечення, яке призначене для підготовки і друку тактильної графіки на принтерах Index Braille. Програма автоматично перетворює зображення в точковий малюнок з урахуванням технічних можливостей принтерів Index Braille і особливостей сприйняття сліпих осіб. Важливо враховувати, що найбільш читабельними є тактильні малюнки, отримані з чорно-білого зображення з невеликою роздільною здатністю.

Сфера застосування тактильних малюнків включає наочні посібники для навчання, картографічні матеріали та інше. Використання ElPicsPrint з принтером Брайля є економічно вигіднішим порівняно з іншими методами виготовлення тактильної графіки. Програма має ряд корисних можливостей, таких як перетворення зображень для друку на принтерах Брайля, підтримка друку з плаваючою головкою, друк готового тактильного зображення на принтерах Braille у форматах jpg, png, bmp та інші.

Макет видання «Квасько та Катруся» було оброблено за допомогою програми Duxbury Braille Translator (DBT), яка має можливість створюючи комбіновані документи з текстом та графікою, а також додавати тактильну графіку; може імпортувати файли Microsoft Word 2007/2010/2013, а також файли Open Office; підтримує шестикрапковий Брайль; підтримує більш ніж 100 різних кодувань; є в наявності функція швидкого пошуку і виправлення граматичних помилок; також програма працює зі всіма популярними моделями принтерів.

3.3 Технологічна схема проєктування та розробки аудіокниг.

Особливістю розробленого видання є додаткове мультимедійне супроводження – аудіокнига. Технологічна схема виготовлення аудіороликів дозволяє визначити основні етапи проєктування даного мультимедійного продукту. Розроблено 2 схеми відповідно для проєкту 1 та проєкту 2. Технологічна схема виготовлення першого проєкту показана на рисунку 3. Вона включає не тільки етапи озвучування та монтажу аудоматеріалу, але й підготовку текстової частини.

Попередньо текстова частина книжки була підготовлена на етапі проєктування паперового варіанту. Вона проходила необхідну редакційно-видавничу підготовку як текстової частини, так і графічної. А також окремо готувалась частина зі шрифтом Брайля.

Для розробки аудіокнижки з голосами дикторів необхідно текстову частину розділити на декілька частин по ролях. Це буде вихідна інформація для дикторів.

Потім здійснюється запис голосів у студії за допомогою обраного програмного забезпечення – музичного редактора. Далі йде обробка і зведення звуку, а також додавання ефектів там, де це необхідно. Останнім етапом є запис та розміщення файлу на гугл-диск. Та формування посилання для QR-коду. Цей код розміщується на книзі і читач має змогу за цим посиланням скачати аудіоверсію книжки.



Рисунок 3 – Технологічна схема виготовлення аудіокнижки (проект 1)

Другий варіант книги ґрунтується на розпізнавання текстового файлу та автоматичного генерування аудіокниги (рис. 4).

Для цього використовується підготовлена текстова частина книги і здійснюється розпізнавання тексту та генерування звуку в спеціальній програмі. Потім на готову звукову доріжку накладаються необхідні ефекти (це можуть бути фільтри для зміни голосу, наприклад для дитячих казок, додавання інтонації, пауз тощо). Останнім етапом, як і в попередньому проєкті, є запис та розміщення файлу на гугл-диск або YouTube і формування посилання для QR-коду. Ці посилання можна також розміщувати у спеціалізованих електронних бібліотеках для безкоштовного (або умовно безкоштовного) доступу до

аудіокниг. Кінцевий монтаж в обох випадках виконується в програмі Adobe Premiere Pro, яка дозволяє додати до аудіокнижки ще ілюстраційну «обкладинку». Тобто зробити ці проєкти більш привабливими для споживачів.



Рисунок 4 – Технологічна схема виготовлення аудіокнижки (проект 2)

Перед розміщенням файли необхідно мінімізувати для забезпечення швидкого доступу до них.

Завершальний етап – тестування. Здійснювалося на різних пристроях, були перевірені швидкість завантаження, якість звуку та звукових ефектів.

4 Експериментальна частина

4.1 Аналіз цільової аудиторії.

В експериментальній частині для більш детального дослідження розроблено дві аудіо-версії дитячої книги «Квасько та Катруся» для слабозорих та незрячих дітей молодшого шкільного віку з використанням шрифту Брайля. Розробки здійснювались з використанням різних технологій озвучування та різним програмним забезпеченням, яке обиралось на основі експертного аналізу.

На першому етапі було здійснено аналіз цільової аудиторії для більшого розуміння особливостей даної розробки. В Україні особи з вадами зору, зокрема незрячі, з дитинства мають проблеми із доступом до навчальної літератури. На сьогодні відзначається серйозний дефіцит підручників та книг для цієї категорії громадян. Вітчизняні школи мають лише від 15% до 42% необхідної спеціальної літератури. Вчителі залишаються прикріпленими до підручників, які були надруковані ще у 2014 році, тим часом шкільна програма регулярно змінюється.

Не вистачає не тільки навчальних посібників, але й літератури наукового та художнього спрямування. Парадокс полягає в тому, що особи із вадами зору в середньому читають значно більше, ніж осіб із нормальним зором. За результатами моніторингу, середній українець прочитує приблизно 12 книг на рік, тоді як незрячі люди – майже 50. Зокрема, старшому поколінню не вистачає доступу до художньої та науково-популярної літератури [2, 3].

Як вже відзначалось, майже 60% людей з вадами зору слухають аудіокниги. В цій ситуації розробка технологій для швидкого створення аудіододатків до книжок може хоча б частково вирішити проблему дефіциту книжок.

Для дослідження розроблено 2 варіанти аудіодатків для дитячої книжки шрифтом Брайля «Квасько та Катруся» для слабозорих та незрячих дітей.

1-й варіант – використовується спеціалізоване програмне забезпечення для створення аудіокниги та озвучування дикторів.

2-й варіант – для створення аудіокниги використовується оригінал-макет у текстовому форматі, який був підготовлений для друкування, і здійснено розпізнавання тексту та автоматичне генерування аудіофайлу.

4.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для запису та обробки аудіододатку.

Порівняльний аналіз програм обробки звуку може бути корисним для визначення найкращого вибору в залежності від конкретного завдання та потреб споживачів. Залежно від потреб (чи це звукозапис, обробка аудіо для відео, музикальна композиція тощо), а також бюджету і досвіду, обирається певна програма, яка найкраще задовольняє вимогам завдання.

Для першого варіанту аудіокниги обрано безкоштовний аудіоредактор FL Studio (табл. 1).

Таблиця 1 – Програмне забезпечення для обробки звуку

	Adobe Audition	Audacity	FL Studio	Logic Pro	Cubase
Основне використання	Професійна обробка звуку та аудіо монтаж	Безкоштовна програма для обробки звуку та аудіо монтажу	Музичний DAW для створення музики та обробки звуку.	Професійний DAW для музичного запису та обробки звуку для користувачів Mac	Професійний DAW для музичного запису та обробки звуку
Основні функції	Широкі можливості редагування, ефекти та обробка високої якості аудіо	Запис, редагування та ефекти для аудіофайлів	Створення музики, підкастів та обробка звуку	Музичний секвенсор, обробка звуку, велика бібліотека інструментів	Музичний секвенсор, обробка звуку, велика кількість плагінів.
Переваги	Можливості для ефективної роботи з аудіо, інтеграція з іншими продуктами Adobe	Безкоштовна, проста у використанні, є українська мова	Широкі можливості для створення музики, інтуїтивний інтерфейс.	Висока якість та продуктивність на Mac, обробка звуку та музики в одному ПЗ.	Широкі можливості для музичного та аудіо-постпродакшну
Недоліки	Висока ціна підписки	Обмежені можливості порівняно з професійними програмами	Менше фокусу на аудіо-пост-продакшн порівняно з іншими	Доступний лише для користувачів Mac	Висока ціна та вивчення

Багато книг, які є в наявності в бібліотеках для людей з вадами зору, мають текстову частину, вже підготовлену на комп'ютері. Тому для спрощення технології підготовки аудіододатків до книг можна скористуватись спеціальним програмним забезпеченням, яке дозволяє перетворювати текст на звук.

Були проаналізовані програми:

- Google Text-to-Speech;
- Narakeet;
- Voiser Voiceover Transcription.

Кожен із цих інструментів має свої переваги та недоліки, але виходячи з вимог нашого завдання для розробки аудіокниги за другим варіантом обрано безкоштовну версію Voiser (табл. 2).

Таблиця 2 – Програмне забезпечення для конвертації тексту в звук

	Google Text-to-Speech	Narakeet	Voiser Voiceover Transcription
Основне використання	Створення аудіо на основі тексту	Автоматизоване створення аудіо та відео на основі тексту	Створення аудіо на основі тексту
Основні функції	Має великий вибір голосів і підтримує різні мови, включаючи українську	Дозволяє озвучити текст голосом, а також створювати анімаційні відеоролики; дозволяє автоматизувати процес створення відео та підтримує різні мови та голоси	Для легкого озвучування тексту голосом; дозволяє налаштовувати параметри звучання
Переваги	Безкоштовна послуга від Google. Вона інтегрована у багато додатків та проста в налаштуванні. Рекомендовано до використання на спеціалізованих сайтах для поліпшення інтерфейсу	Підтримує багато форматів. Можна завантажити звичайний текст (.txt), MS Word (.docx і .doc), MS Excel (.xlsx і .xls), PDF, EPUB, RTF, відкритий документ (.odt, .ods) і субтитри (.srt, .vtt)	Має багато параметрів голосу, можна налаштовувати швидкість, тон, паузи і інші характеристики голосу. Підтримує голосовий вивід для багатьох мов, у т. ч. українську. Має безкоштовну версію
Недоліки	Не дозволяє завантажити готовий текстовий файл, також неможливо скачати звуковий файл для локального користування. Потребує підключення до Інтернету, має обмежений вибір у налаштуванні характеристик голосу	Є платним сервісом, і вартість може бути високою для великого обсягу контенту	Має досить складний інтерфейс для новачків. Для більш розширених функцій є платна версія із додатковими функціями

4.3 Методика аналізу сильних і слабких сторін проєктів.

Для визначення більш ефективної технології виготовлення аудіододатків далі обирається експертна група та критерії оцінювання аудіокниг і проводиться експертне оцінювання.

Отримані результати допоможуть розробити рекомендації щодо застосування мультимедійних технологій для інклюзивних видань [13].

Для порівняння двох проєктів аудіокниг необхідно виявити їх недоліки та переваги. Вихідною посилкою оцінки є те, що всі книжки оцінюються покупцем,

що голосує своїми грішми. При цьому особливо важливим є швидке виявлення не абсолютної (що дуже складно), а відносної якості кінцевих проєктів. На соціологічне опитування цільової аудиторії потрібно багато часу та додаткові фінансові витрати. При цьому складно одержати чітке подання про об'єктивні переваги та недоліки книжок, тому що респондентів необхідно обирати досить різних для таких специфічних видань. Це повинні бути як спеціалісти поліграфісти, так і представники користувачів – люди з вадами зору, так і менеджери або маркетологи, які займаються просуванням інклюзивної книжкової продукції. До того ж вони повинні розуміти технології та особливості виготовлення аудіокниг. Таку групу досить складно зібрати. Тому припустимо більш динамічна й досить об'єктивна оцінка конкурентної ситуації, орієнтована на суб'єктивній оцінці розроблених проєктів видань групою експертів – представників досліджуваної цільової аудиторії.

Це можна зробити, скориставшись методом аналізу сильних і слабких сторін конкурентних проєктів. Суть цього методу полягає в тому, що на шкалу наносяться крапки, по розташуванню яких дається оцінка продукту за різними ознаками, і потім можна визначити відносні переваги або недоліки проєктів.

Основу даного методу становить перелік ознак, за допомогою яких може описуватися конкурентні проєкти. У результаті порівняння проєктів по кожній ознаці на шкалу наносяться крапки – оцінки. Після чого оцінки всіх ознак послідовно з'єднуються. Таким чином формується профіль оцінок. Зіставлення значень оцінок по кожній ознаці для порівнюваних проєктів дозволяє побудувати профілі сильних і слабких сторін продукту – розробленого аудіододатку.

Для побудови такого профілю необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити набір ознак, що характеризують проєкт – книжку, виготовлену шрифтом Брайля з аудіододатком (аналогом цієї книги);
- оцінити кожний з проєктів (побудувати відповідні профілі);
- побудувати відносну оцінку (профіль різниці) сильних і слабких сторін проєкту.

Визначимо набір ознак для опису ситуації.

Під час аналізу необхідно розглянути не тільки якість отриманих продуктів, але й інші ознаки – наприклад, час, затрачений на підготовку та реалізацію проєктів, складність реалізації, фінансову складову, легкість виконання тощо.

За аналізом літератури та попереднім практичним досвідом обрано наступний перелік ознак, за якими буде здійснено аналіз:

- 1 – якість звуку;
- 2 – якість дикції;
- 3 – наявність декількох голосів;
- 4 – сприйняття матеріалу (розглядається з урахуванням емоційного впливу на дитину);
- 5 – час виготовлення проєкту (чим менше, тим краще);

6 – вартість програмного забезпечення для конвертування тексту та обробки звуку (чим менше, тим краще);

7 – фінансові затрати на озвучування з урахуванням кількості виконавців (чим менше, тим краще);

8 – складність реалізації проєкту (враховуються всі етапи);

9 – використання розробленої технології виготовлення проєкту як типової для аналогічної продукції.

З обраних критеріїв оцінювання чотири зворотні. Тобто, чим більша ця ознака, тим кращий результат. Це пояснюється експертам на початку оцінювання.

Це такі ознаки: час виготовлення проєкту, вартість програмного забезпечення, фінансові затрати на озвучування, складність виконання проєкту.

При побудові графіків можуть застосовуватися шкали, які найбільш звичні користувачам. Наприклад: п'ятибальна (оцінки від 1 до 5; шкала широко поширена при оцінці знань); десятибальна (оцінки від 1 до 10).

Однак, працюючи з об'єктами, які важко описати, буває складно пояснити розходження між близькими оцінками, наприклад між оцінкою 6 й 7 при десятибальній шкалі, тому рекомендується надалі використовувати дев'ятибальну шкалу. У ній досить просто виділяються три зони: добре, погано, задовільно й можна виділити їхні відтінки. Наприклад: не зовсім добре – 7; добре – 8; більше, чим добре – 9. Аналогічно можна оцінити й інші групи: не зовсім погано – 3; погано – 2; дуже погано – 1. Таким чином, дев'ятибальна шкала дає можливість обґрунтовувати логічно свої оцінки.

Перш ніж експерти почнуть давати свої оцінки, погоджуються граничні значення, щодо яких буде проведене позиціювання по кожній ознаці.

Установлюючи граничні значення, необхідно враховувати наступні вимоги до оцінок:

- вони відображають позицію споживача – читача цієї книги, з урахуванням його специфіки (відсутність або вади зору);

- оцінки повинні бути по можливості повними й зрозумілими.

Для порівняння двох розроблених проєктів аудіокниг здійснимо побудову оцінного профілю. Для побудови оцінного профілю кожного проєкта окремо по кожній ознаці дається оцінка. Щоб підвищити надійність оцінки й знизити вплив суб'єктивної думки кожного фахівця побудова оцінного профілю розроблених проєктів книжок здійснюється групою експертів. Обрано групу 5 чоловік: заступник директора з виробництва цифрової друкарні, представник товариства сліпих, менеджер, фахівець з розробки мультимедійних видань, батько дитини з вадами зору. Індивідуальні оцінки усереднюють.

Отримані підсумкові оцінки заносяться в таблицю. Вона складається із трьох частин:

- поля для побудови профілю сильних і слабких сторін;

- поля ознак;

- поля оцінок проєктів.

Проект 1 – аудіододаток, озвучений двома дикторами, розроблений з використанням ПЗ FL Studio, Adobe Premiere Pro.

Проект 2 – аудіододаток, розроблений через конвертування тексту, використовується ПЗ Voiser, Adobe Premiere Pro.

Оцінки профілів проектів групою експертів наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Експертна оцінка проектів аудіокнижок

№	Ознаки	Експертна оцінка проекту 1						Експертна оцінка проекту 2					
		1	2	3	4	5	Узагальнена оцінка	1	2	3	4	5	Узагальнена оцінка
1	Якість звуку	9	9	9	9	9	9	8	7	9	9	7	8
2	Якість дикції	9	9	9	9	9	9	9	6	8	8	6	7
3	Наявність декількох голосів	9	9	9	9	9	9	6	6	7	8	5	6
4	Сприйняття матеріалу	8	9	9	9	8	9	8	7	8	8	6	7
5	Час виготовлення проекту	5	6	5	4	7	5	9	9	9	9	8	9
6	Вартість ПЗ для конвертування тексту, обробки звуку	6	6	3	3	5	5	8	8	7	8	9	8
7	Фінансові затрати на озвучування	7	5	3	5	4	5	9	9	9	9	8	9
8	Складність реалізації проекту	7	8	6	6	7	7	9	8	9	9	7	8
9	Використання розробленої технології як типової	8	8	7	6	8	7	9	8	9	9	8	9
							64,6						71,8

Профіль сильних і слабких сторін двох проектів аудіокнижок представлений на рисунку 5.

На наступному етапі здійснюється оцінка узгодженості думок експертів. Для цього розраховуються коефіцієнти варіації для кожного критерія. Результати проведених розрахунків здійснено для кожного проекту за 9-ма критеріями (табл. 4-5). Всі отримані значення коефіцієнтів варіації менше 0,2. Це говорить про те, що думки експертів узгоджені за кожним критерієм.



— проект 1, — проект 2

Рисунок 5 – Побудова профілю сильних і слабких сторін розроблених проектів аудіокнижок

Таблиця 4 – Результати розрахунків коефіцієнтів варіації для проекту 1

Характеристики (критерії) оцінювання	Середнє значення оцінок	Середньо квадратичне відхилення	Варіаційний розмах	Дисперсія	Коефіцієнти варіації
1. Якість звуку	0,140	0,00036305	0,00000013	1	0,002596362
2. Якість дикції	0,140	0,00036305	0,00000013	1	0,002596362
3. Наявність декількох голосів	0,140	0,00036305	0,00000013	1	0,002596362
4. Сприйняття матеріалу	0,134	0,00095556	0,00000091	1	0,007138564
5. Час виготовлення проекту	0,083	0,00090355	0,00000082	1	0,010845705
6. Вартість ПЗ для конвертування тексту, обробки звуку	0,070	0,00145302	0,00000211	1	0,020701261
7. Фінансові затрати на озвучування	0,074	0,00168237	0,00000283	2	0,022775149
8. Складність реалізації проекту	0,105	0,00017509	0,00000003	1	0,001667712
9. Використання розробленої технології як типової	0,114	0,00027177	0,00000007	2	0,002377801

Таблиця 5 – Результати розрахунків коефіцієнтів варіації для проєкту 2

Характеристики (критерії) оцінювання	Середнє значення оцінок	Середнє квадратичне відхилення	Варіаційний розмах	Дисперсія	Коефіцієнт варіації
1. Якість звуку	0,129	0,0022174	0,00000492	1	0,017734731
2. Якість діалогів	0,115	0,00233944	0,00000547	1	0,020276717
3. Наявність декількох голосів	0,100	0,00228494	0,00000522	1	0,02280614
4. Сприйняття матеріалу	0,115	0,00144266	0,00000208	1	0,01350853
5. Час виготовлення проєкту	0,137	0,00065175	0,00000042	1	0,004764287
6. Вартість ГЗ для конвертування тексту, обробки звуку	0,124	0,00039904	0,00000016	1	0,003118299
7. Фінансові затрати на озвучування	0,137	0,00065175	0,00000042	2	0,004764287
8. Системність реалізації проєкту	0,131	0,00157246	0,00000247	1	0,012013358
9. Використання розробленої технології на типовій	0,134	0,00000428	0,00000001	2	0,007500177

Для оцінки середнього ступеня узгодженості думок усіх експертів використовується коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2 (n^3 - n) - m \cdot \sum T_i}, \quad (1)$$

де $m = 5$ – кількість експертів;

$n = 9$ – кількість альтернатив;

S – середньоквадратичне відхилення всіх оцінок рангів, кожної альтернативи від середнього значення.

Визначимо коефіцієнт конкордації для кожного з проєктів.

Проект 1:

$$W = \frac{1294}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 (9^3 - 9) - 5 \cdot 23} = 0,93,$$

$$S = 1294, n = 9, m = 5.$$

Отриманий коефіцієнт конкордації $W = 0,93$ говорить про наявність високого ступеня узгодженості думок експертів у проведеному дослідженні.

Проект 2:

$$W = \frac{867}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 (9^3 - 9) - 5 \cdot 44,5} = 0,68,$$

$$S = 867, n = 9, m = 5.$$

Отриманий коефіцієнт конкордації $W = 0,68$ говорить про наявність середнього ступеня узгодженості думок експертів в проведеному дослідженні.

Проведемо оцінку важливості коефіцієнта конкордації. З цією метою обчислимо критерій узгодження Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot mn(n+1) + \frac{1}{n-1} \cdot \sum T_i}, \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{867}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 9(9+1) + \frac{1}{9-1} \cdot 44,5} = 27,15.$$

Розрахований χ^2 порівняємо з табличним значенням для числа ступенів свободи $K = n - 1 = 9 - 1 = 8$ при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Розрахунковий $\chi^2 = 27,15 \geq$ табличного (15.50731), відповідно $W = 0,68$ – величина не випадкова, тому отримані результати мають сенс і можна використовувати у подальших дослідженнях.

Результати дослідження

Проаналізуємо графік сильних і слабких сторін розроблених проєктів аудіокнижок.

Аналіз побудованих профілів показує, що ці два проєкти мають як переваги, так і недоліки за різними ознаками. Тому краще проаналізувати їх за відносними ознаками як конкурентів. Ми бачимо значний розрив по наступним пунктам: якість дикції, наявність декількох голосів та сприйняття матеріалу. За цими ознаками другий проєкт поступається першому. Це пояснюється технологією його підготовки – дикторське озвучування, яке звісно подобається споживачам. Але в той же час це впливає на ціну та час виготовлення аудіокнижки (ознаки 5-7). Тому другий проєкт за цими ознаками перевершує. І це цікавий результат. За думкою експертів за ознакою «Використання розробленої технології як типової» обраний другий проєкт. Саме цю технологію пропонують для подальшого використання. Це значною мірою пов'язано як з фінансовою складовою, так і з більш простою та швидкою технологією виготовлення аудіододатка. Можливо, що для дитячих книжок більш привабливим залишиться дикторське озвучування, але для масового виготовлення більш дешевих книжок можна рекомендувати другу технологію. Це підтверджується і узагальненими оцінками експертного оцінювання – перший проєкт набрав 64,6 балі, другий – 71,8.

Проведені дослідження та отримані результати можуть бути використані для подальшого виготовлення подібних проєктів. Це дуже актуально для видавництва, які займаються виготовленням книжок шрифтом Брайля і мають вже

підготовлені макети цих видань. А комплект обраного програмного забезпечення та розроблена технологія можуть бути рекомендовані як типові.

Висновки

У сучасному інформаційному середовищі незрячим людям вкрай важко. Зараз надзвичайно важливо втілювати в життя проекти, спрямовані на інклюзію, щоб кожна людина мала можливість проводити дозвілля або навчатись в зручній для неї формі. Читання – важливий засіб соціалізації і адаптації людей з порушенням зору.

Дослідження можливостей використання мультимедійних технологій для видань шрифтом Брайля має важливе значення для покращення доступності інформації для людей з вадами зору. Мультимедійні технології можуть забезпечити нові способи розповсюдження та сприймання текстової і аудіовізуальної інформації для цієї аудиторії.

Книги зі шрифтом Брайля потребують наявності на підприємстві спеціального обладнання та програмного забезпечення, тому мають доволі високу ціну. Це є причиною малого випуску таких книг. Тому актуальними є технології розробки аудіокниг, які є доповненням до книжок зі шрифтом Брайля. Їх також можна використовувати окремо, коли людина не має можливості купити паперовий варіант книги.

Це підтверджується дослідженнями, проведеними в даній роботі. Мультимедійні аудіододатки підвищують зацікавленість читачів книжок зі шрифтом Брайля. А технологія розробки аудіодотків, яка дозволяє зменшити час та вартість виготовлення аудіокнижок більш ефективна і цікава для користувачів.

Список літератури.

1. Мільченко, Л. (2021). Історія та сучасний стан видань шрифтом Брайля в Україні й за кордоном. Вісник Книжкової палати, (11), 8-17.
2. Chebotarova, M., Silchenko, V., & Chebotarova, I. (2020). Publishing books in Braille in Ukraine: problems and achievements. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 124-127).
3. Valente, D., Chennaz, L., Archambault, D., Négrerie, S., Blain, S., Galiano, A. R., & Gentaz, E. (2024). Comprehension of a multimodal book by children with visual impairments. *British Journal of Visual Impairment*, 42(1), 276-286. <https://doi.org/10.1177/02646196231172071>.
4. Dolphin, S, Downing, M, Cirrincione, M, Samuta, A, Leite, K, Noble, K, & Walsh, B. (2024). Information Accessibility in the Form of Braille. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, (5), 205-209. <https://doi.org/10.1109/OJEMB.2024.3364065>.
5. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД.
6. Сидоріна, І (2006). Письмо для сліпих: з історії створення та розвитку. Заклик. (9), 40.
7. Оніщенко, О.М. (2017). Реалії і перспективи технології друку та інтерпретація тексту шрифтом Брайля у видавничій справі. Інтегровані комунікації, (4), 33-38.

8. Чеботарьова, М.Р., Сушкова, А.С., Сільченко, В.В., & Чеботарьова, І.Б. (2022). Особливості розробки книжок шрифтом Брайля з аудіосупроводженням. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 113-115).
9. Крячко, М.О., & Чеботарьова, І.Б. (2023). Інновації в індустрії електронних книг. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 163-165).
10. Крячко, М.О., & Чеботарьова, І.Б. (2023). Електронні книги для людей з вадами зору: перспективи та виклики для видавничої галузі. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 166-167).
11. Онищук, М., & Татарінова, Л. (2021). Деякі тенденції книгодрукування та книгорозповсюдження у світі в умовах пандемії COVID-19. Вісник Книжкової палати, (9), 6-10. <http://visnyk.ukrbook.net/article/view/258430>.
12. Lihtar. (n. d.). <https://lihtar.in.ua/>.
13. Чеботарьова, І.Б., & Сільченко, В.В. (2024). Інновації в галузі електронних книг для людей з порушення зору. Інформаційні технології у сучасному світі. (с. 34-36).
14. Chebotarova, I., & Silchenko, V. (2024). Using intelligent text recognition to create audiobooks for blind people. *Memorias de SYNTOPIA*. (p. 34-35).
15. Chebotarova, I., & Silchenko, V. (2024). Intelligent text recognition when creating audio books for blind people. *Jóvenes en la ciencia*, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4232/3713>.
16. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). *Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник*. Х.: ХНУРЕ.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ПРОДУКТІВ

Григор'єв О.В.

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистем та технологій»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0001-6467-7983

Вовк О.В.

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистем та технологій»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0001-9072-1634

Яценко Л.О.

старший викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0002-6158-6207

***Анотація.** Створення мультимедійних продуктів у всіх сферах діяльності є невід'ємною частиною сучасного інформаційного спілкування. Зроблено огляд областей виникнення найпопулярніших мультимедійних продуктів. Встановлено перелік апаратних засобів, що найбільш широко застосовуються, необхідні для їх створення. Розроблено рекомендації щодо доцільного використання тих чи інших апаратних засобів для створення різних медіа продуктів.*

***Ключові слова:** мультимедійний продукт, сфери застосування, створення, апаратні засоби, вибір, рекомендації.*

Вступ

Медіапродукти на сьогоднішній день – це всі види електронних продуктів, спрямованих на спілкування між різними категоріями населення та представлених, як правило, у вигляді аудіо (аудіороликів) або повноцінного відео з аудіо супроводом, продуктів та послуг.

Для передачі-обміну медіапродуктами між окремими особами, групами осіб та різними категоріями існують різні соціальні мережі, корпоративні мережі, спеціальні мережі, доступ до яких відкритий окремим категоріям осіб.

Мультимедійні продукти охоплюють практично всі галузі життєвих інтересів населення у всіх часових поясах та всіх паралелях [1-6].

Джерелами мультимедійних продуктів, вірніше, їх ініціаторами є, як професійно підготовлені сценаристи та оператори, так і любителі, що створюють продукти, може і слабше за якістю змісту та аудіо-відео оформлення, ніж професіонали, але у великих кількостях тем і подій, що охоплюються.

Необхідно розуміти, що це мультимедійні продукти, що не конкурують між собою, а продукти взаємодоповнюючі, що створюють у сукупності ширший

інформаційний простір, з можливістю доступу до нього все більшої кількості користувачів.

Не менш важливою є соціальна сторона створення таких продуктів при забезпеченні вільного доступу до них широкого кола користувачів, що дозволяє їм почуватися повноправними учасниками подій, що відбуваються в них, як пасивна – споглядальна, так і активна – творча участь.

Найбільш суттєвим у наявності даного інформаційного простору і подальшому його розширенні є почуття у користувача того, що, при необхідності, будь-який з них може знайти відповіді на питання, що виникли саме в цьому просторі, а також доповнити його своїми інформаційними ресурсами.

До сказаного вище необхідно додати, що найбільш продуктивним у плані створення мультимедійних продуктів на сьогоднішній день є спортивний сектор, завдяки якому суттєво зросла кількість джерел аудіо та відео інформації, що пов'язане із збільшенням учасників не лише у традиційних видах спорту, а й у специфічних, а точніше – екстремальних видах спорту [1].

Такі види спорту передбачають високу активність, високий рівень ризику, а також потребують відповідної морально-психологічної, теоретичної, фізичної підготовки та спеціального спорядження.

Коротко розглянемо перелік екстремальних видів спорту, які розширюють ореол тематики мультимедійних продуктів, які можна об'єднати в такі види:

- повітряні: байсджампінг – стрибки з парашутом із фіксованих об'єктів; парашутизм – стрибки з літальних апаратів; парапланеризм – польоти на параплані; скайсерфінг – стрибки з парашутом на дошці;

- водні: серфінг – катання на хвилях; віндсерфінг – серфінг з вітрилом; кайтсерфінг – керування дошкою за допомогою повітряного змія; рафтинг – метал по бурхливих річках; кліфф-дайвінг – стрибки у воду з високих скель; кейв-дайвінг – занурення у підводні печери; флайборд – польоти над водою на дошці;

- наземні: альпінізм – сходження на вершини; скелелазіння – подолання скальних маршрутів; маунтінбайк – швидкісний спуск велосипедом по пересіченій місцевості; паркур – подолання перешкод у міській маячній; скейтбординг – катання на дошці; роуп-джампінг – стрибки на мотузці з високих об'єктів; слеклайн – ходіння по натягнутій стропі; буллрайдінг – родео на биках;

- зимові: сноубординг – спуск із гір на дошці; фрістайл на лижах – акробатичні стрибки; хелі-скіінг – спуск незайманими схилами, куди доставляють вертольотом;

- міські та технічні: BMX – велосипедний мотокрос, трюкові вело дисципліни на спеціальних велосипедах; самокатний спорт – трюки на самокаті.

Для забезпечення якісного змісту ресурсів та відповідної їм форми необхідні сучасні апаратні засоби для отримання первинної аудіо-відео інформації високої якості [2, 3].

Саме цьому питанню присвячено справжнє дослідження.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є аналітичний огляд апаратних засобів, що випускаються провідними виробниками, їх основних технічних характеристик і розробка рекомендацій щодо найбільш доцільного застосування цих засобів для створення різних мультимедійних продуктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити перелік мультимедійних продуктів, найбільш популярних на сьогоднішній день та сфери їх використання;
- встановити перелік апаратних засобів, що найчастіше використовуються для створення даних мультимедійних продуктів;
- проаналізувати їх основні технічні характеристики;
- розробити рекомендації щодо найбільш доцільного застосування визначених апаратних засобів для створення тих чи інших мультимедійних продуктів.

Основна частина

Розглянемо, які продукти належать до мультимедійних. На сьогоднішній день загальновизнаними мультимедійними продуктами є: фото, статті, кліпи, блоги, відеоблоги, картинки, карикатури, реклама, фільм, повідомлення, листівка, плакат і т.д.

Перелічені продукти за змістом та оформленням (аудіо-відео) можна умовно поділити на такі групи: професійні, аматорські та спеціальні.

Коротко розглянемо особливості кожної із зазначених груп продуктів, що необхідно вирішення завдань дослідження.

Професійні продукти, як правило, виконуються профільними організаціями на замовлення і основним документом при цьому є договір між замовником та виконавцем, невід'ємною частиною якого є технічне завдання на розробку, узгоджене обома сторонами. Саме цей документ включає поетапне виконання договору, заключним етапом якого є демонстрація зазначеного у договорі мультимедійного продукту замовнику та його приймання.

Документ включає перелік, необхідних виконання кожного з етапу договору, апаратних і програмних засобів, а також особливі вимоги до них. При цьому необхідне обладнання – апаратні та програмні засоби має організація-виконавець.

Слід зазначити, що згідно з договором може бути передбачено поетапний контроль ходу виконання договору з демонстрацією проміжних результатів. Це також впливає на список необхідних апаратних засобів. Основними творцями професійного контенту є організації, які мають ліцензії на даний вид діяльності, а для ефективної роботи над тим чи іншим сюжетом, співробітники даних організацій, які мають відповідну акредитацію, тобто право на аудіо та відео інтерв'ю.

Аматорські мультимедійні продукти, як правило, не вимагають документального оформлення, оскільки творець такого продукту, як то кажуть, сам собі режисер. Це дає йому деяку свободу вибору сюжету продукту та засобів, які він планує використовувати і при створенні продукту, і при його демонстрації – розміщенні в мережах або на різних платформах, на даний час людина, яка займається створенням мультимедійних продуктів, отримала назву блогер. Точніше, блогер – це людина, яка створює та публікує контент (на сайті, своєму майданчику, групі, соціальні мережі, відео хостингу тощо) [1, 2].

Кожен блогер має свій стиль та кращий контент: текст, фото, відеоролики тощо. Деякі блогери спеціалізуються на певній тематиці: подорожі, мода, промислові технології, ігрові технології, музика, література кінематограф тощо. Основний момент у тому, що всі витрати, пов'язані зі створенням нових продуктів, несе сам їх творець.

Слід зазначити ситуацію, коли, з урахуванням іміджу конкретного творця мультимедійних продуктів і напрямів його діяльності, наприклад, ролики про підводних жителів або їм подібні користуються попитом у користувачів, деякі фірми-замовники пропонують йому створення продукту за їхньою тематикою. І тут між замовником і виконавцем відносини можуть оформлятися, як і розробки професійних продуктів. Така співпраця для окремого блогера має свої переваги у вигляді гарантованої компенсації витрат на створення замовленого продукту.

До спеціальних мультимедійних продуктів відносяться продукти, які створюються або для професійно підготовленої аудиторії, або для аудиторії з обмеженим доступом до деяких видів інформаційної та практичної діяльності – різні служби, які безпосередньо забезпечують безпеку життєдіяльності, як окремих груп населення, так і держави в цілому: медицина, служби з ліквідації надзвичайних ситуацій зовнішньої агресії [2, 3].

Для створення мультимедійних продуктів у цій галузі, як правило, залучаються фахівці, знайомі з особливостями діяльності цих служб, які мають відповідну спеціальну освіту та досвід роботи в цих галузях – створення відповідного контенту. Зрозуміло, що демонстрація створених продуктів здійснюється саме у межах цих відомств. Іноді дані відомства замовляють контент тих чи інших груп населення. Сюди відносяться ролики з медичної тематики, тематики життєзабезпечення населення, роботи служб забезпечення внутрішнього порядку в державі і т.п.

Розглянемо більш детально перелік мультимедійних продуктів, найбільш характерний для, так званих, аматорських продуктів, які на цей час набувають все більшого визнання серед користувачів Інтернету [3].

Автором цього виду продуктів може бути практично будь-яка людина, яка має хоча б смартфон або інший пристрій, що дозволяє робити аудіо-відео записи, і домашній комп'ютер, що дозволяє обробляти отримані матеріали, тобто готувати їх для розміщення в Інтернеті та саме підключення до Інтернету.

Зрозуміло кожен з тих, хто хоче зняти якусь подію на телефон або будь-який інший аудіо-відео пристрій, повинен чітко розуміти, що потім зі знятим

матеріалом можна робити, щоб і самому не вийти за рамки загальноприйнятих норм моралі, а, тим більше, за рамки законодавства, а головне, не нашкодити суспільству. З першими вимогами-обмеженнями такий автор стикається при спробі розмістити відзнятий матеріал в Інтернеті, які стосуються не лише кількісних характеристик матеріалу – його розміру, а й обмежень щодо матеріалів, що містять сцени насильства, пропаганди міжнаціональної ворожнечі тощо.

Соціальні мережі пред'являють до матеріалів, які створюють любителі, менш жорсткі вимоги, що пояснює їх широке використання. Однак мінус у тому, що мережі охоплюють меншу кількість користувачів, ніж Інтернет.

Складемо перелік аматорських мультимедійних продуктів, найбільш поширених на сьогоднішній день сфери їх створення та використання. Для складання переліку було проаналізовано: ролики аматорів та блогерів, які розміщені в Інтернеті, дані про апаратні засоби, що найчастіше використовуються для створення мультимедійних продуктів, а також дані про рейтинги серед них.

Результати можна представити у такому вигляді [2, 3]:

- а) відеоролики різної тематики;
- б) блоги.

Відразу необхідно з'ясувати в чому їхня спільність і в чому відмінність:

- відеоролик є одиницю контенту;
- блог є серією публікацій. Часто його називають майданчиком;
- відеоролик як одиниця контенту характеризується візуальним і звуковим форматом;
- компонентами блогу виступають текст та зображення;
- відеоблог (влог), на відміну блогу, включає виключно відео;
- інформація блогу має регулярно оновлюватися;
- на відміну від цього, відеоролик – це разовий продукт;
- відеоролик має початок та кінець;
- блог, на відміну від відеоролика, є впорядкованою структурою з різних матеріалів, яка часто супроводжується коментарями.

Далі проаналізуємо склад апаратних засобів, якими можуть скористатися і любителі, і блогери створюючи свої мультимедійні продукти.

Умовно всі апаратні засоби для створення різних мультимедійних продуктів можна об'єднати у такі групи:

а) загальнодоступні апаратні засоби для отримання первинної аудіо-відео інформації, що знаходяться у вільному продажу, та не потребують спеціальних навичок та фізичної підготовки: мікрофони, диктофони, навушники, фотокамери, телефони, цифрові відеокамери;

б) загальнодоступні апаратні засоби для отримання первинної аудіо-відео інформації, що знаходяться у вільному продажу, та потребують спеціальних знань та навичок для роботи з ними:

1) засоби, що не потребують спеціальної фізичної підготовки: фотопастки, підводні камери для риболовлі у звичайний та зимовий час, біноклі, підзорні труби, прилади нічного бачення з можливістю фото- та відеозйомки, оптичні приціли «день-ніч»;

2) засоби, що вимагають спеціальної фізичної підготовки для спортсменів різних видів спорту та екстремальних особливо: екшн-камери, що мають вбудовану цифрову стабілізацію та вологозахист без боксу або екшн-камери з водонепроникним боксом.

в) допоміжні пристрої для забезпечення якісної аудіо-відео зйомки: штативи (моно-поди, три-поди) для фіксованої, нерухомої зйомки, Стедіки / Гімбали – електронні стабілізатори для смартфонів або камер, що усувають тремтіння при зйомці в русі, вітрозахист (поролонові або хутряні насадки), які захищають звук від шумів вітру, об'єктиви: для смартфонів або камер (ширококутні, макро), селфі палиці штативи, кріплення-перехідники (телефон до бінокля або підзорної труби).

Розглянемо детально вказані вище апаратні засоби.

Пристрої для запису звуку

Перші з пристроїв, які необхідні для створення мультимедійних продуктів є пристрої, які дозволяють записувати звук. До них відносяться мікрофони та диктофони, які використовуються або окремо, або сумісно. Спільне використання потрібно в тих випадках, коли потрібно записати, наприклад, сигнали навколо місця, де знаходиться особа. У цьому випадку краще використовувати мікрофон із круговою діаграмою спрямованості. Якщо необхідно записати сигнал від точкового джерела в приміщенні, наприклад, спів птиці, або звуки якоїсь тварини, то краще використовувати мікрофон з вузьконаправленою діаграмою.

Такі рекомендації стосуються отримання аудіо інформації, як у закритих приміщеннях, так і на відкритих майданчиках. Відмінність у тому, які типи мікрофонів та диктофонів використовувати, а також у необхідності використовувати захисні засоби для мікрофонів, диктофон може бути захищений у кишеню, сумку або рюкзак.

Для захисту мікрофонів виробниками аудіо-відео техніки випускаються такі захисні засоби:

– вітрозахист – це пористий ковпачок з поролону, який одягається прямо на мікрофон та захищає сигнал від вітру, а мікрофон – від вологи (рис. 1) [7];

– вітрозахист «дохла кішка» – ефективний захист із хутра, який використовується при записі на вулиці, якщо там є сильний поривчастий вітер (рис. 2-3) [8, 9].

Для якісного запису на вулиці, на природі найбільше підходять бездротові петличні системи та накамерні «гармати», які забезпечують мобільність та придушення шуму.



Рисунок 1 – Вітрозахист для мікрофону Shure MV7 / MV7X поролоновий поп-фільтр



Рисунок 2 – Вітрозахист BOYA BY-B05 для петличних мікрофонів, хутряний вітрозахисний чохол



Рисунок 3 – Вітрозахист RYCOTE Windjammer SGM Mini

Рейтинг найкращих мікрофонів для запису інформації на вулиці представлений таким чином [10, 11].

1. DJI Mic 2 – на сьогоднішній день лідер за зручністю та якістю звуку (рис. 4) [12].



Рисунок 4 – Радіомікрофонна система DJI Міс (комплект у футлярі)
Технічні характеристики системи DJI Міс наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики радіомікрофонної системи DJI Mic

Характеристика	Показник
Тип	Радіосистема
Тип перетворювача	Динамічний
Кількість каналів запису	Стерео
Призначення	Для репортажів
Тип бездротового зв'язку	Радіозв'язок
Інтерфейс підключення	3,5 мм, Lightning, USB Type C
Чутливість	– 17 дБ
Частотний діапазон	50-20000 Гц
Опір	32 Ом
Діаграма спрямованості мікрофона	Двоспрямована
Час роботи	5 год. 30 хв.
Комплектація	Мікрофонний приймач+ передавач – 2 шт., зарядний кейс, кабель 3,5 мм, адаптер USB-C, адаптер Lightning, вітрозахист – 2 шт., магніт для затискування мікрофона – 2 шт., сумка для перенесення, адаптер «гарячий черевик», кабель для заряджання
Радіус дії	До 250 м
Колір	Чорний
Розміри	47,32×30,43×20,01 (передавач), 47,44×32,21×17,35 мм (приймач)
Вага	24,9 г (приймач), 50 г (передавач)

До наведених вище характеристик можна додати наступне:

– DJI Mic комплектується двома передавачами, кожен з яких оснащений вбудованим мікрофоном та підтримує всеспрямований запис звуку. Це робить його ідеальним вибором для інтерв'ю з кількома учасниками або для невеликих студій. Мікрофон дозволяє записувати професійне аудіо з високою точністю забезпечуючи відтворення звуку в широкому діапазоні частот. Кожен канал може бути записаний окремо, а також можливий запис обох каналів одночасно для більшої гнучкості при подальшій обробці звуку;

– DJI Mic формує кристалево чистий та надійний звуко навіть у найскладніших ситуаціях. Передача даних між передавачем та приймачем здійснюється через потужний бездротовий зв'язок, який забезпечує стабільність звуку та мінімальну затримку навіть на великих відстанях. Оптимізована бездротова система забезпечує стабільний потік аудіо навіть у галасливих місцях, таких як вокзали, торгові центри та офіси. Якісний чіткий звук може записуватися на відстані 250 метрів;

2. RODE Wireless GO II/III – загальновизнаний стандарт індустрії для блогерів (рис. 5-6) [13].

Технічні характеристики мікрофона Rode Wireless GO Gen 3 наведено у таблиці 2.



Рисунок 5 – Мікрофон Rode Wireless GO Gen 3 (вигляд 1)



Рисунок 6 – Мікрофон Rode Wireless GO Gen 3 (вигляд 1)

Таблиця 2 – Технічні характеристики мікрофона Rode Wireless GO Gen 3

Характеристика	Показник
Тип	Мікрофон
Тип перетворювача	Конденсаторний
Кількість каналів запису	Моно
Призначення	Для відеокамер, для репортажів, для смартфона
Для трансляції	Є
Петлічка	Є
Кріплення	Кліпса
Тип бездротового зв'язку	Радіозв'язок
Інтерфейс підключення	3,5 мм, USB Type C
Співвідношення сигнал/шум	72 дБ
Частотний діапазон	20-20000 Гц
Опір	32 Ом
Діаграма спрямованості мікрофона	Неспрямована
Час роботи	До 7 год.
Комплектація	Приймач, передавач – 2 шт., кабель SC22 (USB-C), кабель SC21 (USB-C ->Lightning), кабель SC2 (TRS), зарядний пристрій SC33, хутряний вітрозахист (3 шт.), чохол
Радіус дії	260 м
Колір	Чорний
Розміри	46,5×44×20 мм
Вага	36 г (приймач), 35 г (передавач)

До наведених вище характеристик можна додати наступне:

– RODE Wireless GO (Gen 3): універсальний бездротовий мікрофон. Це третє покоління найпопулярнішого у світі бездротового мікрофону RODE Wireless GO пропонує професійний звук, простоту використання та безліч нових

можливостей. Система оснащена 32-бітним плаваючим записом, інтелектуальною технологією GainAssist, покращеними вбудованими мікрофонами та рядом функцій, які роблять її ідеальним вибором;

- сучасне бездротове аудіо. Wireless GO Gen 3 використовує цифрову передачу Series IV на частоті 2.4 ГГц із 128-бітним шифруванням, що забезпечує кристально чистий та стабільний сигнал на відстані до 260 метрів. Має вбудовану функцію 32-бітного плаваючого запису, яка гарантує збереження звуку;

- інтелектуальне налаштування та керування звуком. Технологія GainAssist автоматично балансує рівні запису, а гнучкі налаштування посилення та канал безпеки гарантують чистий та розбірливий звук. Система також оснащена вбудованими мікрофонами з покращеними капсулями та підсилювачами, що дозволяє записувати професійний звук без додаткових аксесуарів;

- універсальна сумісність. Wireless GO легко підключається як до дзеркальних та бездзеркальних камер, так і до смартфонів (iPhone та Android) або комп'ютерів. Система також може використовуватися як USB-мікрофон, що робить її універсальним інструментом для запису аудіо;

- професійні функції для творців контенту. Wireless GO оснащений виходом для навушників для моніторингу звуку в реальному часі, а роз'єми для мікрофонів мають підключення, що фіксуються, для більшої безпеки. Функція автоматичного визначення живлення продовжує термін служби батареї, що особливо корисно в польових умовах;

- просте налаштування та зручність використання. Система оснащена яскравим дисплеєм LCD, на якому відображаються рівні звуку і основні параметри. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та кнопки швидкого доступу роблять налаштування системи легким та швидким. Налаштувати Wireless GO можна через програму RØDE Central на комп'ютері або смартфоні;

- ідеальний вибір для професіоналів та любителів. Незалежно від того, чи записується інтерв'ю, чи створюється відеоблог, знімається документальні фільми або працюють над подкастами, Wireless GO (Gen 3) є надійним та зручним рішенням для запису звуку в будь-яких умовах. Розроблена та виготовлена у Сіднеї (Австралія), ця система продовжує ставити стандарти у світі бездротового аудіо.

3. Rode VideoMic Pro+ / Go II [14] – на початок цього року – найкращі накамерні «гармати».

Слід одразу уточнити, що таке накамерні «гармати», а це – вузькоспрямовані мікрофони, які забезпечують мобільність оператора та придушення шуму, розроблені спеціально для встановлення на фото- та відеокамери та роботи в польових умовах.

Приклад одного з них наведений на рисунках 7-9 [14].

Технічні характеристики мікрофона Rode VideoMic Pro+ / Go II наведено у таблиці 3.



Рисунок 7 – Мікрофон Rode VideoMic Pro+ / Go II (вигляд 1)



Рисунок 8 – Мікрофон Rode VideoMic Pro+ / Go II (вигляд 2)



Рисунок 9 – Мікрофон Rode VideoMic Pro+ / Go II (вигляд 3)

Таблиця 3 – Технічні характеристики мікрофона Rode VideoMic Pro+ / Go II

Характеристика	Показник
Тип	Мікрофон
Тип перетворювача	Електретний конденсатор із градієнтом тиску
Кількість каналів запису	Моно
Призначення	Для: відеокамер; смартфонів; комп'ютерів; планшетів, диктофонів
Вітрозахист	Поролоновий ковпачок
Вимоги до живлення	Роз'єм живлення 3,5 мм 2-5 В, USB 5В
Кріплення	Вібропідвіс SM8-R
Тип зв'язку	Аудіо кабель SC14
Інтерфейс підключення	3,5 мм, TRS, USB Type C
Підключення до комп'ютера	USB- Type C (USB 2.0)
Співвідношення сигнал/шум	79 дБ
Частотний діапазон	20-20000 Гц
Опір	2 кОм
Діаграма спрямованості мікрофона	Суперкардіоїда

Продовження таблиці 3

Характеристика	Показник
Час роботи	Живлення від базового пристрою
Комплектація	Антивібраційний підвіс – утримувач SM8-R, перехідник SC14 3.5 мм TRS на TRS, вітрозахист
Радіус дії	260 м
Колір	Чорний
Розміри	120,5×21,6×20 мм
Розміри з аксесуарами	150,0×70,0×86,0
Вага	33 г, 96 г (з аксесуарами)

До наведених вище характеристик можна додати наступне:

– VideoMic GO II оснащений аудіовиходом USB-C, який дозволяє підключати його до комп'ютерів та мобільних пристроїв та використовувати як повнофункціональний USB-мікрофон. При використанні в режимі USB вихід TRS 3,5 мм можна використовувати для підключення навушників для моніторингу та відтворення звуку.

– для підключення VideoMic GO II до комп'ютерів і мобільних пристроїв через USB потрібні додаткові кабелі, такі як RØDE SC16, SC17 або SC18 для пристроїв з входом USB-C або RØDE SC15, SC19 для пристроїв iOS з портом Lightning;

– VideoMic GO II можна встановити на пантограф, штатив чи мікрофонну стійку. Для цього у нижній частині кріплення VideoMic GO II є різьблення 3/8 дюйма, що дозволяє встановлювати його на пантографи, такі як RØDE PSA1 та PSA1+, вудки, штативи, такі як Tripod 2, та мікрофонні стійки. Скоріш за все, може знадобитися різьбовий адаптер, щоб прикріпити мікрофон до цих аксесуарів. Краще для цього рекомендується використовувати комплект різьбових адаптерів RØDE Thread Adaptor Kit;

– VideoMic GO II можна підключити до смартфона або планшета з урахуванням наступних факторів: якщо мова йде про iPhone або iPad з входом Lightning, то знадобиться додатковий кабель Lightning (USB-C на Lightning), такий як RØDE SC15 або SC19 (примітка: стандартні кабелі USB-C на Lightning не працюватимуть, тому необхідно використовувати сертифікований Apple кабель Lightning Accessory Cable);

– якщо мова йде про пристрій із входом USB-C, наприклад смартфон Android або iPad Pro, то для підключення знадобиться USB-C кабель – USB-C, наприклад, RØDE SC16 або SC17;

– VideoMic GO II можна підключити до смартфона або планшета, використовуючи вихід 3,5 мм з кабелем RØDE SC7 (придбано окремо). Використання виходу USB-C дає доступ до безлічі функцій, включаючи моніторинг навушників і доступ до розширених функцій за допомогою RØDE Central, тому й рекомендується цей варіант.

Враховуючи дані, наведені вище, можна рекомендувати бажаним створити мультимедіа продукт, наприклад, відправляючись на природу, який буде включати тільки аудіо – мікрофон VideoMic GO II, який буде підключений

до диктофону з відповідними функціональними та технічними можливостями, продукт, який буде включати відео з супроводженням аудіо – будь який відео пристрій (фото або відеокамера) сумісно з мікрофоном VideoMic GO II.

Такі комбінації дадуть можливість отримати найбільш якісний результат.

Далі розглянемо з аналогічних позицій диктофони, які можуть сумісно з даним мікрофоном забезпечити отримання найбільш якісного підсумкового мультимедійного продукту.

Як й у випадку з мікрофонами, розглянемо один з останніх рейтингів серед диктофонів [15, 16].

Результати рейтингу серед диктофонів, які можна успішно використовувати для отримання аудіо на відкритому просторі (вулиця, поле, ліс та ін.) наступні: Zoom H1n, Zoom H4n Pro, Tascam DR 05X, Tascam DR 07X, Sony PCM-A10.

У загальних рисах зазначені моделі характеризуються наступним чином.

1. Мікрофон-рекордер Zoom H1n [17] – призначений для музикантів, журналістів, відео блогерів і здійснює запис файлів WAV і MP3 через вбудовані стереомікрофони X/Y, забезпечує підключення зовнішніх мікрофонів через 3.5 мм/лінійний вхід, може робити аудіозапис безпосередньо з аудіо програвачів. Забезпечує прослуховування попередньо зробленого запису, що вкрай важливо для з'ясування якості запису звуку, оснащений 3.5 мм /лінійним виходом для навушників (рис. 10).



Рисунок 10 – Мікрофон-рекордер Zoom H1n, зовнішній вигляд

Технічні характеристики мікрофону-рекордеру Zoom H1n наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Технічні характеристики мікрофона-рекордеру Zoom H1n

Характеристика	Показник
Одночасний запис треків	2
Одночасне відтворення треків	2
Функції	Lo-фільтр, автоматичний REC LEVEL, маркер записів
Формат запису	WAV (дискретизація: 16/24bit, частота дискретизації: 44.1/48/96kHz). MP3)
Формат відтворення	WAV (дискретизація: 16/24bit, частота дискретизації: 44.1/48/96 кГц) MP3)
Обробка сигналу	32 біта

Продовження таблиці 4

Носій	microSD / microSDHC до 32 Гб.
Дисплей	1,25-дюймовий РК-дисплей (з підсвічуванням) (96×64).
Вбудований стерео мікрофон	Односпрямований конденсаторний мікрофон.
Максимальний рівень звукового тиску	120 дБ
Мікрофонний/лінійний вхід	1/8" стерео джек.
Вхідний опір	2 кОм (рівень вхідного сигналу: від 0 до-39dBm)
Навушники/Лінійний вихід	1/8" стерео джек.
Вихід опір навантаження	10 кОм або більше.
Навушники/Вихідний рівень	20 мВт+20 мВт в 32 Ом навантаження.
Вбудований динамік	500mW 8 Ом.
Інтерфейс USB	Micro-USB (USB2.0 високошвидкісний сумісний), Mass Storage Class операції.
Вимоги до живлення:	LR3 або Ni-MH акумуляторів AAAx2, або адаптер змінного струму (AD-17, USB)
Батареї (LR3 батарей × 2)	10 год. (MP3).
Розміри (Ш),(Д),(Т)	50 × 138 × 32 мм.
Вага	60 г (без батарей).

2. Мікрофон Zoom H4n Pro [18] – це портативна цифрова студія звукозапису. Прогумований, ергономічний корпус ідеальний для використання в полях або разом із камерою. Покращений 1,9-дюймовий РК-дисплей із підсвічуванням. Вбудовані мікрофони X/Y забезпечують високоякісне стерео. Кут спрямованості мікрофонів можна міняти (від 90 до 120 градусів). Вбудоване Mid-Side декодування. Запис до 140 дБ SPL. Три способи запису: стерео, 4CH, MTR (мультитрековий). Функції: попередній запис (до 2с до натискання гес), автоматичний запис. Ефекти: компресія, лімітування, реверберація, дилей, луна, фільтр низьких частот та ін. Вбудований метроном та тюнер. Запис у форматі PCM WAV 24-bit/96-kHz або mp3. Підтримка SD та high-capacity SDHC до 32 Гб (рис. 11).



Рисунок 11 – Рекордер Zoom H4n Pro, зовнішній вигляд

Технічні характеристики мікрофону Zoom H4n Pro – портативної цифрової студії звукозапису наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні характеристики мікрофону Zoom H4n Pro

Характеристика	Показник
Кількість доріжок	4
Максимальна частота дискретизації/роздільна здатність:	96 кГц/24 біт
Мікрофон:	Вбудований кардіоїдний конденсаторний стереопара, конфігурація X/Y
Вбудований динамік:	400 мВт, моно
Дисплей:	Монохромний ЖК-дисплей (з підсвічуванням)
Підтримка карт пам'яті:	SD (від 16 МБ до 2 ГБ), SD, SDHC (від 4 ГБ до 32 ГБ)
Формати аудіофайлів для запису:	MP3, WAV
Формати аудіофайлів для відтворення:	MP3, WAV
Приблизні частоти WAV:	44,1/48/96 кГц (запис/відтворення)
Бітова глибина:	16/24 біт (аналого-цифрове перетворення)
Бітрейт:	від 48 до 320 кбіт/с + VBR (запис), від 32 до 320 кбіт/с + VBR (відтворення)
Час запису WAV 41,1 кГц/16 біт:	1 година 34 хвилини на ГБ (стерео)
Час запису WAV 48 кГц/16 біт:	1 година 26 хвилин на ГБ (стерео)
Час запису MP3 128 кбіт/с:	17 годин 21 хвилина на ГБ (стерео)
Час запису MP3 320 кбіт/с:	6 годин 56 хвилин на ГБ (стерео)
Аналогові входи/виходи:	2 комбінованих XLR-1/4" 3-контактних гнізда, балансований/небалансований лінійний/мікрофонний вхід, 1 x 1/8"/3,5 мм TRS female несиметричний мікрофонний вхід, 1 x 1/8"/3,5 мм TRS, гніздовий небалансований вихід для навушників/лінійний вихід
Підключення до хоста:	1×Mini-USB (USB 2.0)
Максимальний вихідний рівень виходів на навушники, лінійні виходи:	-10 дБ
Вихідна потужність навушників:	20 мВт на канал на 32
Опір мікрофонних входів:	3 кОм (балансований)
Опір лінійних входів:	470 Ом (небалансований)
Опір входів 1/8"/3,5 мм:	2 кОм (небалансований)
Максимальний рівень звукового тиску мікрофона:	140 дБ
Варіанти живлення:	Батареї, адаптер змінного/постійного струму
Тип батареї:	2×AA (у комплекті)
Приблизний термін служби батареї:	2 години (лужна), 10 годин (лужний режим, режим витривалості)
Адаптер живлення змінного/постійного струму:	5 В постійного струму при 1 А (не входить у комплект)
Розміри (Ш), (Д), (Т)	71,1 x 157,5 x 35,6 мм
Вага:	294 г

3. Tascam DR 05X [19] – надійний та компактний прилад, який формує чистий звук. Має два чутливі конденсаторні мікрофони, здатні обробляти звук з

рівнем тиску до 125 дБ, що дозволяє однаково добре записувати як тихі розмови, так і гучні виступи. Простий інтерфейс та 2-канальний стереозапис у форматі WAV гарантують високу якість без зайвих налаштувань (рис. 12).



Рисунок 12 – Рекордер Tascam DR 05X, зовнішній вигляд

Це універсальний прилад для музикантів, журналістів, блогерів та всіх, хто цінує чіткість та деталізацію звуку в кожному дублі, чи це зустріч, інтерв'ю чи живий концерт.

Інтуїтивне керування однією рукою Tascam DR-05X має продумане компонування, що дозволяє швидко керувати всіма функціями одним великим пальцем. Меню доступно десятима мовами, серед яких англійська, французька, італійська та інші.

Технічні характеристики мікрофону-рекордеру Tascam DR 05X – портативної цифрової студії звукозапису наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 – Технічні характеристики рекордер Tascam DR 05X

Характеристика	Показник
Тип мікрофона	Сtereo
Кількість каналів	1-моно, 2-стерео
Матеріал корпусу	Пластик
Дисплей	Так
Звуковий тиск	125 дБ
Співвідношення сигнал/шум	94 дБ
Частота дискретизації	44,1 кГц , 48 кГц , 96 кГц
Інтерфейси	3,5 мм mini-jack line-in, 3.5 мм mini-jack line-out, microUSB, microSD
Слот для карти пам'яті	Так
Максимальний об'єм карти пам'яті	До 128 Гб
Сумісні картки пам'яті	microSD, microSDHC, microSDXC
Роз'єми, порти	2 × 3,5 mm (miniJack), 1 × microSD, 1 × microUSB
Розміри (Д×Ш×Т)	150×61×27
Колір	Чорний

Продовження таблиці 6

Характеристика	Показник
Тип живлення	Акумулятори /Батарейки / Мережа / USB
Кількість елементів живлення	2 × AA Li-Ion или 2 × NiMH
Захист від вологи та пилу	Відсутня

4. Tascam DR 07X [20] – компактний портативний аудіорекордер з двома вбудованими кардіоїдними конденсаторними мікрофонами, які можна налаштувати в схеми X-Y або A-B для досягнення бажаного стерео звуку. Підтримує записи у форматах WAV до 24 біт/96 кГц та MP3, з можливістю використання карт пам'яті microSD/SDHC/SDXC до 128 ГБ (рис. 13).



Рисунок 13 – Рекордер Tascam DR 07X, зовнішній вигляд

Рекордер функціонує як USB аудіоінтерфейс 2×2, що дозволяє підключати його до комп'ютера або мобільного пристрою для запису або трансляції. Має вбудований динамік, 3,5 мм вихід для навушників/лінійного підключення. Вбудовані функції, такі як автоматичний запис, регулювання рівня, лімітер та реверберація, роблять його ідеальним вибором для музикантів та журналістів.

Технічні характеристики аудіо-рекордери Tascam DR 07X наведено у таблиці 7.

Таблиця 7 – Технічні характеристики аудіо-рекордери Tascam DR 07X

Характеристика	Показник
Тип	Рекордер
Категорія	Портативні
Кількість каналів	2
Тип капсуля	Електретний конденсаторний
Діаграма спрямованості	Кругова
Конфігурація мікрофонів	2 положення (A/B або X/Y)
Максимальний звуковий тиск	125 дБ

Продовження таблиці 7

Характеристика	Показник
Частотний діапазон	20 Гц - 40 кГц (+1/-3 дБ)
Співвідношення сигнал/шум	$\gg 92$ дБ
Коефіцієнт нелінійних спотворень	$\leq 0,05$
Типи ефектів	НЧ-фільтр (40/80/120 Гц), реверберація, лімітер, тюнер
Формат запису	WAV (до 24 біт/96 кГц), MP3 (30-300 кбіт/с, 44.1 або 48 кГц)
Карта пам'яті	microSD/SDHC/SDXC до 128 Гбайт
Входи	1 × 1/8" Jack TRS TRS mic/line in
Виходи	1 × 1/8" Jack TRS phones/line out
USB-інтерфейс	1 × mini USB-B
Динамік	0,3 Вт
Дисплей	РК
Живлення	2 батарейки типу AA, по USB або від адаптера живлення
Споживна потужність, макс.	1,7 Вт
Час роботи батарейок	17 год.
Габарити (Ш×Д×Т)	68×158×26
Вага	130 г

5. Sony PCM-A10 [21] – це компактний (рис. 14) лінійний РСМ-рекордер високого класу, призначений для якісного запису звуку: репетицій, концертів, інтерв'ю, інтерв'ю, подкастів та польового запису за допомогою регульованих мікрофонів (XY або широкий стерео). Пристрій поєднує функції професійного музичного рекордера та диктофона з можливістю бездротового керування та підтримки форматів LPCM 96 кГц/24. Забезпечує чіткий запис голосу та зниження шумів під час відтворення. За потреби дозволяє підключати зовнішні мікрофони. Може керуватися допомогою смартфона по Bluetooth. Працює від акумулятора, внутрішня пам'ять – 16 Гб може бути розширена за допомогою слота microSD.



Рисунок 14 – Рекордер Sony PCM-A10, зовнішній вигляд

Технічні характеристики аудіо-рекордери Sony PCM-A10 у таблиці 8.

Таблиця 8 – Технічні характеристики аудіо-рекордери Sony PCM-A10

Характеристика	Показник
Тип	Рекордер
Дисплей	РК з підсвічуванням
Вбудована пам'ять	16 ГБ
Слот для карт пам'яті	Да
Тип карт пам'яті	microSD
Тип мікрофона	Стерео (A/B)/стерео (XY)
Мікрофон	Вбудований/зовнішній
Роз'єм зовнішнього мікрофона	Mini-Jack 3,5 мм
Формат запису	MP3/WAV
Макс. якість запису (MP3)	320 кбіт
Макс. якість запису (WAV)	24 біт/96 кГц
Максимальний час запису	238 год./MP3, при 128 кбіт/с
Максимальна кількість папок	25 шт.
Частотний діапазон	40 – 20000 Гц
Функції та можливості	Зміна чутливості мікрофону, зміна якості запису, таймер запису
Додаткові можливості	Підключення до комп'ютера, керування зі смартфона, блокування кнопок, вихід на навушники
Джерело живлення	Акумулятор Li-Ion
Індикатор заряду батарей	Да
Габарити (Д×Ш×Т)	110×39×16
Вага	82 г

Враховуючи дані, наведені вище, можна рекомендувати бажаючим створити мультимедіа продукт, наприклад, відправляючись на природу, який буде включати тандем апаратних пристроїв: високоякісний мікрофон VideoMic GO II (суперкардіоїдна спрямованість), який буде підключатися до описаного вище мікрофону-рекордери Zoom H1n з відповідними функціональними та технічними можливостями, які забезпечать високоякісний запис.

Однак, для повноцінного мультимедійного продукту, йдеться про його загальноприйняте сприйняття, необхідне відео, яке супроводжується якісним аудіо. Окремо створений високоякісний аудіо продукт може викликати зацікавленість у частини споживачів контенту, для яких цей продукт є необхідним та достатнім, наприклад, звуки нічного лісу, моря тощо.

Засоби створення мультимедійних продуктів на основі відеозйомки

Розглянемо апаратні засоби, за допомогою яких можливо отримати відеоінформацію все на тому ж просторі – поза приміщень, студій звукозапису, концертних залів, кінотеатрів та ін.

З таких пристроїв можна виділити цифрові фото та відеокамери, а також основний на цей момент гаджет, який має практично всякий, хто відправляється на прогулянку або у похід – сучасний смартфон.

Одразу потрібно відмітити наступне – аналогові фотокамери розглядатися не будуть, що пов'язано з тим, що вони використовуються в системах відео спостереження, як в державних приміщеннях, так й в приватних будинках.

I. За результатами рейтингу 2025 року можна відмітити наступний розподіл місць найкращих відеокамер [22, 23].

1. Фотоапарат Canon EOS M200 + 15-45 IS STM Black. Зовнішній вигляд наведено на рисунку 15 [24].



Рисунок 15 – Фотоапарат Canon EOS M200 + 15-45 IS STM Black

Технічні характеристики фотоапарата Canon EOS M200 + 15-45 IS STM Black наведено у таблиці 9.

Таблиця 9 – Технічні характеристики фотоапарата Canon EOS M200 + 15-45 IS STM

Характеристика	Показник
Тип і розмір матриці	22,3×14,9 мм CMOS
Загальна кількість пікселів	25,8 Мпікселю
Кількість ефективних пікселів	24,1 Мпікселю
Процесор обробки зображення	DIGIC 8
Об'єктив	M15-45
Співвідношення сторін	3:2
Чутливість ISO	100-25 600 з кроком 1/3 ступеня. Максимальне значення в режимі Авто налаштовується від 400 до 25600 Відео 4K: 100–6400 з кроком 1/3 ступеня. Відео Full HD та HD: ISO 100–12 800 з кроком 1/3 ступеня. Доступно розширення ISO до 25600
Стабілізатор зображення	Оптичний стабілізатор зображення на сумісних об'єктивах Відео: доступна вбудована цифрова стабілізація зображення. Наступні покращення стабілізації об'єктивів, сумісних із режимом Dynamic IS
Тип фокусування	Система Dual Pixel CMOS AF. Пікселі визначення фаз, вбудовані в датчик зображення1 Метод визначення контрастності використовується під час відеозйомки 4K та інтервальної відеозйомки 4K
Система / точки автофокусування	Макимум 143 точки
Режими виміру експозиції	Вимірювання в режимі реального часу завдяки датчику зображення (1) Оціночний замір (384 зони) (2) Частковий замір по центру (приблизно 5,8% екрана Live View) (3) Центральньо-зважений усереднений вимір (4) Точковий вимір (прибл. 2,9% екрана Live View)

Продовження таблиці 9

Характеристика	Показник
Компенсація експозиції	+/- 2 EV з кроком 1/3 ступеня
Діапазон замірювання	Зображення: EV -1–20 (при 23 °C, ISO 100) Відео: EV 0–20 (при 23 °C, ISO 100)
Витримки	30–1/4000 с (з кроком 1/3 ступеня), ручна витримка (Повний діапазон витримок. Доступний діапазон залежить від режиму зйомки).
Тип затвора	Механічний фокальний затвор з вертикальним ходом та електронним керуванням на всіх швидкостях
Баланс білого	Автоматичний підбір балансу білого за допомогою матриці
РК дисплей	Сенсорний РК-екран (TFT) 7,5 см (3,0"). Співвідношення сторін 3:2. Прибл. 1 040 000 точок. Електростатичний емісійний тип. Нахил приблизно на 180°
Охоплення зображення на дисплеї	Біля 100%
Інтерфейс для підключення до комп'ютера	Hi-Speed USB (Micro USB)
Акумулятор	1 × літій-іонний акумулятор LP-E12
Карта пам'яті	SD, SDHC, SDXC (сумісність з UHS-I)
Операційне середовище	0-40 °C, при вологості 85% і менше
Матеріал корпусу	Полікарбонат
Габарити (Ш),(В),(Т)	108,2×67,1×35,1
Вага з об'єктивом	300-350 г

2. Фотоапарат FUJIFILM X-S20 + XC 15-45mm F3.5-5.6 Black. Зовнішній вигляд наведено на рисунку 16 [25].



Рисунок 16 – Фотоапарат FUJIFILM X-S20 + XC 15-45mm F3.5-5.6 Black

Технічні характеристики фотоапарата FUJIFILM X-S20 + XC 15-45mm F3.5-5.6 Black наведено у таблиці 10.

Таблиця 10 – Технічні характеристики фотоапарата FUJIFILM X-S20 + XC 15-45mm F3.5-5.6 Black

Характеристика	Показник
Тип фотоапарата	Зі змінним об'єктивом
Призначення	Напівпрофесійні
Тип кріплення об'єктива	FUJIFILM X

Продовження таблиці 10

Характеристика	Показник
Тип матриці	CMOS
Розмір матриці	23,5×15,6
Кількість мегапікселів	26,1
Тип процесора	X-Processor 5
Світлосила	f/3,5 – 5,6
Світлочутливість (ISO)	125 – 12800
Максимальний розмір знімка	6240×4160
Максимальна роздільна здатність відео	6,2K (6240×4160)
Частота кадрів відео кадр/с	29,97
Серійна зйомка, кадр/с	20
Оптичне збільшення	0,24X
Стабілізація зображення	Стабілізація за допомогою рухомої матриці
Витримка	30 – 1/4000
Діагональ екрана	3,0"
Роздільна здатність дисплея, тис. пікс	1840
Бездротові інтерфейси	Wi-Fi
Роз'єми і порти	Micro HDMI, USB Type-C, Вхід для мікрофона, Вихід на навушники
Типи карт пам'яті	SD, SDHC, SDXC, UHS-I
Комплект	3 об'єктивом (Kit)
Живлення	NP-W235
Тип фокусування	Авто, ручне
Кількість точок фокусування	117
Фокусування відстань, мм	15 – 45
Мінімальна дистанція фокусування, см	13
Видошукач	Електронний
Покриття кадру (видошукач), %	100
Збільшення видошукача	0,62 X
Особливості конструкції	Поворотний дисплей, сенсорний дисплей
Пило-, волого-, ударозахист	Да
Матеріал корпусу	Пластик
Основний колір	Чорний
Габарити (В),(Ш),(Т)	85,127,765,4
Формат відеофайлів	AVC, H.264, H.265, MPEG-4
Формат файлів	HEIF, JPEG, MOV, MP4, RAW, TIFF
Об'єктив у комплекті	XC 15-45mm F3.5-5.6 Kit
Вага в упаковці, кг	1,42

3. Фотоапарат SONY Alpha a7 III + FE 50 mm [26]. Зовнішній вигляд наведено на рисунку 17.

Технічні характеристики фотоапарата SONY Alpha a7 III + FE 50 mm наведено у таблиці 11.



Рисунок 17 – Фотоапарат SONY Alpha a7 III + FE 50 mm

Таблиця 11 – Технічні характеристики фотоапарата SONY Alpha a7 III + FE 50 mm

Характеристика	Показник
Тип фотоапарата	Компактна камера зі змінним об'єктивом
Призначення	Напівпрофесійні
Тип кріплення об'єктива	Sony E-mount
Тип матриці	CMOS Exmor R
Розмір матриці	35,6×x23,8
Кількість мегапікселів	24,2
Тип процесора	BIONZ X
Світлосила	f/1,8
Світлочутливість (ISO)	ISO 100-51200 (extra ISO 50-204800)
Максимальний розмір знімка	6000×4000
Максимальна роздільна здатність відео	4K (3840×2160)
Частота кадрів відео кадр/с	120, 24, 25, 30, 60
Оптичне збільшення	0,14x
Стабілізація зображення	Стабілізація за допомогою рухомої матриці
Витримка	30-1/8000
Відео HDR	3 підтримкою HDR
LOG	S-log 3
Діагональ екрана	3,0"
Роздільна здатність дисплея, тис. пікс	921,6
Бездротові інтерфейси	Bluetooth, NFC, Wi-Fi
Роз'єми і порти	Micro HDMI, micro USB, USB Type-C, роз'єм 3,5 для підключення зовнішнього мікрофона, роз'єм для навушників
Типи карт пам'яті	MicroSD, microSDHC, microSDXC, SD, SDHC, SDXC (UHS-I, UHS-II)
Комплект	3 об'єктивом (Kit)
Живлення	NP-FZ100
Тип фокусування	Гібридний автофокус
Кількість точок фокусування	693
Фокусування відстань, мм	50
Мінімальна дистанція фокусування, см	0,45
Видошукач	Електронний
Покриття кадру (видошукач), %	100

Продовження таблиці 11

Характеристика	Показник
Збільшення видошукача	0,78X
Особливості конструкції	Підключення зовнішнього спалаху, сенсорний дисплей
Пило-, волого-, ударозахист	Пилозахищеність
Основний колір	Чорний
Габарити (В×Ш×Т)	95,6×26,9×73,7
Формат відеофайлів	AVCHD, XAVC S
Формат файлів	JPEG (Exif v2.31), RAW
Фірмові технології	4D FOCUS
Об'єкти в комплекті	FE 50 mm F1.8
Комплектація	Адаптер змінного струму, акумуляторна батарея, бленда, задня кришка об'єктива, кабель microUSB, кришка видошукача, кришка корпусу, кришка об'єктива, об'єктив, фотоапарат, плечовий ремінь
Вага в упаковці, кг	0,65

Аналіз наведених вище даних дозволяє стверджувати, що кожен з фотоапаратів має приблизно однакові характеристики та може використовуватися з будь-яким зовнішнім мікрофоном у тому числі й з мікрофоном Rode VideoMic Pro+ / Go II, який має дуже вузьку (суперкардіоїда) спрямованість, що добавить до високоякісного відео високоякісне аудіо.

До цього можна додати наступне, кожен з цих апаратних засобів дуже зручний в експлуатації, забезпечує стабілізацію зображення при русі, може встановлюватися на штатив-трипод та керуватися через Wi-Fi-додатки.

II. Частина авторів мультимедіа віддають перевагу зйомки за допомогою звичайним смартфонам, обґрунтовуючи це меншими масо-габаритними показниками. В цьому випадку вибір кожен робить самостійно з урахуванням особистих вимог до продукту, який він отримує.

З огляду на таку ситуацію доцільно розглянути використання смартфонів для створення мультимедійних продуктів авторами в походах – на природі

Підхід до вибору той же – аналізуємо рейтинг смартфонів, які можна використовувати для зйомки в зазначених умовах[27, 28].

За результатами рейтингу 2025-2026 років маємо такий розподіл місць:

- Samsung Galaxy S25 Ultra / S24 Ultra;
- Google Pixel 9 Pro XL / 10 Pro;
- iPhone 16 Pro Max / 17 Pro Max.

Розглянемо кожен із смартфонів з позицій отримання якісної аудіо та відеоінформації, а також експлуатаційні характеристики, які забезпечують її під час зйомок на природі.

1. Samsung Galaxy S25 Ultra / S24 Ultra. Розглянемо з цієї серії універсальний мобільний телефон Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black, зовнішній вигляд якого представлений на рисунках 18-19 [29].

Технічні характеристики мобільного телефону Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black наведено у таблиці 12.



Рисунок 18 – Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black (вид 1)



Рисунок 19 – Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black (вид 2)

Таблиця 12 – Технічні характеристики Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black

Характеристика	Показник
Дисплей	
Діагональ екрану	6,9 "
Роздільна здатність екрану	1440×3120
Матриця	Dynamic LTPO AMOLED 2X
Безрамковий екран	є
Частота оновлення екрана	120 Гц
Інші характеристики екрану	щільність пікселів: 498 ppi; яскравість: 2600 нит (пікова); захисне скло Corning Gorilla Armor 2; Always-on display
Платформа	
Операційна	система Android 15, One UI 7
Виробник процесора	Qualcomm
Процесор	Snapdragon 8 Elite for Galaxy
Кількість ядер	8 (2+6)
Частота	4,47 ГГц
Графічний процесор Adreno 830	

Продовження таблиці 12

Характеристика	Показник
Пам'ять	
Оперативна пам'ять	12 ГБ
Внутрішня пам'ять	256 ГБ
Підтримка карток пам'яті	немає
Об'єм картки пам'яті	немає
Сумісний слот SIM-карти та картки пам'яті	немає
Основна камера	
Роздільна здатність камери	200+50+50+10 Мп
	Четверна камера:
	200 Мп, $f/1,7$, 24 мм (ширококутний), $1/1,3''$, $0,6 \mu\text{m}$, фазовий автофокус, оптична стабілізація.
	10 Мп $f/2,4$, 67 мм (телефото), $1/3,52''$, $1,12 \mu\text{m}$, фазовий автофокус, оптична стабілізація, 3х оптичний зум.
	50 Мп $f/3,4$, 111 мм (перископічний телефото), $1/2,52''$, $0,7 \mu\text{m}$, фазовий автофокус, оптична стабілізація, 5х оптичний зум.
	50 Мп, $f/1,9$, 120° (ультраширококутний), $0,7 \mu\text{m}$, фазовий автофокус, суперстійке відео.
Характеристики камери	Особливості:
	LED спалах, авто-HDR, панорама.
	Запис відео:
	7680×4320 (24/30 кадр./с), 3840×2160 (30/60/120 кадр./с),
	1920×1080 (30/60/240 кадр./с), 10-біт HDR, запис стереозвуку, гіро-електронна стабілізація.
Інтеграція AI	є
Селфі-камера	
Роздільна здатність фронтальної камери	12 Мп
Характеристики фронтальної камери	Одинарна:
	12 Мп, $f/2,2$, 26 мм (ширококутний), $1/3,2''$, $1,12 \mu\text{m}$, фазовий автофокус.
	Особливості:
	HDR, HDR10+
	Запис відео:
	3840×2160 (30/60 кадр./с), 1920×1080 (30 кадр./с).
Мережі	
Стандарт передачі даних	5G
Частоти зв'язку	– GSM: 850/900/1800/1900 МГц. – HSDPA: 850/900/1700(AWS)/1900/2100 МГц. – LTE bands: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 32, 38, 39, 40, 41, 66. – 5G bands: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 12, 20, 25, 26, 28, 38, 40, 41, 66, 75, 77, 78 SA/NSA/Sub6.

Продовження таблиці 12

Характеристика	Показник
Кількість SIM-карт	2 SIM
Тип SIM-карт	nano-SIM (12,3x8,8 мм), eSIM
Інтернет	2G, 3G, 4G, 5G
Інтерфейси	
Wi-Fi	є
Стандарт Wi-Fi 7	(802.11be)
Bluetooth	є
Стандарт Bluetooth Bluetooth	5.4
GPS	є
NFC	є
Mini-jack 3.5 мм	немає
Наявність FM	немає
Наявність USB	є
USB	USB Type C
Характеристики USB	USB Type-C 3.2, DisplayPort 1.2, OTG
Розташування сканера відбитка	під поверхнею екрана
Тип сканера відбитка	Ультразвуковий
Додаткові датчики:	геомагнітний датчик, датчик освітлення, сканер відбитків, розблокування по обличчю (Face unlock)
Батарея	
Місткість батареї	5000 мАг
Технології заряджання	Qi бездротова зарядка, USB Power Delivery Rev.3
Фізичні характеристики	
Матеріал задньої панелі	скло
Ступінь захисту корпусу	IP68
Кольор	Titanium Jet Black
Габарити (Ш×В×Т)	77,6×162,8×8,2 мм
Вага	218 г
Комплектація	смартфон, кабель USB, документація

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в телефоні такі унікальні властивості та функції:

- ультрасучасний дизайн;
- укріплений титановою рамкою, склом Corning Gorilla Armor 2 і має клас IP68 для захисту від щоденних подряпин, пилу та води;
- має показчик енергії та нагадування про важливі справи;
- функція керування звуком Audio Eraser дозволяє прибрати небажаний фоновий шум відзнятих відеороликів, а також коригувати деякі типи звуків: голоси, музику, вітер тощо;
- функція Personal Data Engine об'єднує та обробляє особисті дані, шифрує та зберігає їх на пристрої під захистом Knox Vault, що робить їх недоступними для інших;
- функція нічне відео Nightography забезпечує більш високу чіткість та зйомку в покращеному 10-бітному HDR форматі, а також ефективне видалення шуму та зернистості нічних кадрів;

– удосконалений штучним інтелектом процесор обробки зображень ProVisual покращує кольори та деталізацію для досягнення нового рівня чіткості та яскравості під будь-яким кутом;

– потужний унікальний процесор з удосконаленим трасуванням променів у реальному часі та оптимізацією Vulkan, який, створений та оптимізований для Galaxy;

– вбудований ProScaler підвищує дозвіл завдяки використанню інноваційних алгоритмів AI-обробки та забезпечує перегляд у високій роздільній здатності без необхідності змінювати налаштування екрану;

– використання технології mDNIe, яка вбудована в унікальний процесор для Galaxy, і завдяки оптимізації програмного забезпечення сприяє збільшенню час роботи акумуляторної батареї;

– доступ до нової оболонки One UI 7, яка створена для AI дає можливість керувати новим головним екраном за допомогою макетів, що легко налаштовуються, і оновлених віджетів.

2. Google Pixel 9 Pro XL / 10 Pro. Розглянемо характеристики одного із представників серії 10 Pro – мобільний телефон Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade.

Зовнішній вигляд Google Pixel 9 Pro XL / 10 Pro представлений на рисунках 20-21 [30].



Рисунок 20 – Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade (вид 1)



Рисунок 21 – Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade (вид 2)

Технічні характеристики мобільного телефону Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade наведено у таблиці 13.

Таблиця 13 – Технічні характеристики Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade

Характеристика	Показник
Дисплей	
Діагональ екрану	8 "
Роздільна здатність екрану	2076×2152
Матриця	OLED
Безрамковий екран	є
Частота оновлення екрана	120 Гц
Інші характеристики екрана	Основний екран: щільність пікселів: 373 ppi; яскравість: 3000 нит (пікова).
	Зовнішній екран: тип матриці: OLED, діагональ: 6,4", частота оновлення: 120 Гц; щільність пікселів: 408 ppi; роздільна здатність: 1080x2364, захисне скло: Corning Gorilla Glass 2.
Платформа	
Операційна система	Android 16
Виробник процесора	Google
Процесор	Tensor G5
Кількість ядер	8 (1+5+2)
Частота	3,78 ГГц
Графічний процесор	PowerVR DXT-48-1536
Пам'ять	
Оперативна пам'ять	16 ГБ
Внутрішня пам'ять	256 ГБ
Підтримка карток пам'яті	ні
Об'єм картки пам'яті	ні
Сумісний слот SIM-картки та картки пам'яті	ні
Основна камера	
Роздільна здатність камери	48+10,8+10,5 Мп
	Потрійна камера:
	48 Мп, $f/1,7$, 25 мм (ширококутний), 1/2", 0,8 μm , "dual pixel" фазовий автофокус, оптична стабілізація.
	10,8 Мп, $f/3,1$, 112 мм (теле-фото), 1/3,2", "dual pixel" фазовий автофокус, оптична стабілізація, 5× оптичний зум.
	10,5 Мп, $f/2,2$, 127° (ультраширококутний), 1/3.4", фазовий автофокус.
Характеристики камери	Особливості:
	мульти-зональний лазерний автофокус, LED спалах, Pixel Shift, Ultra-HDR, panorama, Best Take, Zoom Enhance.
	Запис відео:
	3840x2160 (24/30/60 кадр./с), 1920x1080 (24/30/60/120/240 кадр./с), 10-біт HDR, гіро-електронна стабілізація, оптична стабілізація.
Інтеграція AI	є

Продовження таблиці 13

Характеристика	Показник
Селфі-камера	
Роздільна здатність фронтальної камери	10+10 Мп
Характеристики фронтальної камери	Подвійна:
	10 Мп, $f/2,2$, 23 мм (ширококутний), $1/3,94''$, фазовий автофокус.
	10 Мп, $f/2,2$, 23 мм (ширококутний), $1/3,94''$, фазовий автофокус.
	Особливості:
	HDR, панорама
	Запис відео:
	3840x2160 (30 кадр./с), 1920x1080 (30/60 кадр./с).
Мережі	
Стандарт передачі даних	5G
Частоти зв'язку	- GSM: 850/900/1800/1900 МГц;
	- HSDPA: 800/850/900/1700(AWS)/1900/2100 МГц;
	- LTE bands: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21,
	25, 26, 29, 30, 32, 38, 39, 40, 42, 48, 66, 71, 75 - GU0NP
	International;
	- 5G bands: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 12, 14, 20, 25, 26, 28, 29, 30, 40,
	48, 66, 70, 71, 75, 77, 78, 79, 257, 258, 260, 261
	SA/NSA/Sub6 - GU0NP International.
Кількість SIM-карт	2 SIM
Тип SIM-карт	nano-SIM (12,3x8,8 мм), eSIM
Інтернет	2G, 3G, 4G, 5G
Інтерфейси	
Wi-Fi	є
Стандарт Wi-Fi	7 (802.11be)
Bluetooth	є
Стандарт Bluetooth	Bluetooth 6.0
GPS	є
NFC	Є
Mini-jack 3.5 мм	ні
Наявність FM	ні
Наявність USB	є
USB	USB Type C
Характеристики USB	USB Type-C 3.2
Розташування сканера відбитка	на торцевій кнопці
Тип сканера відбитка	ємнісний
Додаткові датчики	датчик освітлення, сканер відбитків, розблокування обличчя (Face unlock)
Батарея	
Місткість батареї	5015 мАг
Технології заряджання	Qi2 бездротова зарядка, USB PPS (PD 3.0/3.1)

Продовження таблиці 13

Характеристика	Показник
Фізичні характеристики	
Матеріал задньої панелі	скло
Ступінь захисту корпусу	IP68
Колір	Jade
Габарити (Ш×В×Т)	150,4×155,2×5,2 мм (у розкладеному стані), 76,3×155,2×10,8 мм (у закритому стані)
Вага	216 г
Комплектація	смартфон, кабель USB Type-C (1 м), скріпка для вилучення SIM-картки, документація

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в телефоні такі унікальні властивості та функції:

- телефон Google Pixel 10 Pro Fold має досить великий дисплей у робочому стані та компактний при носінні;

- у складеному стані смартфон оснащений 6,4-дюймовим OLED-дисплеєм Actua з піковою яскравістю 3000 ніт, що робить екран, що читається навіть під яскравим сонцем. Частота оновлення від 60 до 120 Гц, забезпечуючи плавність прокручування та анімацій. При розкритті виходить 8-дюймовий Super Actua Flex із такою ж піковою яскравістю та частотою оновлення 120 Гц. Вбудований сканер відбитка пальця інтегрований в кнопку живлення, а отвори для селфі камер передбачені на обох екранах, що підвищує зручність використання;

- телефон Pixel 10 Pro Fold оснащений новим високоміцним шарніром без редуктора, який забезпечує зручне складання та розкладання смартфона. Конструкція розрахована більш ніж на 10 років використання, що гарантує довговічність пристрою навіть при щоденному відкритті та закритті;

- ступінь захисту IP68, оснащений захисним склом Corning Gorilla Glass Victus 2, що дозволяє телефону витримувати падіння, ковзання та потрапляння рідин на його поверхні, а також захищає від пилу, зберігаючи екран та корпус в ідеальному стані;

- 8-дюймовий дисплей Super Actua Flex у розкритому стані, ідеально підходить для багатозадачності та розваг. Функція Split Screen дозволяє відкривати кілька вікон одночасно, швидко перемикає фокус і керувати електронними листами, календарем та іншими програмами, підвищуючи продуктивність без обмежень;

- настільний режим Pixel 10 Pro Fold дозволяє знімати контент без допомоги рук та зручно переглядати відео. Функція дозволяє робити покадрові фотографії, створювати групові знімки та знімати пейзажі, не вдаючись до штативу;

- телефон має потрійну основну камеру з роздільною здатністю 48+10,8+10,5 Мп та передовими AI-технологіями. Ширококутні, ультра-ширококутні об'єктиви, а також телефото з 5-кратним оптичним зумом забезпечують високу чіткість знімків, а також можливість 20-кратного цифрового збільшення, зйомку групових фотографій та деталізованих макро-сцен;

– вбудований AI Gemini допомагає створювати короткометражні відео та редагувати фотографії з природним звучанням;

– новий чіп Google Tensor G5 з 8 ядрами та графічним чіпом PowerVR DXT-48-1536 забезпечує до 60% потужніший TPU і до 25% швидший CPU, підтримує високу багатозадачність, плавний серфінг в інтернеті та роботу всіх функцій AI. Оперативна пам'ять дозволяє використовувати кілька програм одночасно, а вбудована графіка забезпечує якісне відтворення контенту;

– місткість акумулятора 5015 мАг, якої вистачає більш ніж на 24 години. Режим Extreme Battery Saver підвищує час роботи до 84 годин. Швидке заряджання потужністю 30 Вт дозволяє відновити половину заряду всього за 30 хв., а бездротове заряджання підтримує потужність до 15 Вт;

– технологія Pixelsnap дозволяє використовувати Qi2-сумісні магнітні зарядні пристрої, а також підключати безліч магнітних аксесуарів, таких як підставки, тримачі та гаманці;

– функція Circle to Search на базі штучного інтелекту реалізує інноваційний спосіб пошуку інформації. Достатньо обвести пальцем текст, зображення або відео – і смартфон миттєво надасть всю необхідну інформацію;

– функція Live Translate дозволяє перекладати мову того, хто телефонує, зберігаючи інтонацію і тембр його голосу, що робить розмови різними мовами максимально природними;

– функція Gemini Live дозволяє ефективно вирішувати кілька завдань одночасно у режимі реального часу.

3. iPhone 16 Pro Max / 17 Pro Max Розглянемо характеристики одного із представників серії 10 Pro – мобільний телефон Apple iPhone 17 Pro Max 256GB Silver, зовнішній вигляд якого представлений на рисунках 22-23 [30].

Технічні характеристики мобільного телефону Apple iPhone 17 Pro Max 256GB Silver наведено у таблиці 14.



Рисунок 22 – Apple iPhone 17 Pro Max 256GB Silver (вид 2)



Рисунок 23 – Apple iPhone 17 Pro Max 256GB Silver (вид 1)

Таблиця 14 – Технічні характеристики Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade

Характеристика	Показник
Дисплей	
Діагональ екрану	6,9 "
Роздільна здатність екрану	1320×2868
Матриця	LTPO Super Retina XDR OLED
Безрамковий екран	єсть
Частота оновлення екрана	120 Гц
Інші характеристики екрана	- Always-On дисплей; - Dynamic Island; - True Tone; - Dolby Vision; - щільність пікселів: 460 ppi; - підтримка HDR10; - захисне скло Ceramic Shield 2
Платформа	
Операційна система	iOS 26
Виробник процесора	Apple
Процесор	A19 Pro
Кількість ядер	6 (2+4)
Частота	4,26 ГГц
Графічний процесор	A19 Pro GPU (6 core)
Пам'ять	
Оперативна пам'ять	12 ГБ
Внутрішня пам'ять	256 ГБ
Підтримка карток пам'яті	ні
Об'єм картки пам'яті	ні
Сумісний слот SIM-картки та картки пам'яті	ні
Основна камера	
Роздільна здатність камери	48+48+48 Мп +ToF 3D Cam
Характеристики камери	Четверна камера:
	48 Мп, $f/1,6$, 24 мм (ширококутний), $1/1,28''$ 1,22 μm , "dual pixel" фазовий автофокус, оптична стабілізація.
	48 Мп, $f/2,2$, 13 мм, 120° (ультраширококутний), $1/2,55''$, 0,7 μm , фазовий автофокус.
	48 Мп, $f/2,8$, 100 мм, (перископ телефото), $1/2,55''$, 0,7 μm , "dual pixel" фазовий автофокус, 3D оптична стабілізація, 4x оптичний зум.

Продовження таблиці 14

Характеристика	Показник
Характеристики камери	TOF 3D LiDAR сканера глибини.
	Особливості:
	Подвійний "LED dual-tone" спалах, HDR (фото/панорама).
	Запис відео:
	3840x2160 (24/25/30/60/100/120 кадр./с), 1920×1080 (25/30/60/120/240 кадр./с), 10 біт HDR, HDR-відео в стандарті Dolby Vision з частотою до 6, відео/аудіо, стереозвук.
Інтеграція AI	є
Селфі-камера	
Роздільна здатність фронтальної камери	18 Мп +SL 3D
Характеристики фронтальної камери	Подвійна камера:
	18 Мп, $f/1,9$, 23 мм (ширококутний), фазовий автофокус, оптична стабілізація.
	SL 3D камера (сенсор глибини/біометричний сенсор).
	Особливості:
	HDR, Dolby Vision HDR, 3D аудіо, стереозвук, ProRes RAW, Apple Log 2.
	Запис відео:
	3840x2160 (24/25/30/60 кадр./с), 1920x1080 (25/30/60/120 кадр./с), гіро-електронна стабілізація.
Мережі	
Стандарт передачі даних	5G
Частоти зв'язку	GSM: 850/900/1800/1900 МГц
	HSDPA: 850/900/1700(AWS)/1900/2100 МГц
	4G bands: LTE
	5G bands: SA/NSA/Sub
Кількість SIM-карт	2 SIM
Тип SIM-карт	nano-SIM (12,3x8,8 мм), eSIM
Інтернет	GSM, HSDPA, HSPA, EVDO, LTE, 5G
Інтерфейси	
Wi-Fi	є
Стандарт Wi-Fi	7 (802.11be)
Bluetooth	є
Стандарт Bluetooth	Bluetooth 6.0
GPS	є
NFC	є
Mini-jack 3.5 мм	ні
Наличие FM	ні
Наличие USB	є
USB	USB Type C
Характеристики USB	USB Type-C 3.2 Gen 2, DisplayPort
Додаткові датчики	датчик освітлення, сканер обличчя (Face ID)
Батарея	
Місткість батареї	4832 мАг
Технології заряджання	Qi бездротова зарядка, Fast charge Apple, USB Power Delivery Rev.2

Продовження таблиці 14

Характеристика	Показник
Фізичні характеристики	
Матеріал задньої панелі	скло
Ступінь захисту корпусу	IP68
Колір	Silver
Габарити (ШхВхТ)	78х163,4х8,75 мм
Вага	233 г
Комплектація	смартфон, кабель USB Type-C (1 м), документація

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в телефоні такі унікальні властивості та функції:

– Apple iPhone 17 – це поєднання інженерних та дизайнерських напрацювань компанії за останні роки, які забезпечують сильні враження від усіх його експлуатаційних якостей;

– у телефоні використовується OLED-панель дисплея з новою технологією мікролінз. Мікролінзові матриці застосовуються для покращення яскравості та зниження енергоспоживання - шляхом відображення світла, що генерується пікселями, вони усувають його розсіювання, надаючи підвищену яскравість без змін у споживанні електроенергії. то дозволяє зберігати в сонячну погоду високий контраст і насиченість кольорів, забезпечуючи високу деталізацію зображення;

– основа телефону – процесор A19 Pro, який виготовляють з використанням 3-нанометрового техпроцесу. Ці чіпи Apple є комбінацією великої потужності та досконалих алгоритмів штучного інтелекту та забезпечують високу продуктивність. У смартфон інтегрований вдосконалений модем для швидкого 5G та підтримки Wi-Fi 7;

– операційна система iPhone 17 - це iOS 26, яка є глибоким оновленням графічного дизайну з моменту виходу iOS 7. Єдина мова дизайну, названа рідким склом, пов'язала всі операційні системи з представленої лінійки;

– система камер iPhone 17 включає ряд оновлень, які суттєво спрощують роботу фотографа або оператора: перископічний об'єктив забезпечує 10-кратне масштабування, дозволяючи Apple конкурувати з камерами смартфонів Samsung; основний модуль став ще більшим, що дозволяє отримувати кращу якість контенту при поганому освітленні;

– суттєвою особливістю iPhone 17 є його енергоефективність. Дисплей та процесор смартфона споживають мінімум заряду для виконання своїх завдань, а збільшення ємності акумулятора збільшує час автономної роботи до 30 років. До цього слід додати, що нова технологія багатопоточних батарей та удосконалення у відводі тепла підвищують витривалість та продовжують термін служби iPhone 17.

Детальний аналіз характеристик зазначених мобільних телефонів з позицій їх використання як джерел первинної аудіо та відео інформації в умовах відкритого простору: різноманітні тури, подорожі різною місцевістю тощо.

Це дозволяє відзначити:

- кожен із трьох пристроїв, за рахунок наявності функцій, що забезпечують різні режими зйомки, може використовуватися для отримання відеороликів усілякої тематики високої якості;

- пристрої для зйомки мають великі ресурси пам'яті та часу роботи без заряджання;

- пристрої дозволяють проводити фото та відео зйомку у темний час доби;

- для забезпечення високої якості зйомки у русі всі вони оснащені системами стабілізації зображення;

Всі три телефони оснащені селфі-камерами, що розширює можливості створення додаткових мультимедійних продуктів.

Наявність інтеграції з AI істотно полегшує роботу з пристроями за різними напрямками.

Однак пристрої мають і суттєві відмінності:

- мобільний телефон Google Pixel 10 Pro Fold 16/256GB Jade у складеному стані оснащений 6,4-дюймовим OLED-дисплеєм Actua з піковою яскравістю 3000 нт, що робить екран, що читається навіть під яскравим сонцем. Частота оновлення коливається від 60 до 120 Гц, забезпечуючи плавність прокручування та анімацій. При розкритті екран стає 8-дюймовим Super Actua Flex з такою ж піковою яскравістю та частотою оновлення 120 Гц, а отвори для селфі-камер передбачені на обох екранах, що підвищує зручність використання. Два інших мають розмір діагоналі екрана – 6,9”;

- роздільна здатність екрану – 2076×2152 у Google Pixel 10 Pro Fold, при цьому у Samsung Galaxy S25 Ultra – 1440×3120, а у Apple iPhone 17 Pro Max – 1320×2868;

- кількість ядер у телефоні Apple iPhone 17 Pro Max – 6, а решта двох – по 8, що у кожному разі характеризує розподіл обчислювальних можливостей залежно від режиму роботи пристрою з метою економії енергетичних ресурсів;

- роздільна здатність основної камери (четверна) у Samsung Galaxy S25 Ultra вище за решту двох – 200+50+50+10;

- з особливостей усіх трьох телефонів – усі мають LED-спалах, авто-HDR та режим панорамної зйомки, однак, лише Google Pixel 10 Pro Fold має мультizonальний лазерний автофокус, що є суттєвою перевагою;

- всі три телефони оснащені функцією 10-біт HDR, яка істотно покращує якість інформації, що записується;

- кожен із телефонів має функцію стабілізації: у Samsung Galaxy S25 Ultra та Google Pixel 10 Pro Fold – це оптична та гіро-електронна. На відміну від них Apple iPhone 17 Pro Max має тільки оптичну стабілізацію, що також суттєво впливає на якість зйомки, особливо в русі;

- у Samsung Galaxy S25 Ultra та Google Pixel 10 Pro Fold вбудовано функцію запису стереозвуку, у Apple iPhone 17 Pro Max вона не вказана;

- всі три телефони конструктивно захищені від зовнішніх впливів (подряпин, пилу та водяних бризок) на рівні IP68.

Таким чином, кожен із трьох телефонів може забезпечити високу якість відео та аудіозапису поза приміщеннями у походах, на вилазках тощо. Вибір того чи юного телефону користувач повинен здійснювати сам залежно від тих завдань, які він збирається вирішувати. Виходячи з тих же завдань, користувач може підключати зовнішні мікрофони для забезпечення аудіо, що супроводжує, до відео, записаного з телефоном.

III. Розглянемо наступний клас пристроїв отримання первинної інформації для створення мультимедійних продуктів, які знаходять все більше застосування серед користувачів.

Йдеться про екшн-камери. Вище вже згадувався контингент користувачів даних засобів отримання інформації. На додаток варто зазначити, що ці засоби умовно можна поділити на:

- камери для блогерів – блогерські екшн-камери;
- камери для туристів-мандрівників та спортсменів.

Вони суттєво відрізняються через розбіжності у завданнях, які вирішують блогери та звичайні користувачі. Слід також зазначити, що і набір додаткових пристроїв до камер цих двох категорій є досить різним.

Ознайомимось з основними моментами, на які необхідно звернути увагу під час вибору екшн-камери.

Оскільки якість зображення цих камер сьогодні не менше 4К, то один з основних показників, враховуючи той факт, що схемка, як правило, ведеться в русі, це: стабільність автофокусу, деталізація зображення і кольоропередача.

Сюди слід додати необхідність вибору пристрою з акумулятором, по можливості, з найбільшим зарядом, що забезпечить планований час схеми і перегляду результатів.

Оскільки йдеться про категорії «дуже рухливі» досить довгий час користувачів, то варто звернути увагу на масо-габаритні параметри та експлуатаційну зручність спорядження, що вибирається.

Ще одна сторона вибору – необхідність звукового супроводу: використання лише вбудованих мікрофонів або підключення зовнішніх.

І, останнє, одне з основних – ступінь захищеності від механічних та природних факторів (пил, пісок, водяні бризки).

Згідно з рейтингом 2026 року екшн-камери [31-33], розташовуються таким чином.

1. GoPro HERO13 Black;
- DJI Osmo Action 6 Standard Combo;
- Insta360 Ace Pro 2.

Розглянемо докладніше технічні параметри даних камер та його функціональні можливості.

Екшн-камера GoPro Hero 13 Black in Polar White [34]. Зовнішній вигляд камери наведено на рисунках 24-25.



Рисунок 24 – Екшн-камера GoPro Hero 13 Black in Polar White (вид 1)



Рисунок 25 – Екшн-камера GoPro Hero 13 Black in Polar White (вид 2)

Технічні характеристики Екшн-камера GoPro Hero 13 Black in Polar White наведено у таблиці 15.

Таблиця 15 – Технічні характеристики GoPro Hero 13 Black in Polar White

Характеристика	Показник
Тип камери	Екшн-камера
Матриця	
Тип матриці	CMOS
Розмір матриці	1/1,9"
Мультимедіа	
Стандарт роздільної здатності відео	5K
Відеозйомка	- 5,3K (8:7) 30/25/24 кадр./с
	- 5,3K (16:9) 60/50/30/25/24 кадр./с
	- 4K (8:7) 60/50/30/25 кадр./с
	- 4K (9:16) 60/50/30/25
	- 4K (16:9) 120/100/60/50/30/25/24 кадр./с
	- 2,7K (4:3) 120/100 кадр./с
	- 2,7K (16:9) 240/200 кадр./с
	- 1080 (9:16) 60/50/30/25
	- 1080p (16:9) 240/200/120/100/60/50/30/25/24 кадр./с
Формат запису	MP4, H.265 (HEVC)
Фотозйомка	27,13 Мп (5568×4872)
Звук	Вбудований мікрофон

Продовження таблиці 15

Характеристика	Показник
Параметри запису	
Характеристики екрану	2,27", сенсорний (основний), 1,4" (додатковий)
Тип стабілізатора	Електронний
Об'єктив	f/1,5
Фокусування	Автоматичне
Інтерфейси	
Підтримка карти пам'яті	Micro-SD
Бездротові інтерфейси	Wi-Fi, Bluetooth
Інші інтерфейси	USB Type-C
Живлення	
Тип живлення	Акумулятор
Ємність акумулятора	1900 мАг
Час роботи	1 год. 30 хв.
Фізичні характеристики	
Максимальна глибина занурення	До 10 м
Комплектація	Екшн-камера, акумулятор Enduro вигнуте клейке кріплення, пряжка кріплення + гвинт баранчик, кабель USB-C
Габарити (Ш×Д×Г)	50,8×56,6×33,6 мм
Вага	157 г

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в екшн-камері такі унікальні властивості та функції:

- камера має об'єктив HB-Series з автоматичним розпізнаванням. Різні об'єктиви, встановлені на камеру, дозволяють знімати великопланові сцени, а також ландшафти та динамічні кадри під час руху – об'єктив для ультраширокої зйомки. Камера автоматично налаштовує параметри і розпізнає об'єктив, що встановлюється, для досягнення видовищних результатів;

- GoPro Hero 13 Black in Polar White дозволяє знімати відео як 5.3 K та отримувати неймовірну деталізацію кожного кадру, а також отримувати фото з роздільною здатністю 27 Мп і робити скріншоти з відео 24.7 Мп;

- камера компактна і легка, сумісна з усіма кріпленнями GoPro, що забезпечує широкий спектр ракурсів і максимальний комфорт, за рахунок функції управління зйомкою за допомогою голосових команд;

- функція Hybrid Log Gamma (HLG, гібридна логарифмічна гама), вбудована в камеру, забезпечує професійну якість зображення за рахунок зйомки у форматі HDR з 10-бітною глибиною кольору, що гарантує неймовірну глибину зображення та точність відтінків;

- широкоекранна (кут огляду 156°) та вертикальна зйомка HERO13 Black із потужним датчиком зображення 1/1.9 дюйма підтримує зйомку у форматах 4:3, 8:7, 16:9 та 9:16, а отримані відео підходять для розміщення в соціальних мережах та для демонстрації на широкоформатних екранах;

- камера дозволяє за допомогою налаштувань використовувати навушники та бездротові мікрофони, підключаючи їх до HERO13 Black через Bluetooth, що

зручно під час зйомок у шумному середовищі або запису інтерв'ю, коли важливо, щоб камера чітко розпізнавала голос та коригувати параметри запису шляхом усунення навколишніх шумів;

– функціонал камери дозволяє переглядати відео в режимі уповільненої зйомки (до 13 разів), щоб побачити найдрібніші деталі динаміки і руху, при цьому зберігається висока чіткість зображення навіть при максимальному уповільненні з якістю 5.3K 120 кадрів в секунду;

– камера працює на глибині до 10 метрів, знімаючи у відмінній якості без відблисків та спотворень завдяки вологозахисній кришці об'єктива до 2,5 години з новим акумулятором Enduro, незалежно від температури на вулиці у 1080p та 1,5 години зйомки у 5.3K або 4K;

– GoPro Hero 13 Black in Polar White пропонує три основні варіанти кріплення: магнітне кріплення забезпечує виняткову стабільність в динаміці, дозволяючи швидко фіксувати пристрій на будь-якій поверхні, а також баранцевий гвинт, кріпильну пряжку і вигнуте кріплення, що клеїться, щоб зафіксувати камеру до автомобілів, велосипедів і записувати відео від першого.

Екшн-камера DJI Osmo Action 6 Standard Combo [35].

Зовнішній вигляд камери наведено на рисунках 26-27.



Рисунок 26 – Екшн-камера DJI Osmo Action 6 Standard Combo (вид 1)



Рисунок 27 – Екшн-камера DJI Osmo Action 6 Standard Combo (вид 2)

Технічні характеристики екшн-камери DJI Osmo Action 6 Standard Combo наведено у таблиці 16.

Таблиця 16 – Технічні характеристики Екшн-камери DJI Osmo Action 6 Standard Combo

Характеристика	Показник
Тип камери	Екшн-камера
Дисплей	
Фронтальний	1,46", 331 ppi, 342×342
Задній	2,5", 326 ppi, 400×712
Максимальна роздільна здатність зйомки	4680×4320
Частота кадрів в хвилину при максимальній роздільній здатності	30 fps
Бітрейт відео	120 Мбіт/с
Роздільна здатність матриці	38 Мп
Максимальний розмір зображення	7168×5376
Режими зйомки	Серійна зйомка, уповільнена зйомка, трансляція, автоспуск, таймлапс, інтервальна зйомка, циклічний запис
Матриця	1/1.1
Діафрагма (F)	4
Фокусна відстань (f)	15 мм (еквівалент 35 мм)
Мінімальна фокусна відстань	20 см
Кут огляду	155°
Діапазон витримок	
Фото	1/8000 – 30 с
Відео	1/8000 до межі кадрів за секунду
Формат запису відео	MP4; HEVC (H.265)
Формат фото	RAW; JPEG
Тип карток пам'яті	micro-SDHC; micro-SDXC; micro-SD;
Підтримка карток пам'яті обсягом	1Тб
Особливості	Динамік, шумозаглушення, цифрова стабілізація, HDR; акселерометр, швидка зарядка
Кількість мікрофонів	3
Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac/ax
Водонепроникність	До 20 м, до 60 м – в боксі
Версія Bluetooth	Bluetooth 5.1
Інтерфейси	USB Type-C
Ємність акумулятора	1950 мАг
Час роботи	4 год.
Габарити (Д×Ш×Г)	72,8×47,2×33,1 мм
Вага	149 г
Колір	Чорний
Комплектація	Батарея Osmo Action Extreme Battery Plus; двосторонній адаптер, запірний гвинт, вигнута клейка основа, кабель USB-C

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в екшн-камері такі унікальні властивості та функції:

- в камері вперше реалізовано поєднання інноваційної змінної діафрагми та сучасного квадратного сенсора 1/1,1";

- діафрагма f/2 камери покращує роботу в умовах слабкого освітлення та підвищує якість відео, а у поєднанні з макрооб'єктивом дозволяє створювати виразні великі плани з м'яким фоном та мінімальною глибиною різкості, що потрібно для предметної та художньої зйомки;

- в автоматичному режимі можна вибрати один із кількох діапазонів діафрагми, при цьому камера самостійно регулює значення в межах обраного діапазону, щоб забезпечити чіткі та збалансовані кадри – від нічної зйомки до контрастних краєвидів;

- в камері реалізовано режим: «Зоряне світло: магія нічії», котрий у нічних міських сценах додає виразні «зоряні» промені навколо джерел світла, надаючи нічним відео унікальну атмосферу;

- новий модернізований квадратний сенсор 1/1,1" камери дозволяє записувати 4K/120 кадр/с у співвідношенні сторін 4:3, зберігаючи деталізацію в сценах з високою контрастністю або низьким освітленням;

- чиста нічна картинка стала можливою завдяки більшому сенсору, світлосильній оптиці та покращеній системі шумоподавлення – режим SuperNight дозволяє отримувати чіткі та деталізовані нічні відео до 4K/60 кадр/с навіть у складних умовах освітлення;

- камера підтримує 10-бітні D-Log M забезпечуючи ширший динамічний діапазон, зберігаючи максимум деталей у світлих та темних областях;

- DJI Osmo Action 6 Standard Combo підтримує вбудоване уповільнення до 4K/120 кадр/с, а також може автоматично створювати надуповільнені ролики до 32×1080p – для максимально виразної та плавної передачі руху;

- камера водонепроникна до 20 м без використання додаткового боксу, а вбудовані датчики температури, кольору та тиску води забезпечують природну перенесення кольорів під водою і запис параметрів занурення;

- морозостійка конструкція камери (від -20°C до +45°C), до 4 годин роботи від батареї, керування жестами та функція трекінгу роблять зйомку під час зимових прогулянок, катання на лижах, санях або сноубордах максимально зручною;

- система стабілізації компенсує тремтіння зображення навіть на складних маршрутах – їзда на мотоциклі, катання на велосипеді, забезпечуючи плавні та чіткі кадри;

- вбудована в камеру екосистема DJI OsmoAudio підтримує пряме підключення двох передавачів DJI без додаткового приймача, дозволяючи записувати чистий та якісний звук, а також доступна функція резервного аудіозапису із вбудованого мікрофона для поєднання голосу та природних звуків оточення, що створює максимально живу атмосферу відео;

– камера оснащена переднім та заднім OLED-екранами з високою яскравістю, що гарантує насичені кольори та відмінну контрастність;

– налаштування камери дозволяють керувати нею – запускати або зупиняти запис одним рухом долоні – навіть у повноцінних зимових рукавичках або налаштувати реакцію тільки на початок запису, щоб уникнути випадкових зупинок.

Екшн-камера Insta360 Ace Pro 2 [36, 37]. Зовнішній вигляд камери наведено на рисунках 28-29.



Рисунок 28 – Екшн-камера Insta360 Ace Pro 2 (вид 2)



Рисунок 29 – Екшн-камера Insta360 Ace Pro 2 (вид 2)

Технічні характеристики Екшн-камери Insta360 Ace Pro 2 наведено у таблиці 17.

Таблиця 17 – Технічні характеристики Екшн-камери Insta360 Ace Pro 2

Характеристика	Показник
Тип камери	Екшн-камера
Матриця	
Тип матриці	CMOS
Розмір матриці	1/3"
Кут захоплення об'єктива	157°

Продовження таблиці 17

Характеристика	Показник
Мультимедіа	
Стандарт роздільної здатності відео	8K
Відеозйомка	8K (16:9): 7680x4320 30/25/24 кадр./с
	8K (2.35:1): 7680x3272 30/25/24 кадр./с
	4K (4:3): 3840x2880 60/50/48/30/25/24 кадр./с
Відеозйомка	4K (16:9): 3840x2160 120/100/60/50/48/30/25/24 кадр./с
	4K (2.35:1): 3840x1632 120/100/60/50/48/30/25/24 кадр./с
	2.7K (4:3): 2688x2016 60/50/48/30/25/24 кадр./с
	2.7K (16:9): 2688x1520 120/100/60/50/48/30/25/24 кадр./с
	1440p (4:3): 1920x1440 60/50/48/30/25/24 кадр./с
	1080p (16:9): 1920x1080 240/200/120/100/60/50/48/30/25/24 кадр./с
	FreeFrame 4K (4:3): 4096x3072 60/50/48/30/25/24 кадр./с
	FreeFrame 2.7K (4:3): 2688x2016 60/50/48/30/25/24 кадр./с
	FreeFrame 1440p (4:3): 1920x1440 60/50/48/30/25/24 кадр./с
Формат запису	H.264, H.265, MP4, JPEG, RAW
Фотозйомка	50 Мп (8192x6144, 4:3)
	37 Мп (8192x4608, 16:9)
	12,5 Мп (4096x3072, 4:3)
	9 Мп (4096x2304, 16:9)
Звук (формат кодування)	ААС, стерео, підвищення спрямованості, зменшення шуму вітру
Параметри запису	
Характеристики екрану	2,5 ", сенсорний
Тип стабілізатора	6-осьовий гіроскоп
Об'єктив	35 мм еквівалентний фокусний об'єктив: 13 мм
Фокусування	Автоматична
Витримка	
Фото	1/8000 – 120 с
Відео	1/8000 до межі кадрів за секунду
Інтерфейси	
Підтримка карти пам'яті	microSD exFAT (FAT64), обсягом до 1Тб, класом швидкості VHS-I V30 (рекомендується)
Бездротові інтерфейси	WiFi, Bluetooth
Інші інтерфейси	USB Type-C
Живлення	
Тип живлення	Акумулятор
Ємність акумулятора	1800 мАг
Інші характеристики живлення	Li-Ion
Час роботи	1 год. 40 хв.
Фізичні характеристики	
Ступінь захисту корпусу камери	IPX8

Продовження таблиці 17

Характеристика	Показник
Максимальна глибина занурення	До 12 м
Робоча температура	-20°C...+45°C
Комплектація	Екшн-камера, акумулятор – 2 шт., USB кабель
Габарити (Д×Ш×Г)	71,9×52,2×38 мм
Вага	177,2 г

Додатково можна зазначити, що вказані характеристики дозволяють реалізувати в екшн-камері такі унікальні властивості та функції:

– Insta360 Ace Pro 2 – це друге покоління класичної екшн-камери Insta360 Ace Pro, яке дає більше можливостей для створення якісного контенту: зйомка 8K-відео з частотою до 30 к/с навіть при слабкому освітленні, переваги штучного інтелекту та програмного забезпечення, чистий звук у різних режимах;

– камера створена спільно з компанією Leica, має сенсор 1/1.3 дюйма, а також спеціальні фільтри від виробника лінз та декілька різних комплектацій кріплень під той чи інший вид спорту або кількості акумуляторів;

– об'єктив Leica претендує на встановлення нового стандарту якості зображення для action-камер, з діафрагмою F2.6, яка захоплює більше світла та знижує шум;

– елітний 1/1,3" 8K-сенсор Insta360 Ace Pro 2 забезпечує неперевершену якість зображення з 13,5 ступенями динамічного діапазону та еквівалентним розміром пікселя 2,4 мкм з підтримкою 4K@60fps Active HDR та 8K@30fps відео;

– Insta360 Ace Pro 2 – перша екшн-камера зі спеціальним подвійним 5-нм AI-чіпом обробки зображень для шумозаглушення та редагування, а також для подальшого рендерингу та високої продуктивності, який забезпечує на 100% більшу обчислювальну потужність, ніж у попередньому поколінні;

– роздільна здатність 8K дозволяє відтворювати кожен деталь з приголомшливою чіткістю навіть у русі – це плавне кінематографічне відео зі швидкістю 30 кадрів в секунду, яке оживить ваші пригоди;

– удосконалена двочіпова система Insta360 у парі з датчиком забезпечують високу чіткість при слабкому освітленні, а PureVideo – режим зйомки при слабкому освітленні знижує шум, одночасно підвищуючи яскравість та деталізацію до рівня 4K@60fps;

– 50-мегапіксельні фото дозволяє робити ідеальні знімки, зняті з більшою кількістю пікселів, ніж будь-коли;

– чіткий зум забезпечує на сенсорному екрані збільшення масштабу у 2 рази без втрати якості зображення;

– функція: «Епічне уповільнення» в режимі 4K@120fps забезпечує дуже плавне та чітке уповільнення для будь-якої зйомки, включаючи зйомку ширококутним об'єктивом – 157°;

– Ace Pro 2 – перший пристрій у своєму класі із вбудованим захистом від вітру, має інноваційний дизайн та зберігає мінімальний рівень шуму в пікові моменти, вмикається та вимикається за необхідності.

– природний звук забезпечують оновлені аудіо-алгоритми, які надають контенту чіткості та занурюючи глядачів в атмосферу того, що відбувається;

– конструкція камери забезпечує захист від води на глибині до 12 м без захисного аквабоксу для дайвінгу, а при його наявності – до 60 м;

– камера оснащена міцним відкидним екраном та знімним захистом об'єктива, яка витримає будь-які навантаження;

– наявність функції стабілізація FlowState забезпечує неймовірно плавні відео, незважаючи ні на що, зі стабілізацією зображення від Insta360;

– Ace Pro 2 дозволяє за рахунок 360° фіксації горизонту отримувати ідеально рівні;

– камера має живлення від потужного акумулятора ємністю 1800 мАг та 180 хвилин автономної роботи (при 1080p@24fps, температурі 25°, без Active HDR), а також швидку зарядку, яка заряджає його до 80% за 47 хвилин;

– 2,5-дюймовий сенсорний екран забезпечує зручне керування та перегляд знімків навіть при яскравому сонячному світлі, а магнітне кріплення камери – дозволяє легко перемикатися між аксесуарами щоб ніколи не упустити кадр;

– сумісність з гарнітурою Bluetooth дозволяє підключити камеру до шолома мотоцикла, щоб отримати чистий дводорожній звук та керування зйомкою без допомоги рук;

– режим відео реєстратора легко перетворює камеру на відео реєстратор, що усуває проблеми зі зберіганням, автоматично зберігаючи відзнятий матеріал залежно від встановленого місця для зберігання, забезпечуючи впевнене та безпечне керування кожною поїздкою;

– режим: «попередній запис» підтримує 120 секунд у роздільній здатності 1440p або нижче в режимах стандартного відео, PureVideo та FreeFrame, ще до того, як натискається кнопка запис;

– Insta360 Ace Pro 2 розпізнає жести для простого керування захопленням, а новий алгоритм голосового керування спрощує керування камерою, коли вона знаходиться поза досяжністю;

– функція: «універсальне захоплення» дозволяє знімати зі свободою експорту у будь-якому співвідношенні сторін, як у горизонтальному, так і вертикальному форматі.

Таким чином, на основі проведеного аналізу характеристик та функціональних можливостей розглянутих екшн-камер можна сформулювати наступні висновки:

– кожна з камер має високі технічні характеристики та широке коло функціональних можливостей;

– за більшістю показників та функціональних можливостей камери приблизно однакові;

Як і у всіх попередніх випадках, кожному із творців мультимедійних продуктів необхідно уважно скласти програму-завдання на зйомку того чи іншого аудіо-відео із зазначенням особливостей навколишнього місця зйомок середовища, а вже потім вибрати з наведених екшн-камер найбільш підходящу для реалізації складеного завдання.

Результати досліджень

Результати проведеного аналізу виглядають наступним чином:

- а) визначено перелік мультимедійних продуктів, найбільш популярних на сьогоднішній день та сфери їх використання;
- б) встановлено перелік апаратних засобів, що найчастіше використовуються для створення даних мультимедійних продуктів;
- в) з вказаних вище груп мультимедійних продуктів та засобів, які необхідні для їх створення, детально проаналізовано основні технічні характеристики наступних засобів:
 - 1) загальнодоступні апаратні засоби для отримання первинної аудіо-відео інформації, що знаходяться у вільному продажу, та не потребують спеціальних навичок та фізичної підготовки: мікрофони, диктофони, навушники, фотокамери, телефони, цифрові відеокамери;
 - 2) засоби, що вимагають спеціальної фізичної підготовки для спортсменів різних видів спорту та екстремальних особливо: екшн-камери, що мають вбудовану цифрову стабілізацію та вологозахист без боксу або екшн-камери з водонепроникним боксом;
- г) для кращого сприйняття цих засобів наведено зовнішній вигляд кожного з них;
- д) на основі порівняльного аналізу технічних характеристик для кожної групи засобів, що розглядаються, розроблені рекомендації щодо найбільш доцільного застосування їх, як окремо кожного, так і в групах для створення тих чи інших мультимедійних продуктів.

Висновки

Мету дослідження досягнуто за рахунок вирішення всіх завдань.

Матеріали, отримані в результаті проведеного дослідження, мають практичну цінність для осіб, які передбачають займатися аудіо-відео зйомками під час вилазок на природу, здійснення туристичних походів у різні куточки як нашої країни, так і інших країн.

Особливо треба відзначити що результати, отримані при аналізі технічних і функціональних характеристик екшн-камер, які дозволяють успішно використовувати їх, як у звичайних, і в екстремальних видах спорту, так і при туристичних походах, завдяки, з одного боку їх компактності, а, з іншого, високим технічним і широким функціональним можливостями.

Матеріали будуть корисні студентам спеціальності G20 Видавництво та поліграфія для дисциплін «Технічні засоби мультимедіа», «Обробка аудіоінформації», та підготовки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти з даної та суміжних тематик.

Список літератури.

1. Басюк, Т.М., & Жежнич, П.І. (2015). Методи та засоби мультимедійних інформаційних систем. Львів: Видавництво львівської політехніки.
2. Гуржий, А.Н., Гуревич, Р.С., Коношевський, Л.Л., та ін. (2017). Мультимедійні технології та засоби навчання: навч. посіб. Вінниця: Нілан-ЛТД.
3. Сухорукова, Л.А. (2012). Види і класифікація технологічних засобів створення мультимедійного продукту. Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті, (3), 142-146.
4. Григор'єв, О.В., Вовк, О.В., & Виволокін, А.О. (2025). Засоби отримання інформації для мультимедійних продуктів. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 186-187).
5. Григор'єв, О.В., & Вовк, О.В. (2025). Засоби демонстрації мультимедійних продуктів. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 188-189).
6. Григор'єв, О.В., & Вовк, О.В. (2025). Засоби обробки інформації для мультимедійних продуктів. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 195-196).
7. Епіцентр. (б. д.). Вітрозахист для мікрофона Shure MV7 / MV7X поролоновий поп-фільтр. <https://epicentrk.ua/ua/shop/mpmc-vitrozahist-dla-mikrofonu-shure-mv7-mv7x-1f13e4b0-4f9b-bef8-a057-a9b7316d5812.html>.
8. в Точку. (б. д.). Вітрозахист Boya BY-B05. https://vtotchku.com.ua/ua/vitrozahyst-boya-by-b05.html?gclid=Cj0KCQjw8PDPBhCeARIsAOJwmWUID86foFZys5CEJl-LAN8LcfA_afF5B4xFqCR34e_uS8KL659TMwAaAqs-EALw_wcB.
9. Перший музичний гіпермаркет. (б. д.). Вітрозахист RYCOTE Windjammer SGM Mini 18cm. <https://1-m.com.ua/ua/vetrozasshita-rycote-windjammer-sgm-mini-18cm/>.
10. JCS. (б. д.). Як вибрати ідеальний мікрофон для запису подкастів на вулиці. <https://jcs.ua/ua/advice/kak-vybrat-idealnyy-mikrofon-dlya-zapisi-podkastov-na-ulitse/?srsltid=AfmBOop6FOpdDZ7VIu1xEsb6fuP-78T25xtobDiNnJfieU8fUqXO7EHc>.
11. Prom. (б. д.). Мікрофон для вулиці. <https://prom.ua/ua/Mikrofon-dlya-ulitsy.html>.
12. ELMIR. (б. д.). Радіомікрофонна система DJI Mic. https://elmir.ua/ua/microphones/radiomikrofonnaya_sistema_dji_mic_cp_rn_00000197_01.html?gad_campaignid=22548435102&gad_source=1&gbraid=0AAAAAD1pEu3D0jt1ThrOFainWxtC9Rzyx&gclid=Cj0KCQjw8PDPBhCeARIsAOJwmWWmHAYLLotVJzIvHs9IzLxhdntQHmnSPR0ybWnINMTEdRyjtqWXd0aAIVVEALw_wcB.
13. ELMIR. (б. д.). Мікрофон Rode Wireless GO Gen 3. https://elmir.ua/ua/microphones/microphone-ode-wireless-go-gen-3-240066.html?gad_campaignid=18251245608&gad_source=1&gbraid=0AAAAAD1pEu2wfoLnbsLyiucsRkLJAd-Hi&gclid=Cj0KCQjw8PDPBhCeARIsAOJwmWVTnZ8b732NTi4YSyPkcJHLaaqdns6a7vviIgK5xZzoaVgbIHsIUQaAvGcEALw_wcB.
14. LevelShop. (б. д.). Накамерний мікрофон Rode VideoMIC GO II. https://levelshop.in.ua/p1619849972-nakamernyj-mikrofon-ode.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=22497140805&gbraid=0AAAAAoJzXP72NohfcIMLE4BXasldFyJU8&gclid=CjwKCAjw14zPBhAuEiwAP3-EbyyMuYDEJmaVINdhvF6WMCdQ2wu59Tt7ludJR8PPUFRQ6dVm0qAmxoCrykQAvD_BwE.
15. E-Katalog. (2026). Рейтинг диктофонів. <https://ek.ua/ua/z26.htm>.
16. Hotline. (2026). Рейтинг диктофони. <https://hotline.ua/ua/av/diktofony/rating/>.
17. Chako. (б. д.). Мікрофон рекордер Zoom H1 n. https://chako.ua/catalog/mikrofony_dlya_videokamer/zoom-h1n-hand-recorder/?gad_source=1&gad_campaignid=19151653580&gbraid=0AAAAAD5OezmEO27AwW6iaQ7AfpafhQVS4&gclid=Cj0KCQjw-pHPBhCdARIsAHXYWP9Ngwx5FeA9Uxbmr4vsX-VtEB2gNRWSnKhZxkvxkpWVdIIM5sWY54IaArVEEALw_wcB.

18. Prodj. (б. д.). Рекордер, аудіоконвертор Zoom H4n PRO BLK. <https://prodj.ua/recorders-audio-converters/zoom-h4n-pro-blk>.
19. Prom. (б. д.). Tascam DR 05X. <https://prom.ua/ua/p2979975610-diktofon-tascam-05x.html>.
20. Prom. (б. д.). Рекордер Tascam DR-07X. <https://prom.ua/ua/p2680696822-rekorder-tascam-07x.html>.
21. E-Katalog. (б. д.). Диктофон Sony PCM-A10. <https://ek.ua/ua/SONY-PCM-A10.htm>.
22. ITC. (б. д.). ТОП 7 фотоапаратів: камери, які варті уваги у 2025 році. <https://itc.ua/ua/articles/top-7-fotoaparativ-kamery-yaki-varti-uvagy-u-2025-rotsi/>.
23. MyApple. (б. д.). Топ камер для зйомки в 2025 році: Що вибрати для професіоналів та аматорів. https://my-apple.com.ua/top-kamer-dlia-ziomky-v-2025-rotsi-shcho-vybraty-dlia-profesionaliv-ta-amatoriv/?srsltid=AfmBOopiqbblg5gAkkGvR58ySaopmSRWT_-3sMEHHKtcJEUdupzRa9mX.
24. Fotosale. (б. д.). Фотокамера Canon EOS M200 + 15-45 IS STM Black. https://fotosale.ua/ua/product_N54779.htm?srsltid=AfmBOoogfRdVvW556iZtbu41DP_op2Fzlw2Yr_uOWIEPxAh4dSPTPNhe.
25. JustBuy. (б. д.). Фотоапарат FUJIFILM X-S20 + XC 15-45mm F3.5-5.6 Black. https://justbuy.com.ua/ua/foto-ta-video-fotoaparati-bezdzeralni-fotoaparati/bezdzeralnij-fotoaparati-fujifilm-x-s20-kit-15-45mm-f35-56-black-16781917-16781917?gad_source=1&gad_campaignid=22724893606.
26. Moyo. (б. д.). Фотоапарат SONY Alpha a7 III + FE 50 mm F1.8. https://www.moyo.ua/ua/fotoapparat_sony_alpha_a7_iii_fe_50_mm_f1_8_ilce7m3bfe50_/581370.html?srsltid=AfmBOopfg5eJuujfFLYbB7C2GW2Zxp_113wXxW80xsuRNQjf3faXGUmq.
27. Allo. (б. д.). ТОП-10 смартфонів 2025 року. https://allo.ua/ua/top_10_smartfoniv_2025_roku?srsltid=AfmBOorMz7ULCYPIQVd16KA7LZDodrdb5Wx7nQAs7Jx2lzza55NEglGf.
28. Androprice. (б. д.). ТОП-5 смартфонів з найкращим співвідношенням ціна/якість. <https://androprice.com.ua/blog/top-5-smartfonv-z-naykrashchim-spvvdnoshennyam-tsnayakst/>.
29. ELMIR. (б. д.). Мобільний телефон Samsung Galaxy S25 Ultra 12/256GB Titanium Jet Black. https://elmir.ua/ua/cell_phones/mobile-phone-samsung-galaxy-s25-ultra-12-256gb-titanium-jet-black-sm-s938bakdeuc.html.
30. ELMIR. (б. д.). Мобільний телефон Apple iPhone 17 Pro Max 256GB Silver. https://elmir.ua/ua/cell_phones/mobile-phone-apple-iphone-17-pro-max-256gb-gray.html.
31. SJcam. (б. д.). Найкращі камери для походів: вичерпний посібник. <https://www.sjcam.com/uk/blogs/best-cameras-for-hiking-buying-guide/>.
32. ITC. (б. д.). Рейтинг найкращих екшн-камер в Україні – ТОП-10 моделей. <https://itc.ua/ua/articles/rejting-najkrashhih-ekshn-kamer-v-ukrayini-top-10-modelej/>.
33. Wondertech. (б. д.). ТОП 7 бюджетних екшн-камер з кращою якістю знімання. <https://wondertech.ua/ua/blog/top-7-byudzhethnikh-ekshn-kamer?srsltid=AfmBOoptePy2t8ATRGN5Nae1VMbyZdUVngFrDhPDYB1uuNgN3907PQY8>.
34. ELMIR. (б. д.). Екшн-камера GoPro Hero 13 Black in Polar White. https://elmir.ua/ua/action_cameras/action-camera-gopro-hero-13-black-in-polar-white-chdhx-132-rw.html.
35. ТехноЇжак. (б. д.). Екшн-камера DJI Osmo Action 6 Standard Combo. <https://ti.ua/ekshn-kamera-dji-osmo-action-6-standard-combo-cp-os-00000505-02.html?srsltid=AfmBOooDjgpR2tYpyqQhbN9fzdOPJ2ZH6nG5YasRDT9ILrvuWtPaFcoA>.
36. ELMIR. (б. д.). Екшн-камера Insta360 Ace Pro 2. https://elmir.ua/ua/action_cameras/action-camera-insta360-ace-pro-2.html.
37. Insta360. (б. д.). Insta360 Ace Pro 2. <https://insta360.com.ua/uk/cameras/ace-pro-2>.

ON THE UNAMBIGUITY OF BASICS IN THE COLOR REPRODUCTION THEORY

Azarenkov V.

Ph.D., associate professor,

Department «System analysis and information-analytical technologies»,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

ORCID ID: 0000-0001-6305-4944

Abstract. When studying the subject of «Color Theory,» we encounter confusion regarding certain issues related to the fundamental principles of color reproduction theory. In other words, the theories of obtaining various color shades by mixing different color components are based on different initial assumptions in different books, which do not allow students to construct a unified color model for practical use. The purpose of this study was to address this problem. Open data from the Internet was used as a source of information.

Keywords: color, color circle, newton's color circle, goethe's color circle, itten's color circle, oswald's color circle, primary colors.

Introduction

The study of color begins with its historical foundations. The foremost among the founders, who is always mentioned when studying color theory, is Isaac Newton (1643-1727) (Figs. 1-2).

If you read textbooks on color theory and color reproduction carefully, you may unexpectedly discover a surprising contradiction. The entire theory – from high school physics to the science of chromatics – follows Newton, accepting Red-Orange-Yellow-Green-Blue-Violet as the primary colors (Fig. 3).

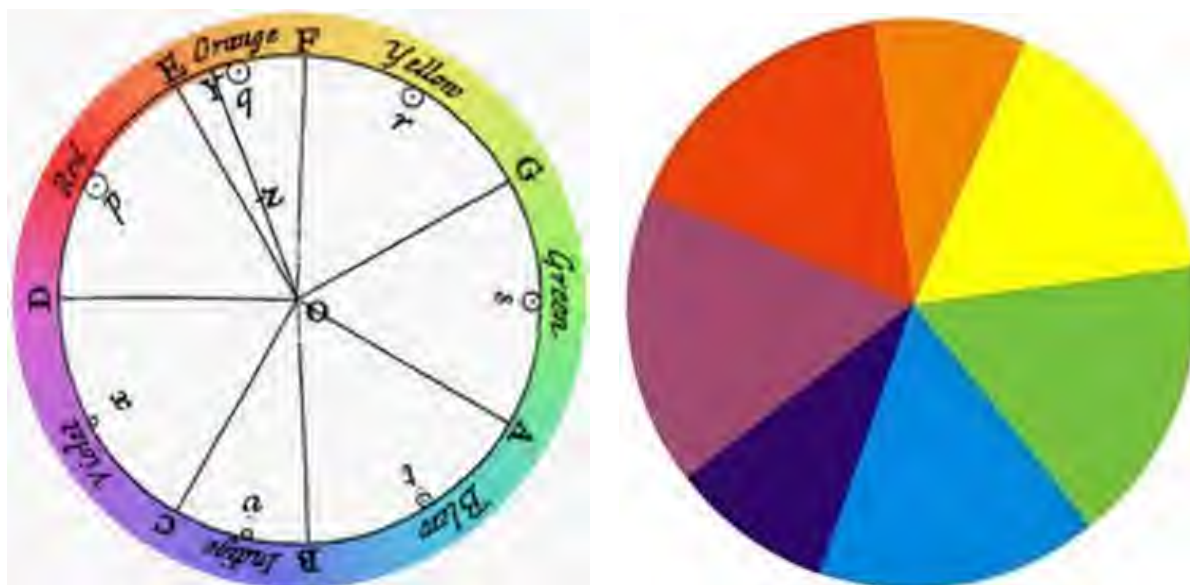


Figure 1 – Newton's historical color circle

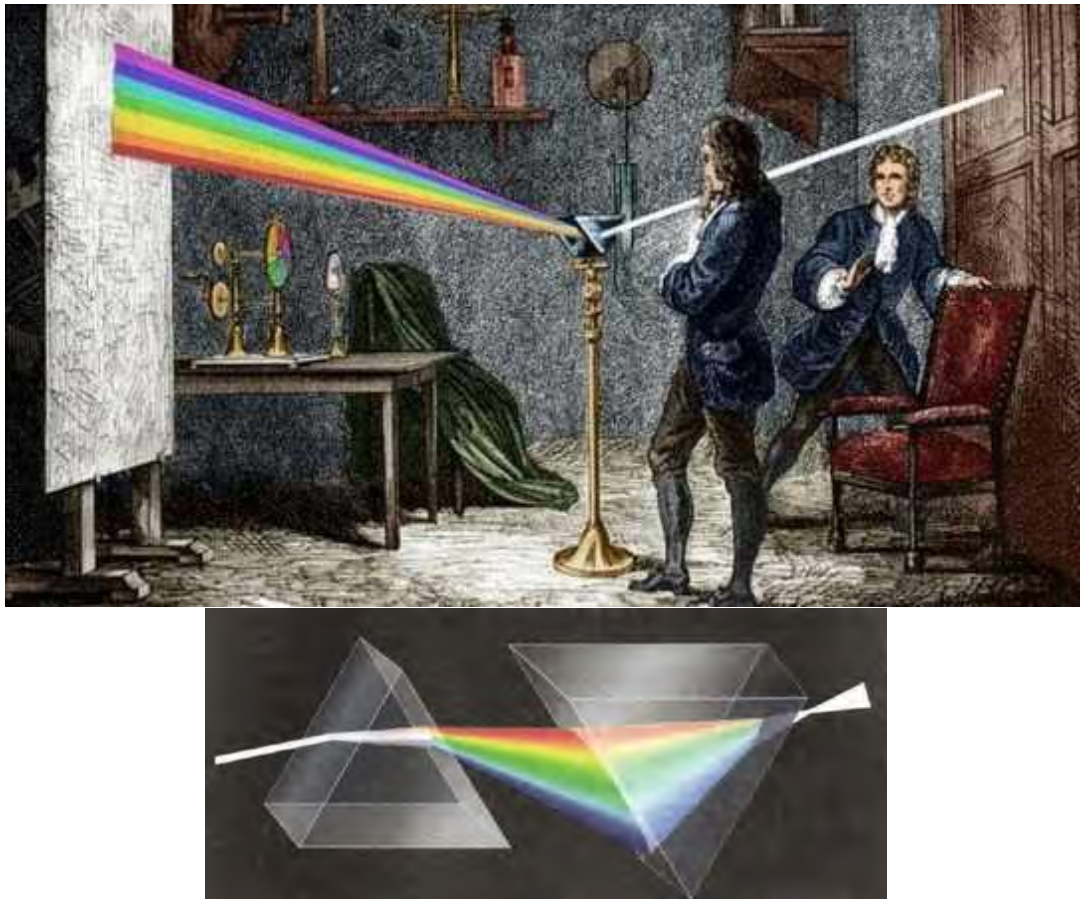


Figure 2 – Isaac Newton's experiments in 1666



Figure 3 – The basic color model of chromatics, adopted in color theory based on Newton's teachings

Moreover it is claimed that Red, Yellow, and Blue are primary colors in this model because they cannot be produced by mixing any other colors and cannot be broken down into their components. Orange, Green, and Violet, on the other hand, are secondary colors because they are formed by mixing pairs of colors from the primary triad.

Modern practice, however, which is directly related to design and digital technologies, uses the RGB and CMY color models (Fig. 4), where the key colors are Magenta (M) – Red (R) – Yellow (Y) – Green (G) – Cyan (C) – Blue (B). Full-color images in printing are reproduced using all possible combinations of the

three primary (completely different «primary»!) colors: C (cyan = blue), M (magenta = purple), Y (yellow), to which K (black) is added. If you try to «charge» an offset press with red, yellow, and blue, the colors in advertisements, brochures, books, etc., will turn out dirty and dull.



Figure 4 – The RGB-CMY model used in practice

Isn't it strange that magenta and cyan are completely absent from the model accepted by science? And if we try to generate red and blue in any graphic design software, we'll find that these colors are created by mixing:

red = 100% magenta + 100% yellow;

blue = 100% magenta + 100% cyan.

And it is no longer possible to claim that they cannot be broken down into their components. Despite the fact that computer technologies have long been used by designers, architects, and publishers as a primary tool, the contradiction that has arisen between theory and practice remains unresolved. Designers are still being offered models from 300-200 years ago to study, which in no way align with today's realities.

Let's summarize the questions for Newton:

- 1. It is unclear on what basis Newton accepted the initial five colors as primary, especially since he himself noted that a range of colors could be obtained by mixing adjacent ones (for example, green from yellow and blue).*
- 2. Which colors did Newton ultimately accept as primary?*
- 3. The seven colors of the rainbow are not the result of a scientific experiment, a scientific theory, or any physical law. They are merely the result of Newton's arbitrariness and his desire to artificially reduce color and sound harmony to a common denominator. Why did he not attempt to provide evidence for his claim?*
- 4. Does color not exist without our eyes?*
- 5. Despite the objections of scientists today, Newton's theory of color became established in classical physics and, for 300 years, was not subject to serious revision or further rethinking. Why?*

Were there attempts during Newton's time and afterward to create a different color model that differed significantly from Newton's theory? Yes, there were. But by no means were all of them successful. Of greatest interest to us are the experiments and conclusions of Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832).

Experiments with the direct and reverse spectra allowed Goethe to assert that Newton's theory was flawed, as it considered only half of color phenomena.

Goethe believed that color is the result of the interaction of light and darkness. Yellow, as the minimal dimming of light, and blue, as the maximal illumination of darkness, are the fundamental, primary colors that cannot be broken down into any others. Goethe regarded red as an intensification of yellow, and violet as an intensification of blue. In addition, between red and violet, Goethe discovered a color not found in Newton's spectrum – magenta.

The sciences dealing with color did not immediately accept Goethe's views on color, although Goethe himself considered his research in this field more important than all his other works. Yet Goethe's theory, which so strikingly foreshadowed modern achievements in the field of color, has found virtually no practical application for a long time. Only a few authors mention it in their works, and even then, as a rule, in an extremely fragmentary manner and almost always in a distorted form.

The question arises: why? After all, if we look closely, it was Goethe who correctly constructed the color circle in the RGB-CMY system [1] that we use today (Fig. 5).



Figure 5 – The primary colors of Goethe's color circle

Purpose and Objectives of the Study

The relevance of this study lies in the existence of ambiguous interpretations of the fundamental principles of color theory in educational and scientific literature.

The purpose of this study is to investigate and explain this ambiguity.

The objective of this study is to answer the question: why has this ambiguity in the theory not yet been resolved?

The primary research methodology is the analysis of published sources on color theory.

Main Part

An absurd situation arises: *we study according Newton's color circle, yet we use Goethe's unrecognized color circle*. The question arises: why? And how can we resolve this situation?

All official sources still rely on Newton's research in the field of color. Newton's achievements eventually became practically an indisputable truth. The six-part circle, constructed based on Newton's theory, formed the foundation of all subsequent concepts regarding color patterns and color harmony and became the primary tool in Chromatics. As mentioned earlier, the primary colors in the circle are yellow, red, and blue, while the intermediate (secondary) colors – orange, magenta, and green – are obtained by mixing two adjacent colors. When comparing Newton's seven-part color circle with the six-part circle used in chromatics, we note that the latter lacks the color blue, which occupies a significant sector in Newton's model.

And immediately a big **BUT** arises. Recall: the intermediate (secondary) colors – orange, violet, and green – are obtained by mixing two adjacent colors. **But blue and yellow do not produce green when mixed** (Fig. 3). *Yellow can be obtained by mixing blue and green*. Blue and yellow produce gray. Another **BUT**. Gray and black result from mixing primary colors. And green is not a primary color.

And it is unclear who lost the blue and how?

In fact, understanding the nature of the color yellow is the main point of contention among proponents of various color theories. Is the perception of yellow the result of the combined activity of the red and green receptor systems, or is it primary – a view supported by the simplicity of the sensation it evokes?

Thomas Young (1773-1829) hypothesized (Fig. 6) that we always see yellow when red and green are mixed in certain proportions, and that there is no special type of receptor sensitive to yellow light rays, but rather two types of receptors, sensitive to red and green rays respectively, whose joint activity produces the sensation of yellow.

Young settled on three «primary» colors for a very simple reason.

He discovered that any color visible in the spectrum (including white) can be created by mixing three – but no fewer than three – light rays, selecting the appropriate light intensity.

As we can see, Young could not definitively identify the three primary colors that would be capable of mixing to produce all the other colors in the world. Young's theory was later developed by the German naturalist, doctor, physiologist, and psychologist Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz (1821-1894):

According to the Young–Helmholtz theory, there are three types of color-sensitive receptors (flasks) that respond to red, green, and blue (or magenta) colors, respectively, and the perception of all other colors in the spectrum arises from the mixing of signals from these three receptor systems.

Based on Young's theory, the English physicist James Maxwell developed a color model that is fully consistent with modern concepts of color mixing and is based on the RGB-CMY color systems familiar to designers (Fig. 7).

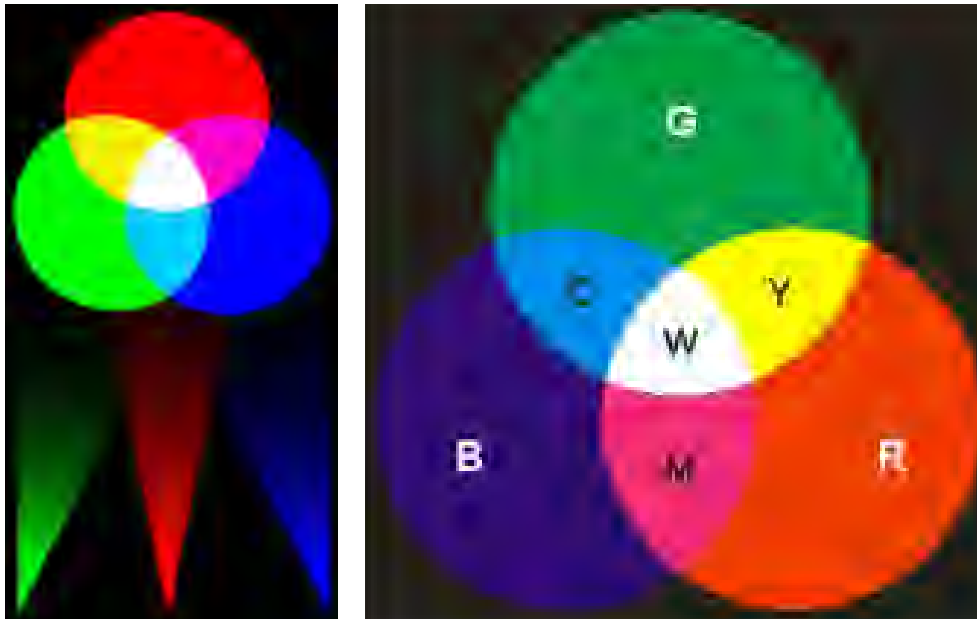


Figure 6 – Young's experiment on color mixing.
By mixing three light beams (rather than colors – MM) that are quite far apart from one another in the spectrum, Young demonstrated that any color in the spectrum can be produced by adjusting the intensities accordingly

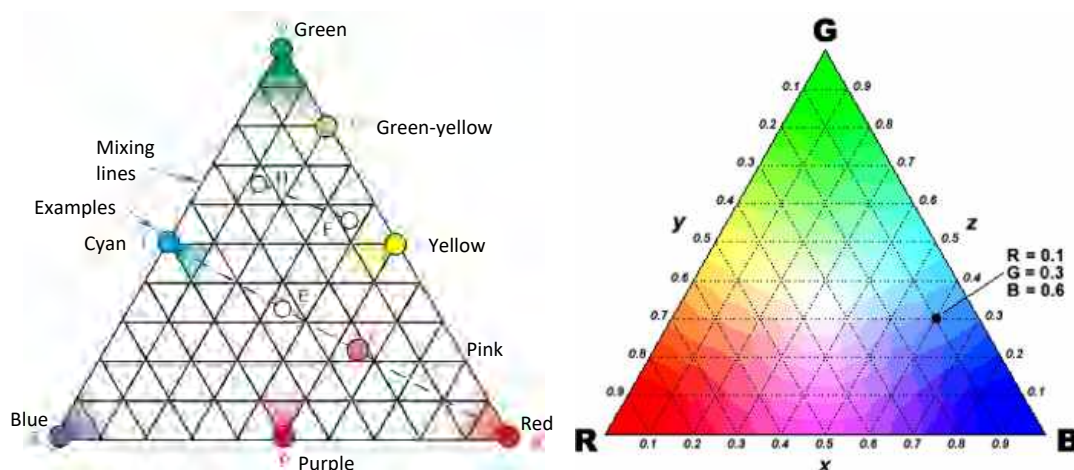


Figure 7 – Maxwell's model. 1857

Maxwell pointed out the possibility of applying the principles of the tri theory of vision to the reproduction of color images, and in 1861 he demonstrated for the first time a color photograph produced using the three-colored method.

It seems that from this point on, certain parts of the official theory of color have developed along two divergent paths:

- the development of photography, followed by color television, computer color models, and principles of image reproduction in printing – based on the Young-Maxwell model, where RGB (red-green-blue) and CMY (cyan-magenta-yellow) are adopted as the primary colors ,

- everything else (chromatics) – based on Newtonian optics with the main colors red-blue-yellow.

To be more accurate: color theories in physics and painting have remained rooted in Newton's principles; they were studied and developed for nearly three centuries, and

in our time they have been automatically transferred to the realm of design. Contemporary design, however, is concerned only with practical results – achieved, incidentally, through computer technology. And it turns out that classical theory does not align with practice. Despite the obvious paradox, few people are trying to bring them into common agreement. Even if such attempts are made, the pressure from authorities established over centuries prevents any serious breakthroughs in this field for the time being.

The ideas established by Newton have become so deeply «ingrained» in color theory over the past three hundred years that virtually none of the subsequent researchers in this field have been able to avoid Newton's various contradictions and inconsistencies. The nature of color and the principles of color formation, as well as its effect on humans, are interpreted by specialists from various fields of knowledge – physicists, physiologists, psychologists, artists, and designers. Each perspective is, to some extent, unique. One might think that a multifaceted examination of color phenomena would result in a unified whole that fully reflects the nature of color. However, this does not happen. Psychologists and artists, who are quite distant from delving into the laws of physics due to their focus on the humanities, take these laws as a basis in the form in which they are presented in physics textbooks and build their research upon them. If, for some reason, the pieces do not fit together, there is no choice but to artificially force one phenomenon to fit another, using unfounded assumptions.

Unfortunately, even Johannes Itten (1888-1967), an undisputed modern authority on color theory, was not able to avoid such errors, inaccuracies, and approximations. Presenting his twelve-part color circle (Fig. 8) in his book (unsuitable for printers), Itten accompanies it with the following text: «... Isaac Newton obtained this closed circle, in which he added the missing purple color to the spectral colors, which enhanced its overall constructiveness. ...» [2].



Figure 8 – Itten's twelve-part circle

Questions arise regarding Itten:

- But Newton didn't have a twelve-part color circle. His circle consisted of 7 parts, the origins of which we have examined in detail;
- But there is no purple in this circle;

– However, it should be noted that blue has appeared in Itten's circle, the disappearance of which we noted earlier.

Let's conduct a comparative experiment: computer technology versus art paints. Let's try, using a computer (Fig. 9), to obtain mixtures from the primary colors accepted today in chromatics (we'll use a model in CorelDraw editor using the CMY module).

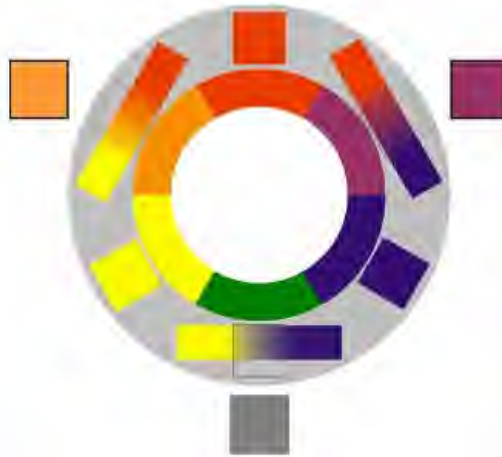


Figure 9 – Obtaining of mixed colors from primary colors in the chromatic circle

In the center is a chromatics model. The primary colors are represented by squares on a gray background. The gradient strips demonstrate the process of generating color mixtures using a computer. The squares outside the gray background show the resulting mixed colors for each pair of primary colors.

We can see that the mixtures of red and yellow, and red and blue, correspond exactly to the derived colors in the central circle – orange and purple, respectively. But yellow and blue do not mix to make green! When mixed, they produce a gray color.

But since childhood, we've been told that green comes from mixing yellow and blue. And now a simple computer operation destroys what seemed like an indisputable fact. What's going on here?

If we look through a prism, following Newton's example (Fig. 10), we will see that in the spectrum, green is formed not between blue and yellow, but between cyan and yellow.

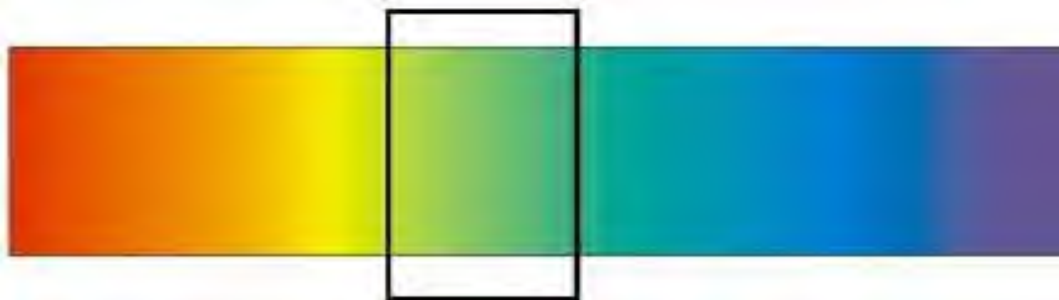


Figure 10 – Obtaining the green color in the spectrum

But in the world of chromatics, there's no such thing as cyan!

If, instead of a computer's digital model, we use art paints, we can create cyan from blue by adding white to it. But this follows a completely different pattern that doesn't align with the principles of the color circle.

We must acknowledge that for a painter, the issue of blue versus cyan is not so fundamental. He selects the components of the mixture based on experience and obtains a wonderful green color by mixing ultramarine and lemon yellow (it is called lemon yellow precisely because it already has a greenish tint).

The colors of traditional art pigments do not match spectral colors. A digital computer model, however, is as close as possible to the pure spectrum, so for a designer, using blue instead of light blue is impossible. Yet the theory in the textbook says – use it...

However, the blue-yellow mixture, having persisted for over 100 years as a myth, has emerged as a problem right before our eyes, even within the artistic community. A few years ago, Michael Wilcox's book was published in English, dedicated to examining these issues, aptly titled: «Blue and Yellow Do Not Make Green: How to Get the Color You Really Want.»

Below is the modern Oswald color circle (Fig. 11). It is easy to understand by comparing the Oswald color circle with those of Newton and Goethe, whose theories should be studied for further practical application.

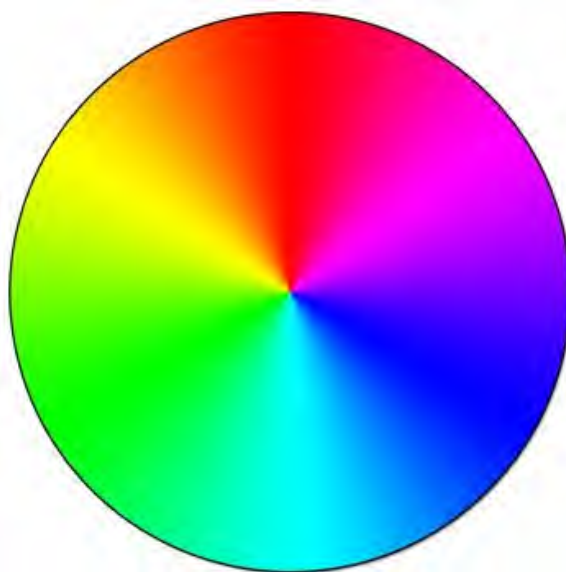


Figure 11 – Oswald's Modern Spectral Color Circle

The issues raised in this study require urgent resolution. It is impossible to address them theoretically. It is likely necessary to establish some kind of body (such as a color-based consortium) that would issue the necessary and binding decisions in accordance with international standards.

For our part, we will attempt to explain the reasons behind such absurdities.

One of the significant reasons in our literature is the incorrect translation of the results and conclusions of foreign studies, the originals of which are written in English and German. First example: in English and German, there are no distinct words for «blue» and «cyan» How the text is translated depends on the translator's competence.

You don't have to look far for examples; just flip through various textbooks. Not only do the listed colors not match, but the colors in the illustrations also don't match their names. What can we learn from this? Add to that the context-dependence of English, where the same word takes on different meanings in specific contexts.

But the most important thing, in our view, is this: Newton's and Goethe's respective approaches to color illustrate two completely different approaches to experimental research. We distinguish between them by calling them: theory-oriented (Newton) and research-oriented (Goethe).

A theory-driven approach is often considered the only appropriate method – this aligns with the «standard» conception of science, in which experiments are designed based on pre-formulated theories and serve primarily to test or demonstrate those theories. Theory dominates experimental work from its initial planning to the final details in the laboratory. Newton largely followed this approach in his experiments with color.

Exploratory experimentation has largely been ignored by historians and philosophers of science. A special feature of this approach is the systematic and significant change of experimental conditions to determine which of them are necessary for the phenomena under study or influence them.

Theory-oriented and exploratory experimentation are not mutually exclusive categories, but rather aspects of a spectrum of experimental research strategies. Which of them is more productive in a given context depends on many factors, including the state of development of the field, the type of knowledge (e.g., basic mechanisms versus the regularity of phenomena) that the physicist is mastering, and the complexity of the system under study.

Newton's research in optics was guided by a metaphysical belief that color was simply a subjective correlate of the mechanical properties of light rays. Therefore, he abstracted himself from the complex world of normal visual perception, working in a dark chamber illuminated by a single ray of sunlight. Thus, the system Newton studied was unambiguous and consisted of objects of a single type – rays with different angles of refraction – whose interactions and types of color mixing lay simply beyond the scope of his chosen approach. Newton's approach fully served his purpose: the mathematization of light and color was achieved using several specific effects. But the price paid was this: his experiments limited the relevance of color in ordinary perception.

The research style demonstrated by Goethe's experiments with color was, at the time, underestimated by his peers, with the exception of physicists. Johann Wolfgang Goethe's theory of color captivated and continues to captivate physicists for nearly two centuries, beginning with its publication in 1810.

As an embodiment of his research, Goethe proposed a symmetrical color circle, which he used in all the fields he studied. In contrast, Newton's color circle, with its seven colors and unequal angles, did not display the symmetry and interdependence that Goethe regarded as essential characteristics of color. For Newton, only spectral colors could be considered fundamental.

Goethe's more empirical approach led to the recognition of the significant role of non-spectral fuchsia in the full color circle, a role that still holds its place in all modern color systems. Painters, dyers, makeup artists – all those who work with color in practice generally feel much more connected to Goethe's color circle than to Newton's.

And today, even after firmly proving its value, Goethe's color theory remains in the literature as a backup or supplementary option to Newton's research. A paradox? Yes!

Research results

An analysis of the theoretical and practical material gathered as a result of this study suggests the following:

- currently, two distinct color theories coexist within the scientific community: Isaac Newton's color theory and Johann Wolfgang von Goethe's color theory, which emerged from two different approaches to the experimental study of color properties;
- each of them satisfies its own group of researchers and users of these theories: physicists, printers, artists, physiologists, psychologists, doctors, etc.;
- today there is no universal color theory, since there is no single formulation of laws that would unify and explain the research of Isaac Newton and Johann Wolfgang von Goethe;
- this last statement is indirectly supported by constant attempts to create new color models, as well as by the mathematical complexities of converting color coordinates from one color model to another.

Conclusions

An analysis of the main provisions of color theory has been conducted: the corpuscular theory of light, which explains the phenomena of light scattering and reflection (Isaac Newton's color theory), and the theory of the process of human perception and interpretation of color (Johann Wolfgang von Goethe's color theory). An attempt is made to explain why these theories exist separately from one another. The possibility of combining the interpretations of the main conclusions of Newton's and Goethe's research is considered. The hypothesis is put forward that there is no single, indivisible theory of color in the scientific community.

References.

1. Goethe, J.W. (1982). *Theory of Colours*. trans. Charles Lock Eastlake. Cambridge, MA: MIT Press.
2. Іттен, Й. (2022). *Мистецтво кольору. Суб'єктивний досвід і об'єктивне пізнання як шлях до мистецтва : навч. посіб.* Київ : Видавництво «ArtHuss».

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ ТОНУ В ЕЛЕКТРОФОТОГРАФІЇ

Голубник Т.С.

к.т.н., доцент, кафедра «Мультимедійних технологій»,
ІПМТ НУ «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-8325-9813

Анотація. У роботі представлено комплексний аналіз методів дослідження відбитків, виготовлених за допомогою технології електрофотографії. Основну увагу приділено виявленню закономірностей впливу фізико-хімічних та поверхневих параметрів паперу на динаміку зміни величини посилення тону. Проведено порівняльну характеристику традиційних методів оцінки величини розтискування із застосуванням штрихових модельних відбитків. Визначено переваги та критичні недоліки застосування спектрофотометрів і сканерів, які є стандартними для сучасних друкарень. Обґрунтовано можливості та окреслено перспективи впровадження методики аналізу якості через побудову профілограм модельних відбитків.

Ключові слова: посилення тону, електрофотографічна технологія, коефіцієнт відбиття, денситометрія.

Вступ

Попит на принтери та копіювальні апарати, що використовують електрофотографічні системи, стрімко зростає в останні роки. З вибором друкуючих пристроїв, електрофотографічної технології зростають не лише в їхньому застосуванні для друку документів в офісах, але й для малих друкарень. Серед усього цього продуктивність пристроїв, від яких потрібні високі швидкості та розширена чіткість, також стає більш досконалою.

Друкуючі пристрої електрофотографічної системи використовують мікрочастинки діаметром від 5 до 10 мкм, які називаються тонерами, які заряджаються тертям і формують зображення за допомогою електростатичної сили. Хоча потрібне надзвичайно точне керування для розгону до високих швидкостей та розширення чіткості до вищої якості зображення, багато аспектів поведінки частинок тонера досі досліджують, такі як заряджання тертям. З цієї причини необхідно виявляти параметри на основі досвіду та ноу-хау для розробки та неодноразово експериментувати для оптимізації. Скорочення часу розробки є важливим для комерціалізації необхідних функцій вчасно.

Достатня кількість сучасних обладнань використовують за кордоном, так само відомі марки придбані по всій території України. Відповідно, дана тематика сучасного цифрового друку електрофотографічної технології набрала обертів у нашій країні, що на фоні малих накладів доводить свою актуальність [1, 2].

Мета дослідження

Порівняння методів вимірювання посилення тону відбитків, отриманих на машинах електрофотографічного способу друку, для складання рекомендацій щодо їх використання у поліграфічній практиці.

Основна частина

В останні десятиліття спостерігається активне вдосконалення способу електрофотографічної технології, зумовлене безпрецедентним розвитком цифрових технологій та комп'ютерної техніки, що відкрило нові можливості для швидкого та якісного відтворення відбитків. Завдяки цьому на даний момент аналізований спосіб друку є найпоширенішим у галузі оперативної поліграфії і представляє особливий інтерес у плані актуальності вивчення питань підвищення якості продукції, тому що в перспективі він може перевершити за точністю репродукування оригіналу всі інші способи традиційного друку. При цьому потрібно вивчити методи вимірювання посилення тону (або розтискування) як головний спосіб виявлення масштабів зниження якості одержуваних відбитків.

Посилення тону – різниця між значеннями тону для відтискання та значеннями тону в цифровому файлі. Здебільшого посилення тону спричинене збільшенням площі друкованих елементів у процесі друку внаслідок механічних впливів на барвистий шар.

На величину посилення тону впливає безліч факторів, такі як склад тонера, температура його полімеризації і якість матеріалу, що задруковується. Якщо перші два параметри контролювати і змінювати неможливо через особливості друкарського обладнання, то очевидним є використання різних видів паперів, що дасть найбільш ясну картину факторів, що впливають на якість друку (рис. 1).



Рисунок 1 – Оригінал дослідження

Обладнання та матеріали, що застосовуються

Досліджувані відбитки друкувалися на лазерному принтері Xerox DocuColor 5252. Це друкарська машина електрофотографічної технології, здатна друкувати на різних видах паперу граматурою до 300 г/м². Друк відбитків проводився у роздільній здатності 300 точок на дюйм у чорному кольорі.

В якості обладнання для сканування відбитків використовувався сканер від принтера моделі Xerox 5325, що дозволяє сканувати з роздільною здатністю 600 точок на дюйм.

Для вимірювання коефіцієнтів відбиття світла надрукованих плашок застосовувався спектрофотометр X-Rite Eye-One Pro, з використанням можливостей програмного пакету ProfileMaker 7.0.

В якості задруковуваних матеріалів були обрані 5 видів паперів:

- папір матовий Mondi IQ Ultra 80 г/м²;
- папір матовий Xerox Colotech + 120 г/м²;
- папір матовий Xerox Colotech + 160 г/м²;
- папір не крейдований глянсовий LumiArt 150 г/м²;
- папір крейдований матовий LumiSilk 200 г/м².

Першим із розглянутих методів характеристики розтискування є метод денситометрії. Цей метод широко застосовується у великих друкарнях і став традиційним методом визначення масштабів посилення тону.

Він полягає у скануванні на світловідображення модельного відбитка, який є суцільним колірним шаром (у даному випадку координати кольору даної плашки в цифровому макеті в системі Lab: L=50, a=0, b=0) і подальшому комп'ютерному аналізі отриманого електронного зображення.

Для контролю градаційної передачі у поліграфії традиційно використовуються денситометричні виміри (вимірювання оптичної щільності за допомогою денситометра або спектрофотометри).

Оптична щільність обчислюється як десятковим логарифмом від коефіцієнта відображення мінус першого ступеня:

$$D_i = \lg \frac{1}{R_i}, \quad (1)$$

де R_i – коефіцієнт відображення.

Оцінка відносної площі заповнення растрового поля (у відсотках) розраховується за формулою Мюррея-Девіса [2]:

$$S_i = \frac{1 - 10^{-D_{Ri}}}{1 - 10^{-D_v}} \times 100, \quad (2)$$

де S_i – відносна площа растрових елементів i -го поля;

D_{Ri} – оптична щільність i -го растрового поля;

D_v – оптична щільність фарби (приймаємо за 1,0).

За допомогою спектрофотометра були зняті показники відбивання плашок для всіх видів паперів (рис. 1). Потім за формулою (1) було отримано значення оптичної щільності плашок і за формулою Мюррея-Девіса (2) розраховали значення відносної площі растрових елементів (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення відносної площі растрових елементів та величина розтискування для різних видів паперів

Вид паперу	80 г/м ²	120 г/м ²	160 г/м ²	150 г/м ² , глянц.	200 г/м ² , мелов.
Середній коефіцієнт відбивання R	0,390	0,366	0,372	0,341	0,390
Відносна площа растрових елементів S , %	56,7	59,3	58,6	62,1	56,6
Величина розтискування D , %	6,7	9,3	8,6	12,1	6,6

Другий спосіб виявлення розтискування полягає в скануванні спеціальних модельних штрих-карток, надрукованих на різних типах паперу.

Макет даних штрих-карт представлений у вигляді чорних і білих смуг, що чергуються, однакової ширини d з змінною частотою штрихування $\frac{1}{d}$. Суть методу полягає в тому, що в тих випадках, коли ширина смуги набагато більша від растрової точки принтера, вплив розтискування на середній коефіцієнт відображення відбитка практично не помітний і приблизно дорівнює 0,5, але зі збільшенням частоти $\frac{1}{d}$ ефект стає помітним.

Враховуючи тип паперу та показники відбивання з табл.1 представлено у вигляді діаграми їх показники (рис. 2).

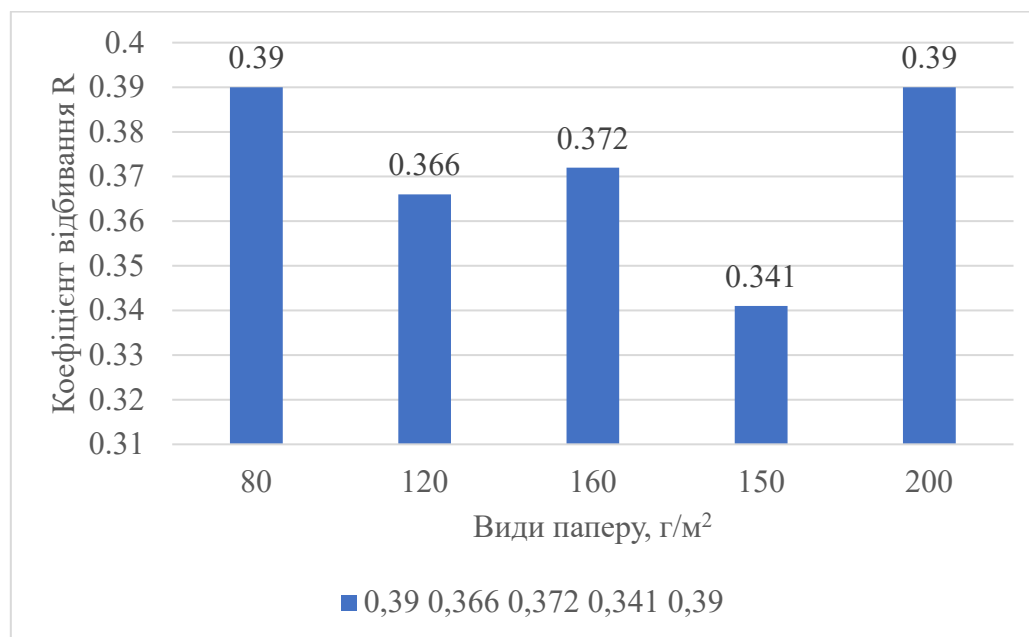


Рисунок 2 – Результати спектрофотометричного виміру коефіцієнтів відбиття світла суцільними чорними фарбовими шарами на різних видах паперу

Для проведення експерименту були підготовлені макети із шириною смуг від 4 до 10 пікселів (1 піксель=33,3 мкм) (рис. 3).



Рисунок 3 – Збільшена фотографія відтворення смуг і їх тональності

Отримані відбитки були відскановані за допомогою планшетного сканера, а потім за допомогою комп'ютерного аналізу за допомогою програми Scilab було отримано середні значення рівня тону m для кожної штрих-картки.

$$R = \frac{m}{255}, \quad (3)$$

де R – середній коефіцієнт відображення;
 m – середнє значення рівня тону.

З формули (3) був розрахований середній коефіцієнт відбивання відбитків. Результати були занесені в таблицю для після наступної побудови графіка залежності середнього коефіцієнта відбиття R від частоти штрих-карт $\frac{1}{d}$ (рис. 4).

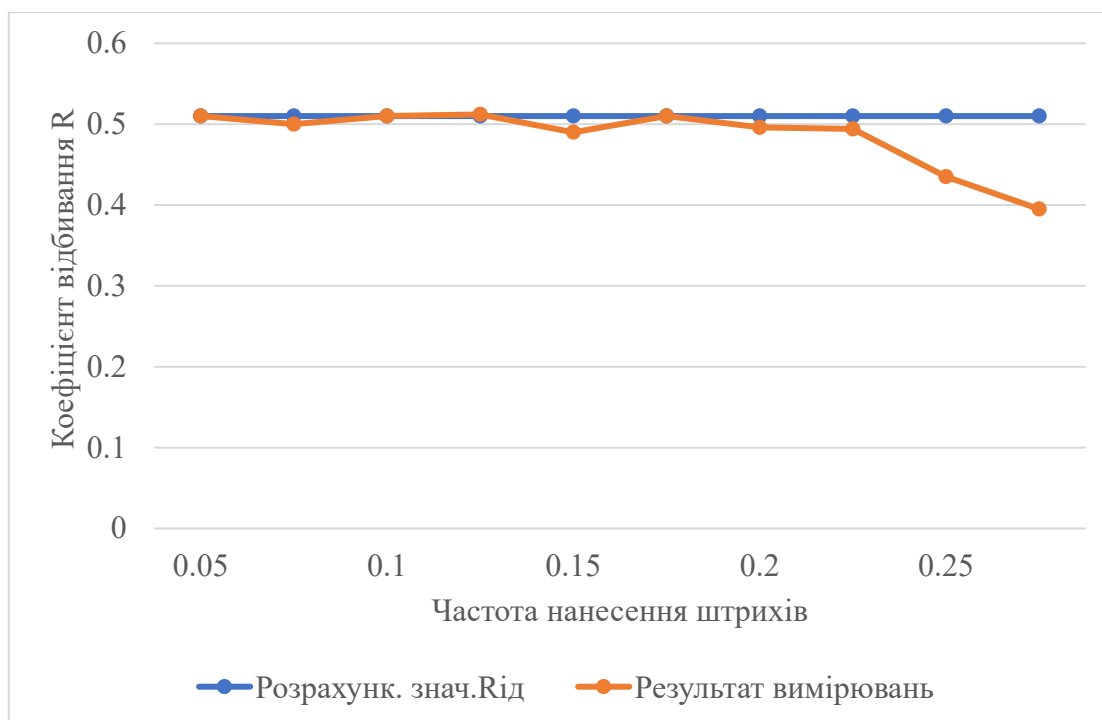


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта відображення R світла штриховими модельними відбитками, надрукованими на крейдованому папері LumiSilk 200 г/м²

Додатково вводиться значення R_{i0} – коефіцієнт відображення (рис. 2), при якому вплив розтискування на вимірюваний коефіцієнт відображення штрих-карти мізерно мало:

$$R_g = \frac{R_b + R_p}{2}, \quad (4)$$

де R_p – коефіцієнт відбивання світла зафарбованою чорною плашкою;

R_b – коефіцієнт відображення світла незапечатаним папером.

Аналогічно з наведеним графіком для матової крейди.

ного паперу LumiSilk 200 г/м² (рис. 2) будуються графіки для залишкових видів паперів.

$$R = R_{ug} - \frac{x}{d} \left[R_b + R_p - \frac{2 \times (R_b - R_p)}{\ln \left(\frac{R_b}{R_p} \right)} \right]. \quad (5)$$

Формула (5) дозволяє зв'язати величину коефіцієнта відбивання R , ширину смуг d і коефіцієнт відображення світла незадрукованою на папері R_b з параметрами просторового R_x і локального розтискування (x_1, x_2) [4].

З рівняння (5) можна виразити x :

$$x = \frac{R_{ug} - R_{0,25}}{R_b + R_p - \frac{2(R_b - R_p)}{\ln \left(\frac{R_b}{R_p} \right)}} \times d, \quad (6)$$

де $R_{0,25}$ – значення коефіцієнта відображення для точки з частотою смуг $\frac{1}{4}$.

Формула (6) дозволяє кількісно охарактеризувати величину розтискування (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати визначення параметрів локального розтискування з даних оптичного сканування штрих-карт

Вид паперу	80 г/м ²	120 г/м ²	160 г/м ²	150 г/м ² , глянц.	200 г/м ² , крейдов.
x (мкм)	34,1	36,4	34,7	37,2	27,4
$2x$ (мкм)	68,2	72,8	69,4	74,4	54,8

Третій метод оцінки величини розтискування, так само, як і попередній, передбачає використання планшетного сканера як інструмент для отримання

даних про світловідбиття відбитків. В даному випадку передбачається аналізувати не штрих-карти, а модельні відбитки, що являють собою наполовину щільно зафарбовану чорну ділянку паперу, а друга половина залишається повністю незадрукованою.

Обробка результатів проводиться також у програмі Scilab – використовуючи її можливості, будується профілограма відсканованого відбитка (рис. 5). Вона наочно показує не лише розподіл рівнів тону у вибраному рядку зображення, а й наочно демонструє неоднорідність запечатаного шару, спричинену неоднорідністю самого паперу, що істотно впливає на якість відтворення зображень.

Іншою важливою особливістю, що надається профілограмою є можливість оцінити кількісно розмір зони переходу від пофарбованої в чорний колір плашки до області без фарби. У разі можна умовно розділити отриману зону переходу на 2 частини: x_1 – зона розтискування в тінях і x_2 – зона розтискування у світах.

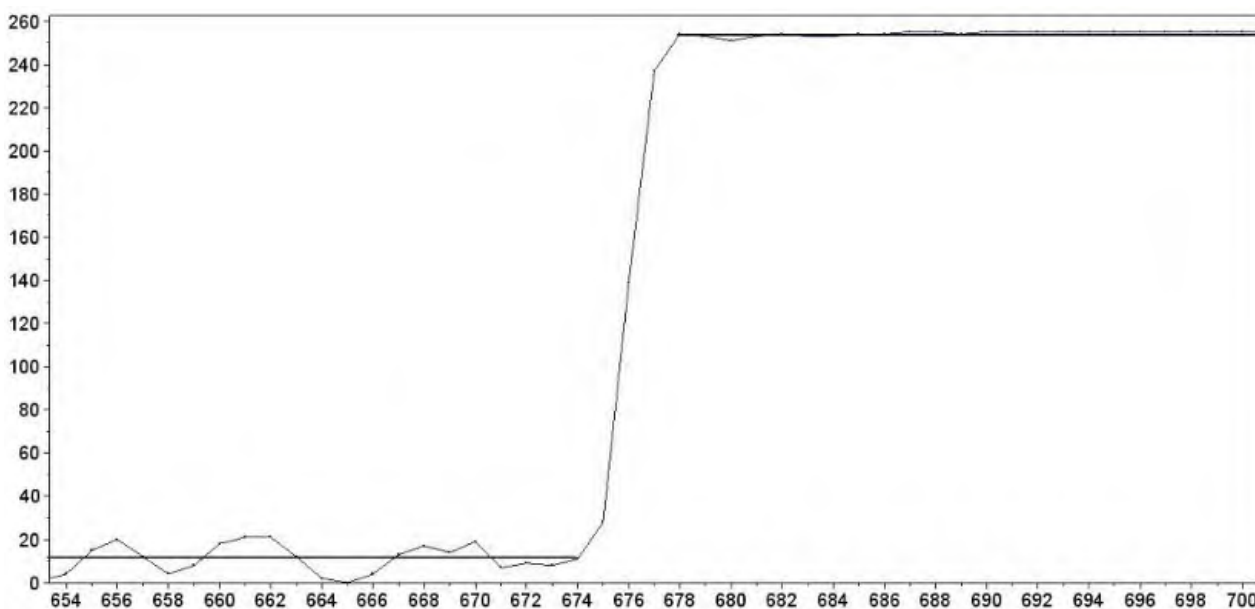


Рисунок 5 – Приклад профілограми: папір крейдований матовий LumiSilk 200 г/м², рядок скана п'ятисотий

Подібний аналіз проведено для всіх паперів та результати зібрані в єдину таблицю (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати аналізу профілограм

Вид паперу	x_1 , пк	x_2 , пк	$x_1 + x_2$, пк	$2x_{сер}$, мкм
80 г/м ²	1,07	1,5	2,57	85,6
120 г/м ²	1,14	1,64	2,78	92,8
160 г/м ²	1,18	1,39	2,57	85,6
150 г/м ² , глянц.	1,36	1,57	2,92	97,5
200 г/м ² , крейд.	0,86	1,57	2,43	80,9

Представлені результати аналізу профілограм демонструє точність відтворення тону на відбитках різного виду паперу.

Результати досліджень

Підбиваючи підсумки проведеної дослідницької роботи можна зупинитись на двох моментах.

1. Денситометричні дослідження, проведені за допомогою спектрофотометра хоч, і є широко застосовними в друкарській практиці за рахунок того, що легко піддаються автоматизації процесу вимірювання оптичної щільності відбитка відносних площ растрових елементів, однак у порівнянні з іншими двома способами, що дали кількісні характеристики розтискування, є менш інформативним. Однак схожість результатів вимірюваних коефіцієнтів відображення підтвердила досить високу точність вимірювання за допомогою сканера.

2. Порівнюючи метод вимірювання розтискування із застосуванням штрихових модельних відбитків з методом аналізу профілограм, можна помітити, що другий метод більш наочний і показує не тільки зміну рівня тону відбитка підрахунку через механічне збільшення розміру растрового елемента, але й вплив неоднорідності паперу, що задруковується, на якість відбитка, хоч і є менш точним.

Висновки

У роботі описано методи дослідження відбитків, отриманих способом електрофотографічного друку, для визначення впливу різних параметрів паперу, що друкуються на величину посилення тону. Здійснене порівняння методів вимірювання посилення тону відбитків, отриманих на машинах електрофотографічного способу друку, для складання рекомендацій щодо їх використання у поліграфічній практиці. Представлено складну взаємодію між фізико-хімічними властивостями паперу та якістю відтворення зображення в процесі електрофотографічною технологією. Зосереджено увагу на явищі посилення тону, досліджуючи, як саме характеристики поверхні матеріалу, на якому друкують, впливають на стабільність растрових елементів. У роботі проводиться критичне порівняння традиційних інструментальних методів контролю: спектрофотометричного аналізу, що забезпечує точність колориметричних даних, та сканування, яке дозволяє оцінювати загальну площину відбитка, проте має свої обмеження. Особливу наукову цінність становить розгляд інноваційного методу побудови профілограм модельних відбитків, що пропонується як перспективний інструмент для глибинного аналізу мікроструктури друку, дозволяючи не лише фіксувати відхилення тону, а й прогнозувати якість відтворення зображення на етапі додрукарської підготовки.

Доведено, що використання профілограм дозволяє отримати більш точну оцінку структури відбитка порівняно з класичними способами контролю, що відкриває нові можливості для прогнозування якості друку на етапі підготовки виробництва.

Список літератури.

1. Гоков, О.М. (2009). Технічне забезпечення видавничих систем. Харків: Вид. ХНЕУ. ISBN 978-966-676-334-4.
2. Кохановський, В.О. (2008). Вимірювальні прилади в поліграфічному процесі. К.: НТУУ «КПІ»
3. Дудяк, В.О. та інші. (2009). Властивості світлочутливих систем та технологій фотореєстраційних процесів. Навчально-методичний посібник.
4. Максимяк, П.П. (2022). Основи репрографії: конспект лекцій. https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3590/Конспект_Основи_Репрографії_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД.
6. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2005). Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, устаткування: навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ.
7. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2007). Цифровий оперативний друк: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ.
8. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
9. Пушкар, О.І., Андрющенко, Т.Ю., Бережна, О.Б., та ін. (2011). Комп'ютеризовані системи і технології видавничо-поліграфічних виробництв: монографія. Харків: ІНЖЕК.
10. Коц, Г.П., & Бондар, І.О. (2015). Етапи методики розробки поліграфічного web-додатка. Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії. (с. 71).
11. Коц, Г.П., & Бондар, І.О. (2015). Методика розробки web-додатку для прийому замовлень оперативної поліграфії. Інформаційні технології та захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах: монографія. (с. 395-408). Харків: Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс».
12. Zhou, Y.M., Rong, X.Y., & Jiang, Z.M. (2013). Experimental Study of Digital Printing Methods for Producing Personalized Packaging. *Applied Mechanics and Materials*, 262, 217-222.
13. Digital Printing. Technology and Printing Techniques of Océ Digital Printing Presses. Océ Printing Systems GmbH, 2006.
14. Chebotarova, I., Chebotarov, R., Manakov, V., Vovk, O., Mendieliya, M., & Trunova, T. (2025). Using the Delphi Method for Expert Evaluation of Digital Images by Lightness. 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2025. (p. 55-58). DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185761>.
15. Vovk, O.V., Chebotarova, I.B., Donskiy, D.O., & Chebotarov, R.I. (2025) Methods for improving print quality for Konica Minolta 6085 digital printing press. *Metrology and Instruments*, (2), 82-91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2025.2.11>.
16. 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».
17. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Поленок, Д.В. (2022). Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «НАРГУС». *Radiotekhnika*, (209), 226-238. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.2.209.23>.
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. Чеботарьова, І.Б., & Яценко, Л.О. (2023). Особливості кольоровідтворення на фабриці флексографського друку «НАРГУС». Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія. (с. 233-260). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗМІСТУ ЗОБРАЖЕННЯ У СУБЛІМАЦІЙНОМУ ДРУЦІ

Дубневич М.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій, ІПМТ,
НУ «Львівська Політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7089-0190

Сельменська З.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій, ІПМТ,
НУ «Львівська Політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

***Анотація.** Сублімаційний спосіб друку нарощує сегмент присутності на поліграфічному ринку. Точність відтворення інформаційного змісту зображення за цих умов стає критичним показником якості відбитка. За відсутності нормативної документації, що регулює оцінювання якості сублімаційного способу друку існує нагальна потреба розробки процедури оцінювання та регламенту показників якості. У статті сформульовано чіткий перелік показників якості відтворення інформаційного змісту зображення та представлено розроблену авторами методику їх оцінювання.*

***Ключові слова:** сублімаційний спосіб друку, показники якості, градаційний зміст, кольоровідтворення, структурні характеристики, градієнт, графічна точність, колірний контраст.*

Вступ

У сучасному цифровому середовищі, де технологічний прогрес відбувається надзвичайно швидко, зростає потреба у високоякісних зображеннях із точною передачею кольору, деталізацією та роздільною здатністю. Це пояснюється не лише розвитком цифрового дизайну, але й підвищенням стандартів споживачів до візуального контенту та декоративних виробів. Серед численних методів друку, доступних сьогодні, сублімаційний друк виділяється завдяки здатності забезпечувати фотореалістичну якість, максимально наближену до результатів традиційних технологій друку, таких як офсетний чи цифровий друк високої роздільності, при цьому надаючи нові можливості для творчих рішень.

Сублімаційний друк базується на фізико-хімічному процесі переходу барвника з твердого стану безпосередньо в газоподібний, минаючи рідку фазу. Це дозволяє пігментам проникати безпосередньо у структуру матеріалу, що забезпечує надзвичайну яскравість кольорів, насиченість та глибину відтінків. Однією з головних переваг цього методу є універсальність: за допомогою сублімації можна переносити зображення на тканини (поліестер, суміші поліестеру та бавовни), кераміку, металеві поверхні, пластик, скло, дерев'яні вироби та навіть спеціальні

декоративні матеріали. Завдяки цьому технологія стала надзвичайно популярною у створенні сувенірної продукції, інтер'єрного декору, рекламних матеріалів, а також індивідуального дизайнерського одягу та аксесуарів.

Якість зображення, отриманого сублімаційним друком, характеризується високою стійкістю до механічного тертя, впливу сонячного світла, вологи та інших зовнішніх факторів. Зображення не вицвітає, не стирається і зберігає привабливий вигляд протягом тривалого часу, що є однією з ключових причин популярності цього методу у промисловому та художньому виробництві. На відміну від традиційного друку на поверхні, де фарба лежить зверху та може легко зішкрябатися або зіпсуватися під впливом навколишнього середовища, сублімаційні пігменти стають частиною матеріалу, що забезпечує їхню довговічність.

Крім безпосередніх технологічних переваг, сублімаційний друк відкриває широкі можливості для творчості та дизайну. Дизайнери можуть експериментувати із кольоровими градієнтами, фотопортретами, складними візерунками та деталізованими текстурами. Наприклад, на текстильних виробках легко створювати плавні переходи від одного відтінку до іншого, що важко досягти іншими методами друку. На кераміці або металі можна виготовляти сувеніри з яскравими деталізованими фотографіями або корпоративною символікою. Таким чином, сублімаційний друк поєднує у собі художню свободу та технологічну надійність.

Важливим етапом у роботі з сублімаційною технологією є підготовка макету. Правильно створений макет визначає не лише якість фінального відбитку, але й економічність процесу, зменшення кількості браку та відповідність дизайнерської концепції задуму. При створенні макету слід враховувати ряд технічних аспектів: колірний профіль (RGB або CMYK), роздільну здатність зображення, формат та масштабування для конкретного матеріалу, особливості фарбувальних пігментів та їх взаємодію з матеріалом. Навіть найдрібніші деталі можуть втратити чіткість без належної підготовки файлу, тому підготовка макету вважається критичною частиною робочого процесу.

Процес створення макету починається із визначення розмірів і формату виробу та врахування технічних обмежень обладнання для сублімації. Наступним етапом є оптимізація зображення: корекція кольору, контрасту та насиченості, вибір правильного колірного профілю, щоб кінцевий результат максимально відповідав дизайнерській концепції. Далі здійснюється векторизація або ретушування зображень для уникнення пікселізації при збільшенні масштабу. Останнім кроком є тестування макету через пробний друк, що дозволяє внести необхідні корективи до фінальної версії [7].

Сублімаційний друк порівняно з іншими методами має свої переваги та обмеження. Наприклад, офсетний друк забезпечує високу продуктивність у великих тиражах, але обмежений у можливості передавати плавні градієнти та фотореалістичні зображення на тканинах або криволінійних поверхнях. Цифровий струменевий друк більш універсальний, але часто поступається сублімації у яскравості та стійкості кольорів на спеціалізованих матеріалах.

Таким чином, вибір сублімації стає оптимальним для високоякісних дизайнерських виробів невеликими партіями або для персоналізації продуктів [8].

Отже, сублімаційний друк – це не просто метод перенесення зображення на матеріал, а складна інтегрована технологія, що поєднує творчий задум, наукові знання про фізико-хімічні процеси, використання сучасного обладнання та матеріалів. Розуміння усіх етапів технології та правильна підготовка макету є ключовими факторами успішного застосування сублімації. Тільки поєднання художнього підходу, технологічного знання та практичної підготовки забезпечує отримання яскравих, детальних, довговічних та естетично привабливих виробів, що відповідають найвищим стандартам якості та дизайну.

Мета та задачі дослідження

Важливим критерієм конкурентоспроможності продукції цифрового друку є стабільна якість відбитків. Як було висвітлено у попередньому розділі, одним із прогресивних методів перенесення зображення на різні носії є сублімаційний спосіб друку, який забезпечує високий рівень деталізації, насиченість кольорів та стійкість зображення до зовнішніх впливів. Однак якісна оцінка таких відбитків потребує не лише візуальної експертизи, а й кількісного аналізу на основі фізико-оптичних параметрів. Для цього доцільно використовувати комплексний показник якості, що дозволяє врахувати взаємозв'язок між кількома характеристиками відбитка.

Сублімаційний друк базується на перенесенні барвника з проміжного носія (сублімаційного паперу) на полімерне покриття матеріалу під дією температури (180-220 °C) та тиску. Під час цього процесу твердий барвник переходить у газоподібний стан, проникає в полімерну структуру й закріплюється на молекулярному рівні [10].

Сублімаційний друк характеризується подвійним передаванням інформації через проміжний носій на основний задруковуваний матеріал. Проміжне зображення формується на трансферному папері спеціальним сублімаційним чорнилом на основі барвників, що сублімуються при нагріванні. Рекомендується використовувати принтер зі струменевою технологією друку, оскільки лазерний спосіб друку передбачає термічну обробку відбитку, а це не сумісно з сублімаційними чорнилами. При цьому модель струменевого принтера обов'язково мусить бути з п'єзоелектричною технологією подачі краплі чорнила, оскільки термічна технологія не дозволить створити бульбашку фарби, а просто випарує барвник ще до перенесення на термотрансферний папір.

Для цієї технології придатні струменеві принтери, які або спеціально призначені для сублімаційного друку, або ті, що легко конвертується для нього (зміна чорнил, можливо, зміна профілів). Колірна модель принтера повинна відповідати СМΥК-системі кольорів (або більше кольорів за необхідності), а також забезпечувати високу роздільну здатність для чіткості зображення.

Після стабілізації та сушіння відбитка, щоб уникнути деформації зображення здійснюють перенесення зображення безпосередньо на виріб з використанням термопресу або каландра. Зображення з паперу переходить у газоподібну фазу та проникає у волокна поліестеру або полімерне покриття. Завершальна операція технологічного процесу – охолодження: виріб охолоджується, фарба стабілізується у структурі матеріалу [6].

Основними факторами, що впливають на якість відбитка, отриманого сублімаційним способом друку згідно внутрішніх технологічних регламентів підприємств, поки немає чітких міжнародних чи українських норм, є: температура та тривалість термоперенесення; тиск у пресі; тип та товщина полімерного покриття; склад сублімаційного чорнила; колірний профіль та точність калібрування пристроїв. Кожен технологічний процес потребує проведення контролювання якості. Відомо, що за наявності у технологічному ланцюзі контрольних точок, вирізняють вхідний контроль, поопераційний та приймальний [9]. Вхідному контролюванню у поліграфічному технологічному процесі підлягають витратні матеріали та зміст підготованої до відтворення та тиражування інформації. Поопераційний та приймальний види контролю полягають в оцінюванні якісних показників півфабрикатів та готового виробу. Важливо визначитися з фіксуванням контрольних точок у технологічному процесі і, головне, з переліком показників якості, зокрема готового продукту.

Сублімаційний спосіб друку відноситься до цифрових і на жаль поки не регламентується окремим стандартом, на відміну від класичних способів друку – офсетного, флексографічного та інших [2, 3]. Отже, головною перешкодою на етапі оцінювання відбитків є відсутність спеціалізованого стандарту для сублімації. Більшість стандартів охоплюють цифровий друк загалом або зображення на папері чи плівках, але не враховують всі специфічні умови сублімаційного процесу (тепло, адгезія до полімерів, термостійкість, стирання, зношення тощо). Не всі стандарти встановлюють граничні значення, багато з них лише визначають методики вимірювань або умови випробувань (без критеріїв прийнятності) [4].

Окремого ISO-стандарту тільки для сублімаційного друку (зокрема всіх аспектів якості: колірний контраст, адгезія, стійкість до стирання та ін.) наразі нема. Багато положень охоплюються стандартами, які стосуються матеріалів зображення, стабільності, зберігання, колориметрії та цифрового друку. Зокрема деякі нормативні документи прямо чи опосередковано регламентують якісні показники та методики вимірювання властивостей відбитків у сфері сублімаційного й інших цифрових видів друку:

– ISO 18930:2011 Imaging materials – Pictorial colour reflection prints – Methods for evaluating image stability under outdoor conditions – включає технологію thermal dye / dye sublimation як один із видів цифрового друку – може застосовуватись для оцінки стабільності кольору сублімаційних відбитків, методи оцінки змін кольору при старінні (вплив світла, клімату);

– ISO 18920:2011 Imaging materials – Reflection prints – Storage practices – встановлює, як зберігати сублімаційні відбитки чи інші зображення на матеріальних носіях, щоб мінімізувати втрати якості, умови зберігання, контроль вологості, температури, захист від світла, рекомендації з обробки матеріалу;

– ISO 18909:2022 Photography – Processed photographic colour films and paper prints – Methods for measuring image stability – тестування стабільності кольору фотографічних зображень під дією світла або за умови темного зберігання. Незважаючи на фокус на фото, стандарт описує методики, які можна адаптувати до сублімаційних зображень, адже охоплює технології, схожі до сублімації;

– ISO/TC 130 – серія стандартів 12647 поліграфії та цифрового друку для графічного виробництва Опрацювання, контроль якості, параметри кольорового друку, допуски, які можна адаптувати і для відбитків, отриманих сублімацією.

AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists) – організація, яка розробляє методики для текстильної хімії та кольоровідтворення на тканинах. Їхні стандарти часто використовуються в лабораторіях для оцінки кольоростійкості тканин, стійкості кольору до прання тощо.

Стандарт ISO 13655-2017 Graphic technology – Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images встановлює регламент вимірювань для цифрового друку – наприклад, (спектральні вимірювання для графіки) належать до категорії стандартів, що встановлюють, як вимірювати, але не встановлює конкретні порогові значення цього показника для сублімації.

За умови застосування інших стандартів для цифрового друку (зокрема, ISO 12647-7 чи ISO 12647-8) [4, 5] у процесі оцінювання якісних показників сублімаційних відбитків існує необхідність адаптації процедури під сублімаційний спосіб друку, наприклад, для тканини чи пластику з полімерними покриттями. Але такий підхід не є достатньо обґрунтованим, тому існує необхідність проведення більш широкого аналізу показників якості відбитків, отриманих методом сублімації. Ця технологія сьогодні активно експлуатується, тому для забезпечення очікуваного рівня якості відбитків необхідно регламентувати показники якості цього виду друку та нормувати умови вимірювання їх чисельних значень. На основі отриманих даних можна розробляти технологічні інструкції з оцінювання якості та рекомендації щодо отримання відбитків задовільної якості.

З огляду на викладене вище можна сформулювати наступні важливі завдання даного дослідження:

– сформулювати чіткий перелік важливих простих показників якості відбитків, отриманих сублімаційним способом друку;

– на отриманому відбитку проаналізувати головні репрографічні показники якості зображення;

– визначити вплив технологічних факторів на репрографічні характеристики відбитків;

– провести порівняльний аналіз відбитків, отриманих сублімаційним та іншими цифровими способами друку.

Основна частина

Для визначення репрографічних характеристик відбитків, отриманих сублімаційним способом друку необхідно згідно сформульованих вище завдань визначитися з конкретними умовами їх вирішення.

У першу чергу сформулюємо перелік оцінюваних показників якості відбитків та визначимося з тест-об'єктами для їх вимірювання та оцінювання.

Для цифрового друку у літературних джерелах різні автори пропонують визначати різний перелік показників [1, 6, 8]: оптична щільність фону, рівномірність друку, градаційне передавання, колірне охоплення друку та ін. Але викладені методики переважно не охоплюють увесь діапазон репрографічних показників саме способу друку, що розглядається у межах цієї роботи.

Сублімаційний спосіб друку (термосублімаційний друк) застосовується переважно для перенесення зображення на синтетичні тканини (поліестер), кераміку, металеві пластини з полімерним покриттям тощо. Якість цього методу оцінюють за низкою показників.

1. Яскравість та насиченість кольорів.
2. Стійкість до зовнішніх впливів.
3. Роздільна здатність друку.
4. Рівномірність фарбування.
5. Глибина проникнення барвника.
6. Стійкість до багаторазового використання.
7. Екологічність та безпечність.
8. Глянцевий чи матовий ефект.

Цей розширений перелік показників якості містить частину характеристик, що не залежать від препрес-підготовки інформаційного змісту, тому у межах даного дослідження розглядатися не будуть. Це, зокрема, глянець, екологічність, стійкість до стирання, глибина проникнення барвника, стійкість до зовнішніх впливів.

Перед безпосередньо оцінюванням якісних показників необхідно визначитися з їх номенклатурою не лише на підставі літературних джерел, але і за інформацією від практикуючих фахівців цієї сфери. Основне завдання під час виборів членів експертної групи полягає у залученні фахівців галузі, здатних максимально точно вирішити поставлене завдання. Підбір 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. З урахуванням перелічених завдань та відповідно до рекомендацій було визначено п'ять експертів з підприємств: препрес-інженер, технолог, дизайнери, начальник відділу реклами. 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 сформулювала наступну номенклатуру показників для оцінки якості відбитків, отриманих сублімаційним способом друку: контраст друку, кольорове охоплення, колірний контраст, рівномірність друку, лінійність друку (відтворення тональностей).

Таким чином для проведення комплексного оцінювання якості відтворення інформації пропонується визначити наступні групи показників: кольоровідтворення, відтворення градаційного змісту, відтворення дрібних деталей зображення, відтворення текстової інформації.

Повний перелік показників якості сублімаційних відбитків можна об'єднати у декілька груп, кожна з яких стосується окремих етапів технологічного процесу та вимагає окремих методологічних підходів до оцінювання.

Отже, перелік простих показників якості відтворення інформаційного змісту зображення на відбитку наступний:

- оптична густина полів зі 100%-вою заливкою основних кольорів (голубого, жовтого та пурпурного) та їх попарного накладання (синій, зелений, червоний), а також чорного кольору;
- відтворення оптичної густини по усьому діапазону яскравості (100%-10%);
- рівномірність відтворення градієнту (відсутність полосіння);
- координати колірності чистих кольорів та їх подвійного накладання;
- охоплення відтворюваних кольорів;
- точність відтворення шрифтових знаків;
- графічна точність (за відтворенням тонких штрихів – ширина окремих штрихових елементів).

Для оцінювання такого переліку показників тестове зображення повинно містити наступні тест-об'єкти:

- поля із 100% заливкою фарбою голубого, пурпурного, жовтого, червоного, синього, зеленого та чорного кольорів;
- градієнтні смуги основних кольорів, їх подвійного накладання та чорного кольору;
- ступінчасті шкали основних кольорів зі зміною тональності у діапазоні 100-10% тону;
- поле з тонкими штрихами;
- текстове поле з літерами різного кеглю, відтворене різними кольорами на білому фоні та білі літери на кольоровому фоні.

Перелічені тест-об'єкти можна створити самостійно у графічних редакторах. Але краще скористатися готовим тестовими зображеннями, що містять усі перелічені необхідні для проведення дослідження тест-об'єкти та поширюються безкоштовно у мережі. Таким тестовим зображенням є Print testing tools, створений спеціально для тестування струменевих принтерів провідних виробників даного класу техніки та перевірки якості паперів для друку (рис. 1).

Epson SureColor SC-F500 спеціальними сублімаційними чорнилами Mimaki sb614 на папері для термопереносу Epson DS Transfer General Purpose.

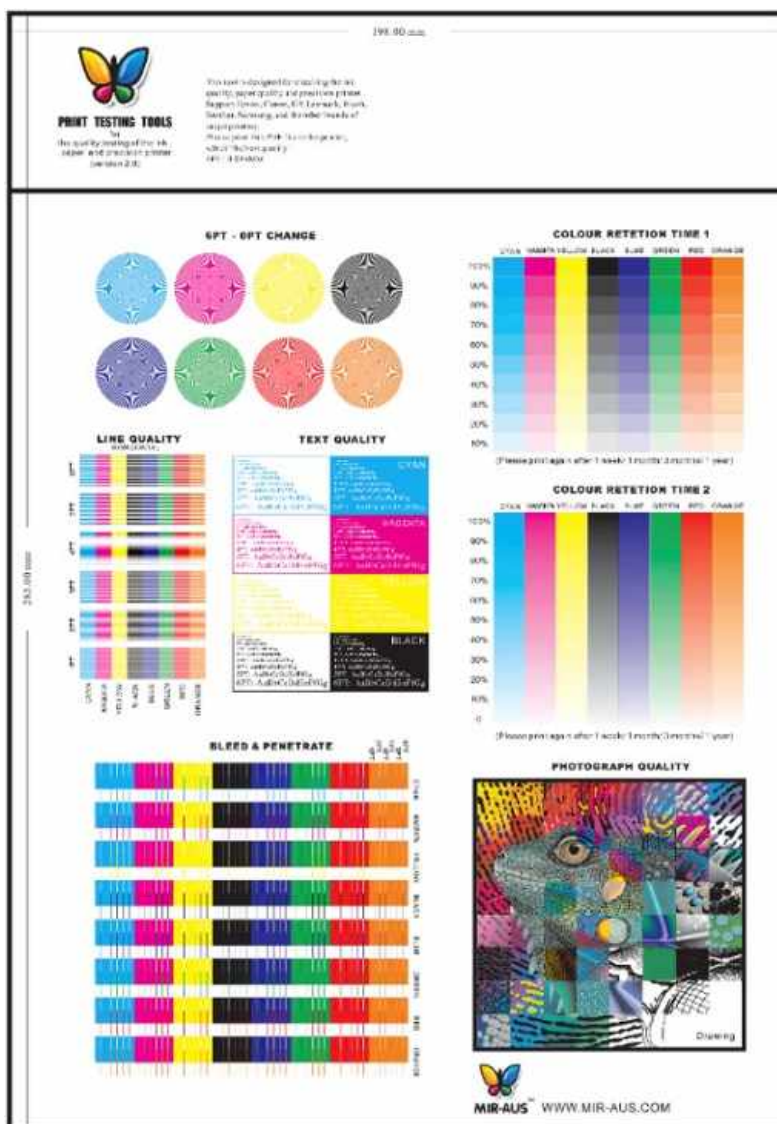


Рисунок 1 – Тестове зображення Print testing tools для перевірки якості струменевого друку

З метою забезпечення максимальної точності кольоровідтворення важливо встановити профайли конвертування між адитивним та субтрактивним колірними просторами з урахуванням задруковуваної основи та типу конкретного чорнила. Управління кольором при друкуванні здійснюється через програмне забезпечення принтера Epson SureColor SC-F500. Використання некоректних параметрів може призвести до кольорових спотворень або дефектів на готовому виробі. Тому було обрано спеціальний ICC-профіль під чорнила Mimaki SB614, які використані для друку.

Для проведення дослідження згідно сформульованих вище завдань було отримано відбиток тестового зображення на пластиковій заготовці для виготовлення пазлів, щоб з площинного зображення зручно оцінювати контрольовані показники. Макет було віддруковано на сублімаційному принтері.

На рис. 2-3. наведено діалогові вікна у графічному редакторі Adobe Photoshop та драйвері принтера, що демонструють заходи управління кольором, інтегровані у технологічний процес.

Результати досліджень

Перший показник, який було визначено, – точність кольоровідтворення. Це важливий показник якості, оскільки око людини доволі чутливе саме до втрат інформаційного змісту зображення саме у плані кольоровідтворення.

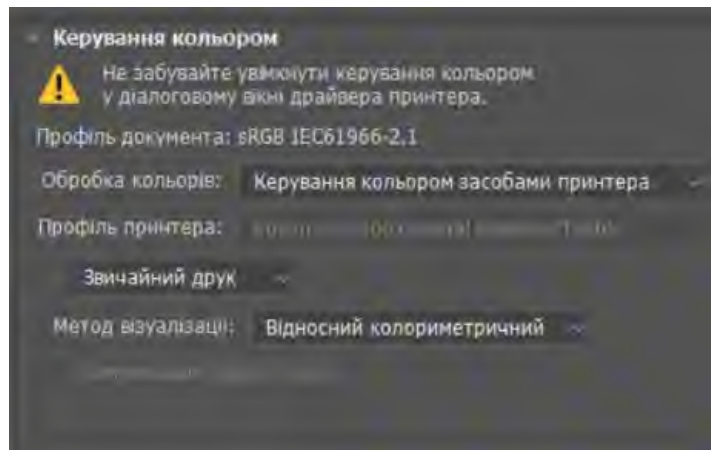


Рисунок 3 – Діалогове вікно управління кольором в Adobe Photoshop

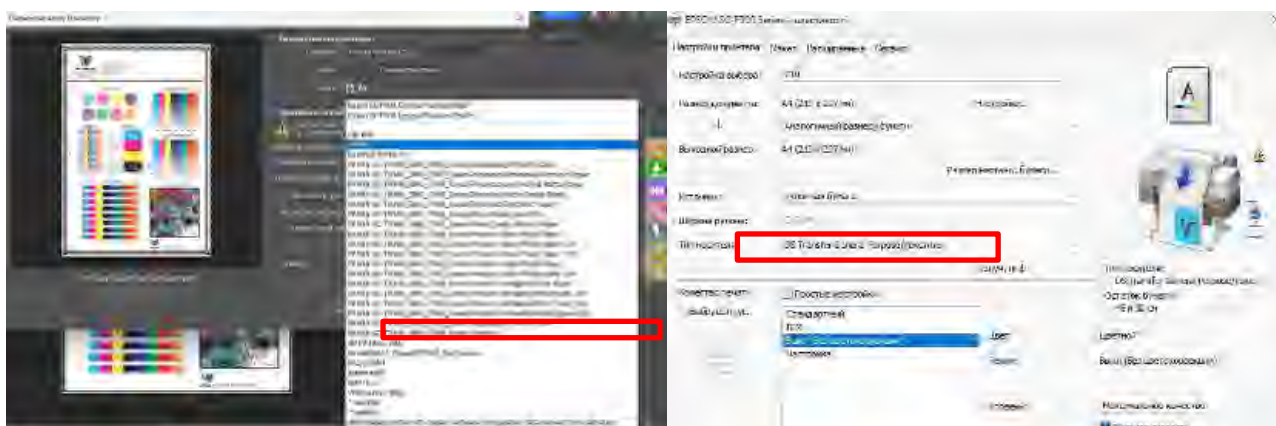


Рисунок 3 – Діалогове вікно вибору ICC-профілю відповідно до марки чорнила та паперу

На відбитку спектрофотометром виміряли координати колірності у колірному просторі Lab на ділянках зі 100%-им покриттям фарбою жовтого, пурпурного, голубого, червоного, зеленого та синього кольорів. За отриманими даними було побудовано фігуру колірного охоплення відбитку та оригінала (рис. 4).

Також для порівняння на графіку зображено колірне охоплення відбитка, отриманого струменевим способом друку та офсетного друку згідно ISO 12647-2:2013. Отримані результати показали, що колірне охоплення відбитка, отриманого сублімаційним способом друку, є дуже близьким до колірного охоплення оригінального зображення. Також високу точність кольоровідтворення підтверджує величина колірного контрасту, який для усіх кольорів на відбитку є меншим 5 (табл. 1). Для прикладу, на відбитках, отриманих струменевим способом цей показник значно вищий, що вказує на нижчу точність відтворення кольорів.

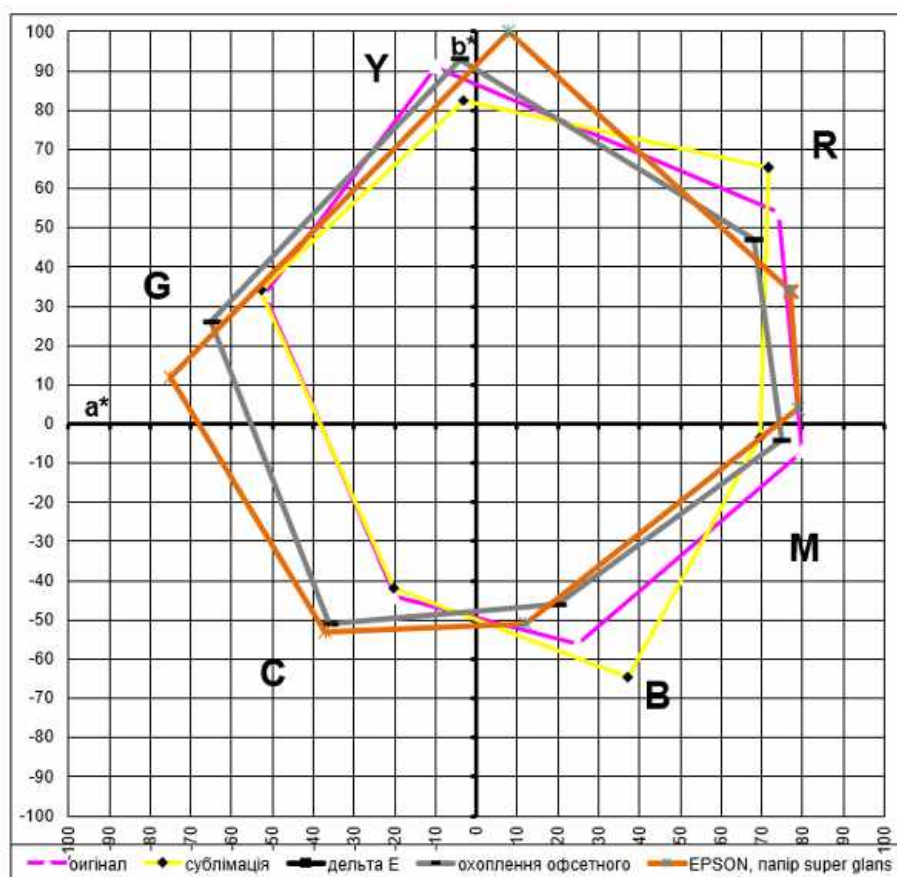


Рисунок 4 – Колірне охоплення відбитка

Таблиця 1 – Величина колірного контрасту для відбитків, отриманих різними цифровими способами друку

Колірний контраст	R	Y	G	C	B	M
ΔE сублімаційний друк	4,9	3,9	0,4	0,6	4,5	2,7
ΔE струменевий друк	9,2	9,7	12,4	6,8	6,6	4,2

Можна зробити висновок на підставі отриманих результатів, що використання профайлу конвертування даних у СМУК-простір, зробленого спеціально під використання чорнила та задруковувану основу, забезпечило високу точність відтворення кольорів. Тому, не дивлячись на складність та багатостадійність процесу сублімаційного друку, він може відтворювати колірний зміст оригінала без спотворень при використанні точних профайлів конвертування колірного змісту.

У цифровому друці баланс по сірому або нейтральність друку є одним із ключових показників, що визначає точність та стабільність кольоропередачі. Досягнення балансу по сірому – це основа якісного кольорового відбитка, незалежно від технології (лазерний, струменевий, широкоформатний друк чи цифрові друкарські машини).

Ахроматичні відтінки у цифровому друці – це індикатор того, наскільки система правильно дозує кольорові канали СМУ або СМУК. Якщо баланс порушений – сірий відтворюється з синім, зеленим, червоним чи іншим відтінком. Це відразу кидається в очі, особливо на портретах, фоні та деталях.

У фотографії та поліграфії саме нейтральні тони визначають загальну гармонію та «спокій» картини. Порушений баланс по сірому робить зображення брудним, «заваленим» у певний відтінок, менш контрастним. Баланс по сірому – це не другорядний технічний параметр, а фундамент цифрового друку.

Для оцінки балансу сірого на тестовому зображенні виміряно координати кольору полів сірої шкали, а також координати кольору цієї ж шкали на відбитку.

Як видно із зображених на рис. 5 залежностей нейтральність друку на оцінюваному відбитку на високому рівні. Криві, що демонструють вміст основних кольорів синтезу, розташовані на координатній площині близько одна до одної. Це свідчить про те, що нейтральні відтінки сформовані рівним кількостями основних кольорів, що і є основною умовою нейтральності відтінків. Отже, кольоровідтворення на досліджуваному відбитку є відмінним.

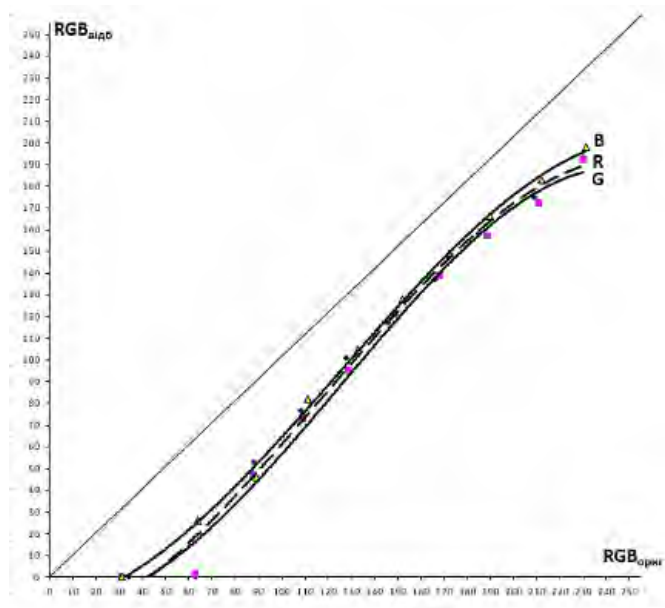


Рисунок 5 – Залежність вмісту одноколірних складових по ахроматичній шкалі

Наступна група важливих показників якості – це градаційне відтворення змісту зображення, тобто кількісні його характеристики. Згідно викладеної вище методики на отриманому відбитку у два етапи оцінюємо відтворення градаційного змісту зображення. Визначаємо відповідно два показники – характеристику та ступінь точності відтворення градації в усьому тоновому діапазоні та максимальну оптичну густину, досягну на відбитку при стовідсотковому заповненні фарбою. З метою порівняння також наведено градаційну характеристику відбитка, отриманого струменевим принтером Epson на високоякісному глянцевого папері для фотодруку.

По отриманій (рис. 6) залежності можна зробити висновок, що відбиток сублімаційним способом друку характеризується ширшим діапазоном оптичних густин, ніж відбиток, отриманий струменевим способом друку. Високі яскравості відображено з пониженим контрастом, діапазон півтіней – з нормальним, а глибокі тіні – з дуже високим контрастом. Зокрема у діапазоні глибоких тіней спостерігаємо різкий приріст оптичної густини і непропорційне

відтворення деталей яскравості. В цілому відтворення градаційного змісту зображення сублімаційним способом неможна вважати задовільним.

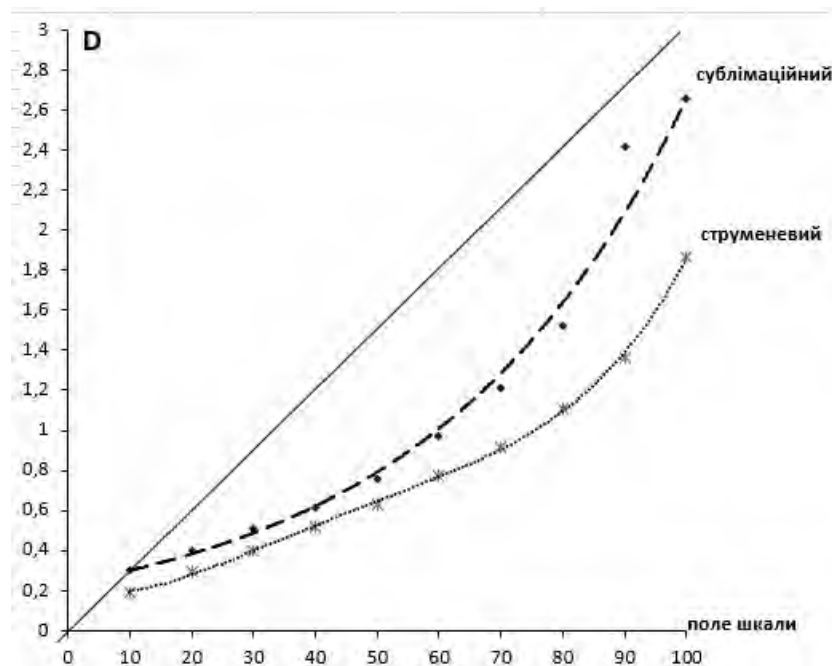


Рисунок 6 – Градаційне передавання на відбитках, отриманих цифровими способами друку

Порівняння оптичних густин по окремих кольорах на відбитках (рис. 7), отриманих сублімаційним та струменевим способами друку, демонструє, що по більшості кольорів сублімаційний друк забезпечує вищу оптичну щільність, ніж струменевий друк на високоякісному фотопaperі. Це перевага сублімації, оскільки забезпечується висока насиченість кольорів.

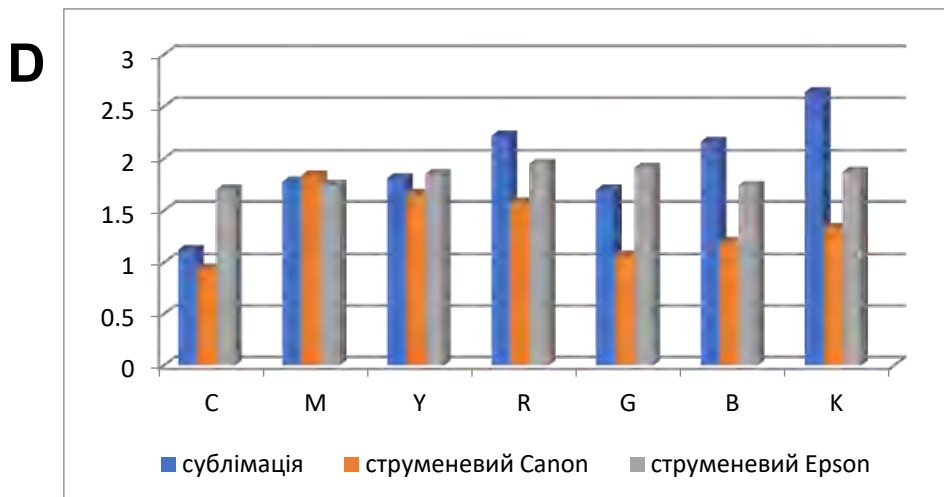


Рисунок 7 – Оптичні густини полів зі 100%-им заповненням фарбою відбитків, отриманих на сублімаційному та струменевому принтерах

У цифровому друці відтворення плавних градієнтів – одна з найтипівіших і водночас найскладніших задач. Найпоширеніший дефект – градієнт, який має бути плавним, перетворюється на серію помітних смуг. Причин для виникнення цього дефекту є багато: обмежена кількість тонових рівнів принтера; неточна лінеаризація та калібрування; нерівномірна подача чорнила (струменеві принтери);

особливості растрування (тип растру, частота, алгоритм згладжування), технологічні обмеження конкретного струменевого друку, яким створюється зображення на проміжковому носіїві – мікросмути через нерівномірне відкладання дроплетів; двонапрямний друк дає «хвилі» у світлих градієнтах.

У сублімаційному друці проблеми з відтворенням градієнтів зустрічаються навіть частіше, ніж у класичному струменевому чи лазерному друці. Це зумовлено специфікою самої технології – перетворенням твердого барвника на газ і його проникненням у задруковувану основу, колір "розтікається" у матеріалі нерівномірно; ступінь проникнення залежить від щільності волокон і температурних коливань. Важливо дати кількісну оцінку цьому недоліку відтворення інформаційного змісту.

У межах цього дослідження прийнято рішення оцінювати плавність градієнту бальним методом, коли найвищу оцінку виставляється у разі повної відсутності недоліків та спотворень. Для оцінювання цього показника було зроблено фотографії відповідних ділянок відбитка у дуже крупному масштабі (рис. 8). З цих фото чітко видно, що по чорному, зеленому, синьому та голубому кольорах градієнт відтворюється зі смугами у діапазоні високої насиченості кольору. Тому цей показник було оцінено у балах на 3 бали, тобто невисока якість відтворення градієнта - наявне суттєве полосіння.



Рисунок 8 – Макрофотографія ділянки відбитка з градієнтом

Наступний важливий показник для оцінювання відбитку – графічна точність, що вимірюється за відтворенням розмірів дрібних деталей. Даний показник відноситься до категорії структурних характеристик зображення. По отриманих цифрових мікрофотографіях ділянок відбитків з відповідними штриховими елементами проводимо заміри ширини штрихів різної товщини (рис. 9).

Тест-об'єкт для контролю відтворення на зображенні дрібних деталей складений з штрихів різної товщини та з різним кольором та розташуванням: на білому фоні та на кольоровому, а також білі штрихи на кольоровому фоні. Навіть при первинному огляді макрофотографії видно, ще не уся група тестових штрихів відтворюється задовільно. Так, на чорному фоні зовсім не відтворені білі та кольорові штрихи.



Рисунок 9 – Макрофотографія ділянки відбитка з дрібними штриховими елементами

Для більш об'єктивного аналізу було проведено вимірювання дрібних штрихів з використанням цифрового мікроскопа. Отримані результати представлено рис. 10.

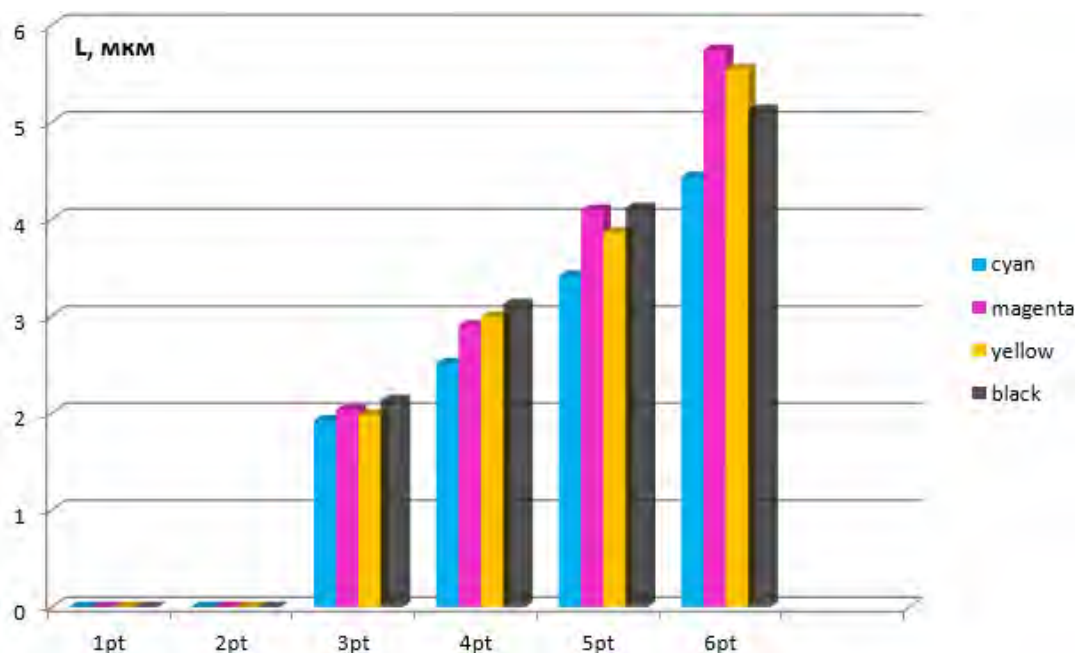


Рисунок 10 – Діаграма розподілу розмірів відтворюваних дрібних штрихових елементів

З представлених даних можна зробити висновки, що сублімаційний спосіб друку не забезпечує високої точності відтворення дрібних деталей зображення. Зокрема найдрібніші штрихи 1 та 2 pt не відтворилися зовсім, а більш крупні елементи відтворені з суттєвим спотворенням товщини – зменшеними у розмірах. Ще одна характерна особливість – різними фарбами дрібні елементи відтворені з різним розміром.

Ще один показник, що характеризує повноту відтворення інформаційного змісту – це точність відтворення шрифтових елементів, зокрема дрібним кеглем. Представлені на рис. 11. макрофотографії демонструють ділянки тестового відбитка, отриманого сублімаційним способом друку, що містять текстові поля, віддруковані окремо чотирма фарбами субтрактивного синтезу: літерні знаки кеглем від 1 до 6 пунктів кольорові на білому фоні та білі на кольоровому.

Оцінювання точності відтворення шрифту здійснюємо бальним методом по шкалі від 1 до 5 балів, де відповідно максимальним балом оцінюється

найвища точність відтворення елементів літерного знаку: чітко відтворено основний та з'єднувальний штрихи, засічка чітко візуалізується, знак читабельний при заданому масштабі відтворення.

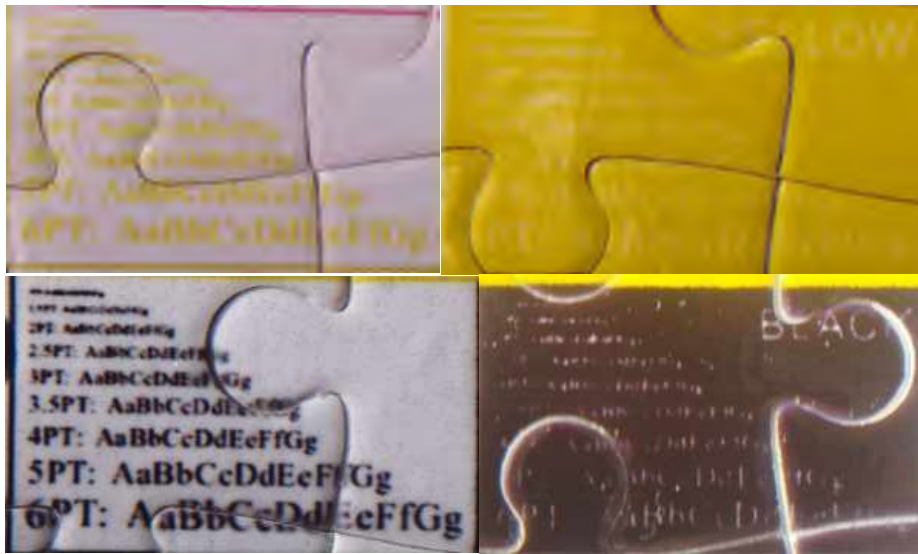


Рисунок 11 – Приклад текстових полів

Як видно з макрофотографій відбитка, кольорові літери на білому фоні відтворені з вищою чіткістю, натомість білі літери на кольоровому фоні усіма фарбами відтворені значно гірше, на жовтому та чорному фоні літери практично не візуалізовані. На усіх тестових полях шрифт візуалізується лише від розміру 2,5-3pt, дрібніші літери надто складно розрізнити чітко.

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що відтворення текстових елементів сублімаційним способом друку можна оцінити у 4 бали. Оскільки цим способом друку переважно декорують сувенірну продукцію, тому на практиці не виникатиме необхідність читання великих об'ємів тексту, оформленого малим кеглем.

Висновки

Результатом проведеного дослідження є систематизація показників точності відтворення інформаційного змісту зображення на відбитках сублімаційним способом друку. Запропоновані методики визначення цих показників.

Узагальнююче усі отримані дані, можна однозначно стверджувати, що сублімаційним способом друку вдається досягнути високої точності кольоровідтворення, балансу кольорів, а градаційне передавання є дещо гіршим, оскільки втрачається інформаційний зміст зображення у глибоких тінях. Щодо відтворення дрібних деталей (штрихових елементів та шрифтових знаків дрібним кеглем) та плавності градієнту, то сублімаційний друк має певні технологічні обмеження.

Список літератури.

1. Dye Sublimation Printing Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025-2030). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dye-sublimation-printing-market>.
2. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 1: Parameters and measurement methods. (ISO 12647-1:2013). <https://www.iso.org/standard/57816.html>.
3. International Organization for Standardization. (2013). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes. (ISO 12647-2:2013). <https://www.iso.org/standard/57833.html>.
4. International Organization for Standardization. (2016). Graphic technology – Process control for the production of halftone colour separations, proof and production prints – Part 7: Proofing processes working directly from digital data. (ISO 12647-7:2016). <https://www.iso.org/standard/66426.html>.
5. International Organization for Standardization. (2012). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 8: Validation print processes working directly from digital data. (ISO 12647-8:2012). <https://www.iso.org/standard/53436.html>.
6. Toshikj, E., & Prangoski, B. (2023). Textile Sublimation Printing: GLCM Print Mottle Assessment of Black Printed Fabric. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 29(3), 375-381.
7. Бондар, І.О., & Хорошевський, О.І. (2012). Виробнича інформаційна система поліграфічного виробництва: навчальний посібник. Х.: Вид. ХНЕУ.
8. Репета, В.Б., Гаврилишин, О.Б., Дуфанець, М.Є., & Вархоляк, В.І. (2025). Встановлення оптимального режиму термоперенесення у процесі сублімаційного друку на тканинах. *Поліграфія і видавнича справа*, 1(89), 11-20.
9. 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).
10. Кульбич, І.К., & Лотоцька, О.І. (2013). Оцінка якості відбитків при цифровому друці. *Технологія і техніка друкарства*, (4), 25-39.

ТРАНСФОРМАЦІЯ КОЛЬОРІВ У СИСТЕМАХ ІЗ РОЗШИРЕНИМ КОЛІРНИМ ОХОПЛЕННЯМ

Семенів В.В.

к.т.н., доцент, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-6764-1820

Занько Н.В.

к.т.н., доцент, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-4445-3576

Ковальський Б.М.

д.т.н., професор, кафедра Мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-9088-1144

Семенів М.Р.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0798-1916

***Анотація.** У роботі досліджено трансформацію кольорів у системах шести- та семифарбового друку. Проаналізовано ICC-профілі FOGRA51, FOGRA55 і PANTONE Hexachrome за колірним охопленням та використанням фарб. За допомогою розробленого програмного забезпечення оцінено розподіл фарбових каналів у тестових зображеннях. Отримані результати підтверджують доцільність багатофарбового друку для розширення гами без істотного збільшення витрат фарб.*

***Ключові слова:** розширене колірне охоплення, кольороподіл, багатофарбовий друк, ICC-профіль, відтворення кольору.*

Вступ

Одним із ключових завдань сучасних поліграфічних технологій є забезпечення точного, стабільного й візуально переконливого відтворення кольорових зображень. У традиційному друкарському процесі основою кольоровідтворення залишається чотирифарбова модель CMYK – Cyan, Magenta, Yellow, Black. Вона є технологічно відпрацьованою, економічно доцільною та достатньою для більшості видів друкованої продукції. Водночас її можливості обмежені, оскільки колірне охоплення CMYK є вужчим порівняно з колірним простором цифрових дисплеїв і реальним діапазоном кольорів, які сприймає людина.

Ця проблема особливо помітна під час відтворення насичених помаранчевих, зелених, фіолетових і синьо-фіолетових відтінків, а також корпоративних кольорів

брендів. У таких випадках традиційне змішування фарб СМΥК не завжди забезпечує потрібну чистоту, щільність і рівномірність відтворення кольорів. Саме тому в поліграфічній практиці широко застосовують сумішеві фарби (spot colors), які дають змогу точніше відтворювати окремі кольори, зокрема фірмові кольори логотипів, пакування та рекламної продукції.

Найпоширенішою системою специфікації сумішевих кольорів залишається Pantone Matching System. Компанія Pantone оновила бібліотеки Formula Guide, додавши 224 нові кольори; загальна кількість зразків у цьому довіднику становить 2390 spot colors для крейдованого й некрейдованого паперу [1]. Це розширення орієнтоване на сучасні потреби ринку, зокрема графічного дизайну, брендингу та пакування.

Важливим викликом для галузі стала зміна політики Adobe щодо нативної підтримки бібліотек Pantone у програмах Creative Cloud. Починаючи з оновлень після серпня 2022 року, попередньо встановлені Pantone Color Books поступово вилучалися з Illustrator, InDesign і Photoshop; з релізом жовтня 2023 року було вилучено останні вбудовані Pantone-бібліотеки [2]. Це актуалізувало потребу в точніших і менш залежних від конкретного програмного середовища форматах цифрової комунікації кольору.

У цьому контексті особливого значення набуває формат CxF/X-4 (Color Exchange Format), унормований стандартом ISO 17972-4:2018. На відміну від передавання лише колориметричних координат, CxF/X-4 дає змогу описувати сумішеві фарби через спектральні вимірювальні дані з урахуванням конкретного задрукованого матеріалу. Це підвищує надійність відтворення spot colors у процесах кольоропроби, друку та міжпрограмною комунікації кольору [3, 4].

Сучасна зацікавленість у багатофарбовому друці (Multi-primary Printing, Expanded Color Gamut / Extended Color Gamut Printing) зумовлена потребою розширення колірної охоплення друку та оптимізації виробничих витрат без суттєвої втрати якості кольоровідтворення. Замість використання індивідуальних сумішевих фарб для кожного окремого замовлення дедалі частіше застосовується фіксований набір фарб, зокрема СМΥК + OGV (Orange, Green, Violet). Такий підхід дає змогу зменшити кількість змивань друкарської машини, скоротити час переналагодження, оптимізувати використання фарб і знизити обсяг виробничих відходів [5].

У промислових ECG-системах ефективність цього підходу залежить від рівня автоматизації, стабільності друкарського процесу, характеристик фарб і задрукованого матеріалу. Зокрема, у системах із автоматизованим контролем суміщення виробники заявляють можливість скорочення часу приладки до 50%, однак цей показник слід розглядати як результат для конкретних технологічних умов, а не як універсальну характеристику ECG-друку [6].

Важливим етапом стандартизації багатофарбового друку стало розроблення FOGRA55 – семиколірної обмінної простору та характеристик даних для систем СМΥКОВ. FOGRA55 призначена для підготовки даних, профілювання, контролю та забезпечення стабільної колірної

комунікації в процесах друку з розширеним колірним охопленням. Водночас можливість відтворення кольорів бібліотеки Pantone Solid Coated у межах ECG залежить від конкретного набору фарб, паперу, технології друку, алгоритму кольороподілу та прийнятого допуску ΔE_{00} [7].

Поряд із традиційними ICC-профілями в сучасних системах керування кольором дедалі ширше застосовуються спектральні та предиктивні методи моделювання. Зокрема, GMG OpenColor використовує спектральну модель розрахунку для прогнозування взаємодії друкарського процесу, матеріалу та накладання фарб [8], а Esko Equinox забезпечує передбачуване перетворення кольорів для ECG-друку [9]. Такі підходи не замінюють ICC-профілювання повністю, а доповнюють його, підвищуючи точність кольороподілу та стабільність відтворення кольорів у пакувальній і комерційній поліграфії.

Мета та задачі дослідження

У попередніх дослідженнях нами було розроблено технологію кольороподілу, що базується на опрацюванні кольорів оригіналу в колірному просторі ICaS, та випробувано її для відтворення кольорів у семифарбовому друці [10, 11]. Розроблене програмне забезпечення забезпечує не лише кольороподіл зображень на чотири, шість і сім фарб, а й аналіз підготовлених до багатофарбового друку зображень за показниками використання друкарських фарб. Це створює підґрунтя для подальшого дослідження ефективності шести- та семифарбових систем друку з погляду розширення колірного охоплення й оптимізації витрат фарб.

Метою роботи є дослідження колірного охоплення шестифарбового та семифарбового друку, а також оцінювання використання друкарських фарб під час відтворення тестових оригіналів у системах багатофарбового друку.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання: здійснити пошук і аналіз доступних ICC-профілів для багатофарбового друку; провести перетворення кольорів тестових оригіналів з моделі RGB у шестифарбовий друк CMYK+RG та семифарбовий друк CMYK+OGV; виконати кількісну оцінку кольороподілених зображень за значеннями відносної площі растрових елементів; побудувати гістограми розподілу використання друкарських фарб для відтворення тестових оригіналів у досліджуваних умовах друку; на основі отриманих результатів сформулювати висновки щодо ефективності шести- та семифарбового друку.

Методика виконання досліджень

У дослідженні для порівняння колірного охоплення багатофарбового друку було використано ICC-профілі для чотири-, шести- та семифарбових умов друку. Як базовий профіль традиційного офсетного друку використано FOGRA51, а для семифарбового друку – FOGRA55, розроблений у межах

дослідницького проекту Fogra “Professional colour communication in multiprimary printing”. Цей проєкт був спрямований на створення передумов для передбачуваного промислового багатофарбового друку, зокрема на підготовку даних, колірну характеристизацію, тестові форми та методи оцінювання якості багатофарбового кольороподілу [7].

FOGRA55 є семиколірним обмінним простором CMYK+OGV, у якому базові фарби CMYK відповідають умовам FOGRA51, а додаткові фарби Orange, Green, Violet лінеаризовані за методом SCTV. Для цього простору Fogra подає такі M1-орієнтовані координати додаткових фарб у CIELAB: Orange – 65; 58; 88, Green – 60; -75; 0, Violet – 22; 47; -56 [7].

Для аналізу шестифарбового друку використано профіль PANHEXROFJ500, який у межах цієї роботи розглянуто як профіль системи CMYK+RG. Порівняння цих профілів дало змогу оцінити, як зміна кількості друкарських фарб впливає на потенційне колірне охоплення та подальший розподіл фарб під час кольороподілу тестових RGB-оригіналів.

Колірне охоплення досліджуваних профілів було проаналізовано у вебсервісі ChromaChecker за показником Gamut Volume [12]. Цей показник характеризує обсяг колірного простору, який може бути відтворений певним друкарським процесом або профілем. ChromaChecker використовує його як числову метрику для порівняння колірних можливостей різних пристроїв і профілів; водночас наголошується, що на обсяг гами істотно впливає задруковуваний матеріал.

За результатами аналізу в ChromaChecker встановлено, що обсяг колірної гами профілю FOGRA51 становить $398\,802\,\Delta E^3$, профілю FOGRA55 – $501\,626\,\Delta E^3$, а профілю PANHEXROFJ500 – $946\,284\,\Delta E^3$. Порівняно з традиційним CMYK-профілем FOGRA51, семифарбовий профіль FOGRA55 забезпечує збільшення гами приблизно на 25,8 %, тоді як профіль PANHEXROFJ500 демонструє зростання на 137,3 %. Отримані дані підтверджують, що багатофарбовий друк має значно ширші можливості відтворення кольорів порівняно з класичним CMYK-друком. Водночас різниця між профілями шести- та семифарбового друку свідчить, що обсяг гами залежить не лише від кількості фарб, а й від характеристик конкретного профілю, фарб, матеріалу та умов друку.

Таким чином, результати визначення обсягу гами підтверджують доцільність подальшого дослідження шести- та семифарбового друку не лише з позиції розширення колірного охоплення, а й з погляду ефективності використання фарб під час кольороподілу тестових зображень.

Для проведення дослідження було відібрано тестові зображення (рис. 1) із набору roman16 bvdn Reference Images, розробленого Bundesverband Druck und Medien e.V. для візуального оцінювання кольоровідтворення, деталізації та результатів перетворення RGB-даних у CMYK у процесах додрукарської підготовки та друку [13]. Зокрема, використано зображення з домінуванням таких колірних тонів: Yellow – для контролю жовтих та оранжевих відтінків; Red –

для аналізу червоних тонів; Green – для оцінювання зелених відтінків; Blue – для контролю синіх і фіолетових кольорів. Вибір таких зображень зумовлений тим, що зазначені колірні діапазони часто виходять за межі стандартного колірного охоплення чотирифарбового друку СМΥК. Для виявлення таких ділянок у програмі Adobe Photoshop було використано функцію Gamut Warning для стандартних умов друку чотирма фарбами. Ця функція візуально позначає кольори RGB-оригіналу, які не входять до колірного охоплення вибраного СМΥК-профілю.



Рисунок 1 – Тестові зображення

На рисунку 1 ці ділянки позначено сірим кольором. Отримані результати підтверджують доцільність застосування систем багатофарбового друку, зокрема шестифарбової та семифарбової моделей, для розширення можливостей кольоровідтворення.

Підготовку тестових RGB-зображень до друку виконано в програмі Adobe Photoshop за допомогою команди Edit → Convert to Profile (*Редагувати → Перетворити на профіль*). Для перетворення було використано такі цільові ICC-профілі: FOGRA55_beta_TAC300_CL.icc – профіль семифарбового друку СМΥК+OGV; PANHEXROFJ500 – профіль шестифарбового друку СМΥК+RG для цифрової друкарської машини Roland FJ500; PSO Coated v3 – профіль чотирифарбового офсетного друку СМΥК на крейдованому папері.

Після перетворення RGB-зображень у багатоканальний режим було виконано екранне моделювання процесу накладання фарб. Це дало змогу проаналізувати структуру каналів, оцінити участь кожної фарби у формуванні зображення та порівняти особливості кольороподілу для шести- і семифарбового друку.

Під час візуального аналізу каналів зауважено, що після перетворення за профілем PANHEXROFJ500 зображення в багатоканальному режимі є тьманим. Таку особливість можна пояснити специфікою побудови профілю, режимом відображення багатоканальних зображень у Adobe Photoshop, а також відмінностями між цифровим моделюванням кольорів і реальним друкарським процесом.

Натомість для семифарбового друку за профілем FOGRA55 моделювання синтезу кольорів фарбами CMYK+OGV відбувається стабільніше: візуальні зміни порівняно з вихідним зображенням є менш помітними. Це пов'язано з тим, що профіль FOGRA55 містить характеристичні дані для семифарбового друку та призначений для опису умов багатофарбового кольоровідтворення.

Окремо було проаналізовано канали додаткових фарб. Для тестового зображення з домінуванням жовтих та оранжевих відтінків у системі PANHEXROFJ500 активним є додатковий канал Red (рис. 2, а), тоді як у системі FOGRA55 для цього діапазону використовується канал Orange (рис. 2, в). Для зображення з переважанням червоних відтінків також спостерігається використання додаткового каналу Red та Orange відповідно.



Рисунок 2 – Зображення в багатоканальному режимі

Для зображення з домінуванням зелених тонів у двох досліджуваних багатофарбових системах заповненим є канал Green (рис. 2, б, г) як для профілю FOGRA55 так і для PANHEXROFJ500.

Для зображення з переважанням синіх і фіолетових відтінків важливим є використання семифарбового друку з додатковим каналом Violet (рис. 3), що дає змогу точніше відтворювати кольори синьо-фіолетового діапазону. Ці кольори часто є проблемними для стандартного CMYK-друку.

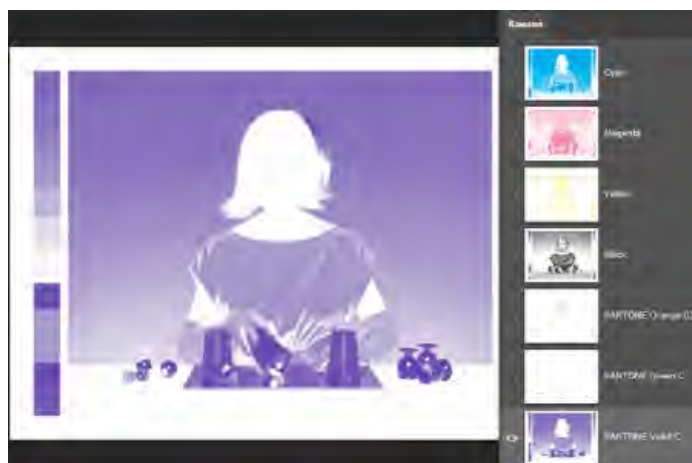


Рисунок 3 – Зображення в багатоканальному режимі FOGRA55
Канал фіолетової фарби – Violet C

Аналогічну процедуру перетворення було застосовано також до фотографічного тестового зображення, щоб порівняти особливості кольороподілу не лише для зображень із домінуванням локального кольорового діапазону, а й для повноколірного фотографічного оригіналу. Його було перетворено з моделі RGB у досліджувані друкарські простори.

Виявлені відмінності між каналами фарб, сформованими за різними ICC-профілями, стали підставою для подальшого кількісного аналізу. Оскільки візуальна оцінка каналів не дає змоги точно визначити частку кожної фарби у відтворенні зображення, наступним етапом дослідження було обчислення середніх значень відносної площі растрових елементів для кожного каналу.

Для цього використано програмне забезпечення ICaS-ColorSynthesis [14], яке дає змогу сканувати канали кольороподіленого зображення та визначати кількісне співвідношення фарб, необхідних для відтворення тестових оригіналів у різних умовах багатофарбового друку.

Для кількісного оцінювання використання фарб було проведено аналіз каналів кольороподілених зображень у програмі ICaS-ColorSynthesis. Для зображень, перетворених у режим CMYK за профілем PSO Coated v3, у списку Color Printing Ink було обрано відповідний набір друкарських фарб. Далі зображення відкривалися, після чого виконувалася команда Colour Separation, яка забезпечує поділ зображення на окремі фарбові канали. Для багатоканальних зображень, підготовлених до шести- та семифарбового друку у програму завантажувалися всі канали одного зображення, отримані після перетворення за відповідним ICC-профілем. Для коректного відображення каналів фарб попередньо потрібно налаштувати кольори фарб та їх попарних накладань (рис. 4).

Після аналізу в папці з вихідними файлами автоматично зберігалися як окремі канали фарб, так і текстові файли з результатами обчислень. Кількісний розподіл фарб відображався також у вигляді гістограм, що дало змогу порівняти середні значення відносної площі растрових елементів для кожної фарби (рис. 5).



Рисунок 4 – Вікно налаштувань кількості фарб та їх колірних характеристик

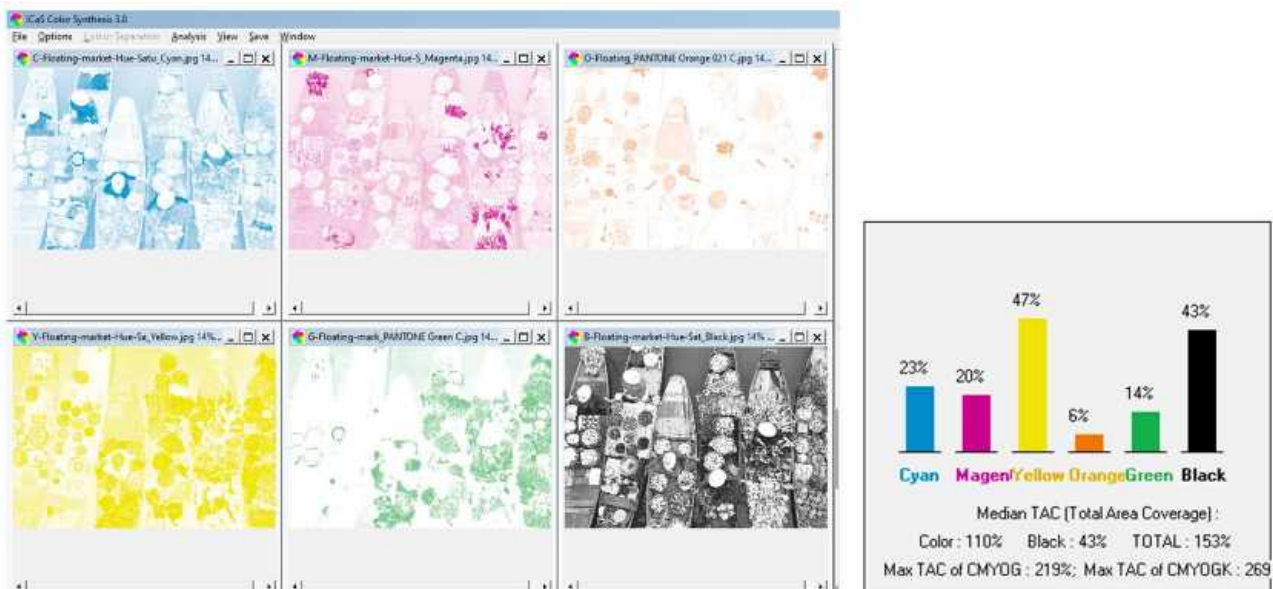


Рисунок 5 – Зображення каналів СМΥΚΟG (зліва) та гістограма розподілу кількості фарб (справа) в програмі ICaS-ColorSynthesi

Результати досліджень

За результатами аналізу встановлено, що використання фарб істотно залежить від типу ICC-профілю, кількості фарб і домінуючого колірного тону тестового зображення. Для фотографічного оригіналу в процесі синтезу кольорів були використані всі канали фарб у системах СМΥΚ, СМΥΚ+RG та СМΥΚ+OGV. При цьому сумарне середнє значення відносної площі растрових елементів становило 193 % для FOGRA51, 192 % для FOGRA55 і лише 76 % для PANHEXROFJ500.

Отримані дані свідчать, що семифарбовий профіль FOGRA55 забезпечує розширення колірного охоплення без збільшення сумарного використання фарб

порівняно зі стандартним CMYK-друком. Натомість профіль PANHEXROFJ500 демонструє значно менші середні значення покриття фарбами. Це можна пояснити не лише меншою участю окремих каналів, а й особливостями самого ICC-профілю, який описує інші технологічні умови друку – цифровий друк на машині Roland FJ500. Тому ці результати слід розглядати з урахуванням відмінностей між офсетним і цифровим друкарськими процесами.

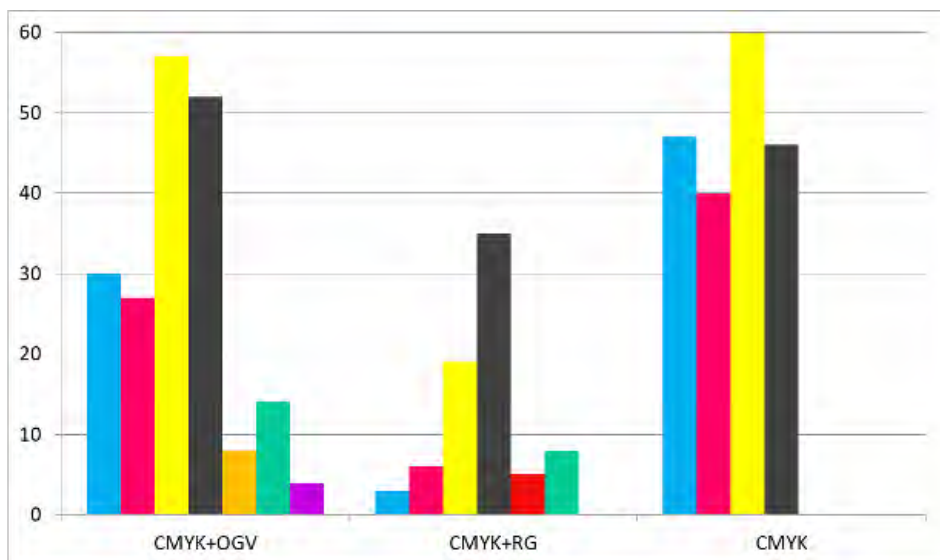


Рисунок 6 – Гістограми розподілу кількості фарб для відтворення зображення для 7, 6 та 4 фарб

Для тестового зображення контролю жовтих та оранжевих відтінків основну роль у всіх профілях відіграє жовта фарба (табл. 1). У профілі FOGRA55 додатково активно використовується канал Orange із середнім значенням 15 %, тоді як у PANHEXROFJ500 для цього колірного діапазону задіяно канал Red із середнім значенням 12 %. Зелена фарба в обох багатофарбових системах практично не використовується, що є закономірним для зображення з домінуванням теплих жовто-оранжевих тонів.

Таблиця 1 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю жовтих та оранжевих відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	3	10	48	10	15	0	1
Hexachrome	0	2	16	7	12	0	–
Fogra51	5	22	55	6	–	–	–

Для зображення контролю червоних відтінків спостерігається активне використання додаткової фарби в обох багатофарбових системах (табл. 2). У профілі FOGRA55 канал Orange має середнє значення 50 %, тоді як у профілі Hexachrome канал Red становить 37 %. Це вказує на те, що в системі CMYK+OGV червоні відтінки значною мірою формуються за участю Orange у поєднанні з Magenta та Yellow. У стандартному CMYK-друці для відтворення червоних тонів використовуються переважно високі значення пурпурної та

жовтої фарб – відповідно 63 % і 61 %, що може підвищувати сумарне фарбове навантаження.

Таблиця 2 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю червоних відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	4	42	15	15	50	0	1
Hexachrome	0	27	4	9	37	0	–
Fogra51	6	63	61	11	–	–	–

Для зображення контролю зелених відтінків ключовим є канал Green (рис. 7). У профілі FOGRA55 його середнє значення становить 42 %, тоді як у PANHEXROFJ500 – 30 %. У профілі FOGRA51, де окремий зелений канал відсутній, зелені відтінки формуються переважно за рахунок поєднання Cyan і Yellow, середні значення яких становлять 52 % і 54 %. Це підтверджує, що додавання зеленої фарби дає змогу зменшити залежність від накладання двох базових фарб і потенційно точніше відтворювати насичені зелені тони.

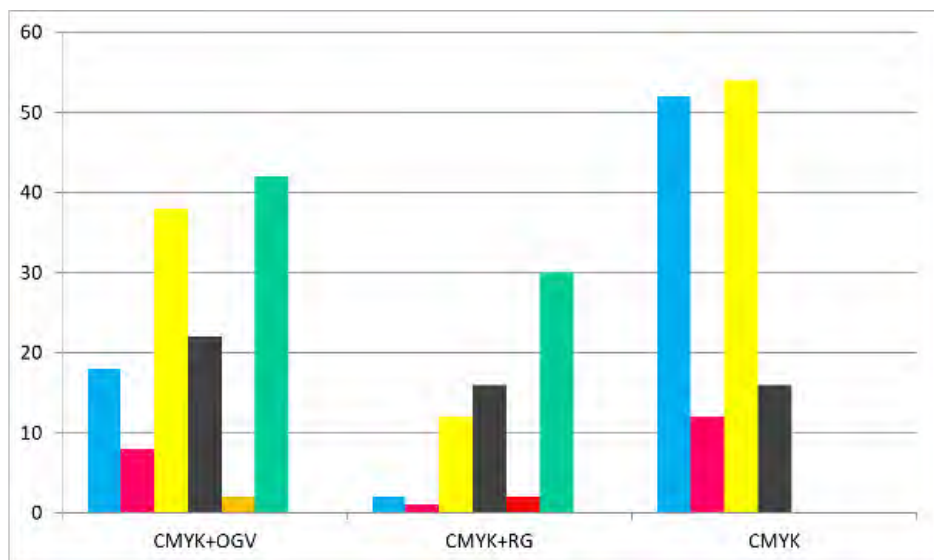


Рисунок 7 – Гістограми розподілу кількості фарб для 7, 6 та 4 фарб, тестове зображення для контролю відтворення зелених відтінків

Таблиця 3 – Середні показники використання друкарських фарб для зображення призначеного для контролю фіолетових та синіх відтінків

ICC-профіль	Середнє значення відносної площі растрових елементів фарб, %						
	Cyan	Magenta	Yellow	Black	Orange/Red	Green	Violet
Fogra55	45	19	8	24	1	0	35
Hexachrome	21	28	1	15	2	1	–
Fogra51	57	51	10	17	–	–	–

Для зображення контролю синіх і фіолетових відтінків найбільш показовим є використання каналу Violet у профілі FOGRA55 (табл. 3). Його середнє значення становить 35 %, що свідчить про істотну роль фіолетової фарби у формуванні кольорів цього діапазону. У профілі PANHEXROFJ500 окремий фіолетовий канал відсутній, тому сині та фіолетові відтінки синтезуються

переважно за допомогою Cyan і Magenta. У стандартному СМΥК-друці ці кольори також формуються через значне використання блакитної та пурпурної фарб – відповідно 57 % і 51 %.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило доцільність застосування багатофарбового друку для розширення колірною охоплення та відтворення складних кольорових зображень. Використання додаткових фарб у шести- та семифарбових системах дає змогу передавати кольори, які складно або неможливо якісно відтворити засобами стандартного чотирифарбового друку СМΥК. Особливо це стосується насичених жовто-оранжевих, червоних, зелених, синіх і фіолетових відтінків. Водночас ефективність багатофарбового друку залежить не лише від кількості фарб, а й від характеристик ICC-профілю, типу друкарського процесу, задруковуваного матеріалу та алгоритмів кольороподілу.

Порівняння досліджуваних профілів показало, що найбільше колірне охоплення має профіль шестифарбового цифрового друку PANTHEXROFJ500, однак його результати потрібно інтерпретувати з урахуванням специфіки цифрового друку та структури самого профілю. Профіль FOGRA55 для семифарбового друку СМΥК+OGV забезпечує якісне екранне моделювання накладання фарб у Adobe Photoshop і є більш придатним для аналізу сучасного багатофарбового друку на основі стандартизованих характеристичних даних. Додаткові фарби в системі FOGRA55 використовуються вибірково.

Аналіз гістограм розподілу фарб засвідчив, що сумарне фарбове покриття для семифарбового друку не перевищує відповідні значення для стандартного чотирифарбового друку. Це свідчить про те, що розширення кількості фарб не обов'язково призводить до збільшення їх загальних витрат. Навпаки, за умови коректного кольороподілу додаткові фарби можуть перерозподіляти навантаження між каналами та забезпечувати точніше формування насичених кольорів. Отже, семифарбовий друк СМΥК+OGV можна розглядати як перспективний технологічний підхід для підвищення якості кольоровідтворення без істотного збільшення витрат фарб, тоді як подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання точності кольору, тоновідтворення та стабільності друку в реальних виробничих умовах.

Список літератури.

1. Pantone. (2024). Pantone formula guide set: Coated & uncoated. <https://www.pantone.com/formula-guide-coated-uncoated>.
2. Adobe. (2025). Adobe Color: Frequently asked questions. <https://helpx.adobe.com/creative-cloud/adobe-color.html>.
3. International Organization for Standardization. (2018). ISO 17972-4:2018: Graphic technology – Colour data exchange format (CxF/X) – Part 4: Spot colour characterisation data (CxF/X-4). <https://www.iso.org/standard/71110.html>.
4. International Color Consortium. (n. d.). Proofing and printing documents that include spot inks. https://www.color.org/CxF_test.xalter.

5. Sharma, A. (2020). Expanded gamut study evaluates spot color reproduction in multicolor printing. Flexographic Technical Association. <https://www.flexography.org/industry-news/expanded-gamut-study-evaluates-spot-color-reproduction-multicolor-printing>.
6. Sharma, A. (2020). Expanded gamut shoot-out: Real systems, real results. PRINTING United Alliance. <https://color.printing.org/wp-content/uploads/2020/01/Sharma-Expanded-Gamut-Shoot-Out.pdf>.
7. Fogra. (2021). Professional colour communication in multiprimary printing. <https://fogra.org/en/research/prepress-technology/multiprimary-printing-13003>.
8. GMG. (n. d.). GMG OpenColor: Color management for packaging printing. <https://gmgcolor.com/products/opencolor>.
9. Esko. (n. d.). Equinox: Extended gamut printing for packaging. <https://www.esko.com/en/products/equinox>.
10. Shovheniuk, M., Kovalskiy, B., Semeniv, M., Semeniv, V., & Zanko, N. (2019). Information technology of digital images processing with saving of material resources. ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, Volume I: Main Conference. (p. 414-419). CEUR Workshop Proceedings. <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190414.pdf>.
11. Kovalskiy, B., Semeniv, M., Zanko, N., & Semeniv, V. (2024). Application of digital images processing for expanded gamut printing with effect of saving material resources. CMIS-2024: Seventh International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems. CEUR Workshop Proceedings. <https://ceur-ws.org/Vol-3702/paper19.pdf>.
12. ChromaChecker. (n. d.). Digital press benchmark: Gamut volume of digital press. https://chromachecker.com/page/en/show/digitalpress_benchmark.
13. bvdM Reference Images (n. d.). https://www.bvdm-online.de/fileadmin/user_upload/Bundesverband/Technik-Produktion/Standardwerke/Ausz_roman16_Docu_d-e.pdf.
14. Ковальський, Б.М., Семенів, М.Р., & Шовгенюк, М.В. (2016). Комп'ютерна програма синтезу зображення на відбитку для нової інформаційної та традиційних технологій кольорового друку. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IV(10), 72-78.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ ШРИФТІВ У ЦИФРОВОМУ ДИЗАЙНІ

Семенів М.Р.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0798-1916

Кинаш Ю.Є.

к.ф.-м.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-3762-3215

Кустра Н.О.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-3562-2032

Логойда М.М.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних технологій видавничої справи,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7597-7973

***Анотація.** Проаналізовано інноваційні методи та нейромережеві архітектури для генерування гліфів і перенесення стилю на шрифтові форми. Запропоновано методологію концептуальної добудови шрифту. Практичну апробацію здійснено із застосуванням CNN-based Style Transfer, DALL-E, Gemini 3 Flash Image, GPT Image 2 та Flux.2. Результати оцінено за стилістичною відповідністю, читабельністю, збереженням пропорцій.*

***Ключові слова:** шрифт, AI-інструменти, перенесення стилю, гліф, кирилиця, морфометричний аналіз.*

Вступ

У цифровому дизайні текст є важливою візуальною складовою, яка визначає характер комунікації, ритм композиції та емоційне сприйняття повідомлення. Вибір шрифту впливає на те, як користувач сприйме зміст тексту: як нейтральний, офіційний, динамічний, елегантний, технологічний чи експериментальний. Типографіка – це мистецтво й система організації тексту у візуальному просторі і є важливим історичним та культурним елементом, який відображає характерні особливості певних епох. Як частина дизайну, вона є однією із найкращих сфер для експериментів, впровадження нестандартних рішень та звернень до національної ідентичності.

Історія дизайну шрифтів показує, що якісно розроблені гарнітури можуть залишатися актуальними протягом тривалого часу: Garamond, Baskerville, Bodoni, Didot, Times New Roman, Futura, Univers, Helvetica й досі активно

використовуються у верстці, брендингу, інтерфейсах та рекламній комунікації. Водночас розробка шрифту, особливо призначеного для суцільного читання, вимагає тривалої роботи над формою гліфів, ритмом набору та міжлітерними інтервалами. Це підтверджує досвід Крістіана Шварца, який у 2004–2010 роках здійснював цифрове відновлення Neue Haas Grotesk з максимальною увагою до оригінальних форм [1].

На цьому тлі дизайн шрифтів дедалі більше виходить за межі традиційного малювання окремих гліфів і переходить у сферу системного моделювання графічної форми. Цей перехід можна розглядати як зміну парадигми: від створення окремих статичних символів до формування шрифтової системи, побудованої на правилах, залежностях та параметрах. Дизайнери шрифтів можуть використовувати алгоритмічні та інтелектуальні системи, здатні синтезувати, варіювати та інтерпретувати візуальні особливості шрифтів. Про це свідчить розвиток варіативних шрифтів (*variable fonts*), у яких один файл шрифту може містити кілька стилів і забезпечувати безперервну варіацію за осями насиченості, ширини або іншого параметра. Специфікація *OpenType Font Variations* закріпила параметричність як повноцінний інструмент цифрової типографіки [2].

Розвиток дизайну шрифтів пов'язаний із залученням інтелектуальних систем: генеративних моделей, стилізації за допомогою нейронних мереж та методів автоматизованого відтворення графічних ознак. Ці технології відкривають нові можливості для створення стилістично узгоджених наборів гліфів, але не виключають ролі дизайнера, оскільки шрифт вимагає аналізу читабельності, цілісності, технічної правильності контурів та культурної релевантності. Такі інструменти автоматизують окремі етапи роботи, а також здатні аналізувати та відтворювати складні графічні характеристики. Дослідження С. Азаді та ін. [3] демонструє, що технології перенесення стилю шрифту можуть переносити стилістичні особливості заданих гліфів на нові символи, формуючи узгоджений набір шрифту на основі обмеженої кількості зразків. Відтак, інноваційні методи та інтелектуальні системи перетворюють типографіку на динамічну систему, в якій дизайнер виступає архітектором ідей, а технології є засобом їх реалізації.

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту зумовлює переосмислення класичних підходів до створення шрифтів у сучасному цифровому дизайні. В процесі проектування шрифту з'являється можливість використання цифрових систем, здатних аналізувати, генерувати, варіювати та адаптувати графічні форми. У цьому контексті особливої актуальності набуває створення кириличних шрифтів, зокрема таких, що відображають українську культурну та національну ідентичність. Тривалий час візуальний простір України значною мірою формувався під впливом шрифтів російського походження, однак впродовж останнього десятиліття помітно активізувався розвиток українського шрифтового дизайну [4].

Мета та задачі дослідження

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вивчення інноваційних інструментів, які дають змогу поєднати професійні принципи шрифтового дизайну та автоматизовану обробку графічних форм. Особливе значення має трансформація візуальної мови українського мистецтва у форму сучасного кириличного шрифту.

Метою роботи є дослідження можливостей інноваційних методів та інтелектуальних систем у проєктуванні цифрових шрифтів, а також їх практичне випробування у процесі створення кириличної шрифтової гарнітури на основі інтерпретації художнього стилю та характерних формотворчих ознак одного з українських художників.

Для досягнення мети визначено наступні завдання.

1. Систематизувати сучасні підходи до шрифтового дизайну, сформувавши таксономію методів.
2. Розробити методiku проєктування шрифту на основі нейромережевої інтерпретації художнього оригіналу та подальшої обробки форм.
3. Провести порівняльний морфометричний аналіз результатів генерації моделей генерування зображень для оцінки їхньої придатності до створення цілісних шрифтових систем.

Основна частина

Варіативні шрифти як передумова інтелектуальної типографіки

У розвитку цифрового шрифтового дизайну важливим етапом стало впровадження варіативних шрифтів (variable fonts), офіційно представлених як частина стандарту OpenType 1.8 за участю Adobe, Apple, Google і Microsoft [5]. Їхня поява змінила уявлення про шрифт як про набір окремих статичних файлів на зразок Regular, Bold, Italic або Condensed. У специфікації OpenType Font Variations зазначено, що варіативний шрифт може містити кілька шрифтових накреслень у межах одного ресурсу та забезпечувати безперервну зміну форми за визначеними осями дизайну, наприклад насиченістю, шириною, нахилом або оптичним розміром [2]. Це дало змогу розглядати шрифт не лише як завершений набір контурів, а як керовану систему варіативних графічних форм.

Основна інновація варіативних шрифтів полягає в тому, що вони не потребують зберігання окремих шрифтових файлів для кожного накреслення. Натомість у межах одного ресурсу зберігаються базові контури та варіаційні дані, які забезпечують обчислення проміжних станів гліфа в межах заданого дизайну. У шрифтовому файлі визначаються осі варіативності, діапазони їхніх значень і окремі іменовані позиції, що можуть відповідати звичним накресленням, наприклад Light, Regular або Bold. За глобальний опис осей і таких іменованих позицій відповідає таблиця fvar, тоді як конкретні варіаційні

дані для контурів та інших параметрів можуть зберігатися в інших таблицях формату OpenType [2].

З погляду формального опису варіативний шрифт можна розглядати як систему, у якій цільова форма гліфа залежить від набору параметрів. У спрощеному вигляді це можна подати так:

$$f(w, s, o) = \text{Glyph}_{\text{target}}, \quad (1)$$

де w – насиченість (*weight*);
 s – ширина (*width*);
 o – оптичний розмір (*optical size*).

Така модель демонструє, що форма гліфа може бути описана через залежність від змінних, які впливають на його графічні характеристики. Саме тому варіативні шрифти можна розглядати як важливу передумову інтелектуальної типографіки: якщо шрифтову форму подано як параметричну систему, її характеристики можуть бути не лише вручну налаштовані дизайнером, а й проаналізовані, модифіковані або оптимізовані алгоритмічними та нейромережевими методами.

Із цим безпосередньо пов'язана концепція параметричного дизайну. У шрифтовому проектуванні вона означає перехід від створення кожної літери як окремого завершеного рисунка до побудови системи правил, залежностей і контрольованих параметрів. Такими параметрами можуть бути товщина штриха, ширина знака, висота малих літер, висота або довжина виносних елементів, радіус заокруглень, контраст між основними й додатковими штрихами, нахил, форма засічок, характер внутрішніх просвітів і міжлітерні інтервали. У межах такого підходу дизайнер працює не лише з окремими векторними вузлами, а з логікою побудови всієї шрифтової системи.

Параметричний підхід змінює професійну роль дизайнера. Він уже не лише креслить контури гліфів, а проектує модель, у якій форма літери виникає внаслідок взаємодії параметрів. Такий підхід можна пояснити через логіку “скелета” літери: спочатку визначається базова конструкція знака, а потім до неї застосовуються змінні характеристики – товщина штриха, контраст, завершення, заокруглення або нахил. Завдяки цьому одна система може породжувати низку споріднених накреслень, зберігаючи стилістичну єдність гарнітури.

Отже, варіативні шрифти та параметричний дизайн формують проміжну ланку між класичним шрифтовим проектуванням і сучасними інтелектуальними системами. Вони переводять шрифтову форму в площину керованих змінних, що робить її придатною для алгоритмічного аналізу, автоматизованої модифікації та подальшої інтеграції з методами машинного навчання [2, 6]. Саме цей перехід є важливим для досліджень у сфері генерації гліфів, перенесення стилю та створення адаптивних шрифтових систем.

Машинне навчання та нейромережеві архітектури в генерації гліфів

Генеративно-змагальні мережі (Generative Adversarial Networks, GANs) у шрифтовому дизайні застосовуються для автоматичної генерації гліфів (графічне зображення знака у шрифті), перенесення стилістичних ознак між знаками, доповнення наборів шрифтових гарнітур і створення нових накреслень на основі обмеженої кількості зразків. Модель може навчатися на наявних бібліотеках шрифтів і виявляти закономірності побудови літер: пропорції, товщину штрихів, форму завершень, нахил, контраст, декоративні елементи та ритм знакової системи [3, 7].

Механізм GAN ґрунтується на взаємодії двох нейромереж: генератора (G) і дискримінатора (D). Математична основа функціонування генеративно-змагальних мереж базується на теорії ігор, зокрема на концепції мінімаксної гри з нульовою сумою. Наведене рівняння (2) описує цільову функцію $V(D, G)$, де дві мережі перебувають у стані постійної конкуренції за досягнення стану рівноваги Неша [8]. Генератор намагається створити новий гліф, який виглядав би як справжній шрифт. Дискримінатор (D) намагається відрізнити згенерований гліф від реального шрифту з навчальної вибірки. Математично це описується як мінімаксна гра:

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))] \quad (2)$$

де $\min_G \max_D$ – стратегічна мета навчання;

$E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)]$ – математичне сподівання логарифма ймовірності того, що Дискримінатор правильно ідентифікує реальний шрифт x з наявного датасету p_{data} ;

$G(z)$ – результат роботи Генератора;

z – вектор випадкового шуму;

$D(G(z))$ – оцінка Дискримінатором згенерованого об'єкта;

$E_{x \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))]$ – відповідає за штрафування Генератора, якщо Дискримінатор викриває підробку.

У процесі навчання генератор поступово вдосконалює якість результату, намагаючись створити гліфи, які зберігають потрібну структуру літери й водночас відповідають заданому стилю.

Згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) у шрифтовому дизайні застосовуються для розпізнавання стилістичних ознак гліфів, класифікації шрифтів і перенесення художнього стилю (style transfer). Їхня перевага полягає у здатності аналізувати локальні графічні характеристики: контури, товщину штрихів, серифи, нахил, ритм ліній, фактуру та декоративні елементи [9]. Згорткові мережі відіграють роль «очей» системи.

Завдяки ієрархічній структурі вони аналізують зображення гліфа на різних рівнях:

- нижні шари розпізнають базові елементи: кути, краї, напрям штрихів;
- верхні шари ідентифікують складні ознаки: наявність та форму засічок (serifs), контрастність штрихів, характер з'єднань.

Саме CNN дозволяють реалізувати концепцію Style Transfer (перенесення стилю). Наприклад, маючи лише літеру «А» у новому художньому виконанні, мережа виокремлює «код стилю» і накладає його на структуру інших літер алфавіту [10, 11].

Аналіз актуальних досліджень у галузі інтелектуального шрифтового дизайну свідчить про активне використання нейромережових архітектур для аналізу, генерування та стилістичної трансформації гліфів. Такі системи здатні виявляти закономірності побудови шрифтової форми, зокрема пропорції, контрастність, насиченість, засічки та декоративні ознаки. На сучасному етапі можна виокремити кілька ключових технологічних напрямів. Перший напрям охоплює моделі для генерації великих шрифтових бібліотек, зокрема DCFont [12], SCFont [13] та FontRNN [14]. Ці системи спрямовані на автоматичне створення великої кількості символів для складних ієрогліфічних писемностей на основі обмеженого набору зразків. Зокрема, DCFont генерує бібліотеку GB2312 із 6763 китайських символів, а FontRNN моделює символи через послідовності точок і траєкторії штрихів, враховуючи динаміку письма.

Паралельно розвивається група GAN-моделей, орієнтованих на перенесення стилю. Multi-Content GAN, TET-GAN та AGIS-Net [3, 15, 16] дають змогу переносити на нові гліфи не лише базові типографічні ознаки, а й складні декоративні ефекти: фактуру, колірні переходи, орнаменти. Такі моделі є важливими для завдань, у яких потрібно інтерпретувати художній почерк і поширити його на ширший набір символів. У межах few-shot font generation, зокрема в моделях DM-Font, LF-Font і MX-Font [17-19], увага зосереджується на локальних стильових ознаках і компонентах гліфа. Це дає змогу не копіювати шрифт як цілісне зображення, а точніше відтворювати окремі структурні та графічні елементи форми.

Важливим етапом стали структурні та компонентно-орієнтовані моделі, зокрема DG-Font [20] і CG-GAN [21]. Їхнє завдання полягає у збереженні конструктивної основи символу під час зміни стилю. Водночас CNN-підходи доцільно розглядати як інструменти аналізу візуальних ознак і перенесення стилю, тоді як SVG-VAE та DeepSVG [22, 23] репрезентують інший напрям – роботу з векторними та латентними представленнями графічної форми. Такі моделі важливі для шрифтового дизайну, оскільки фінальний шрифт має бути не лише зображенням, а технічно коректною системою контурів.

Одним із найактивніших напрямів останніх років є дифузійні моделі, зокрема Diff-Font і FontDiffuser [24-26]. Вони розглядають генерування шрифту як процес поступового уточнення зображення та дають змогу досягати високої якості стилізації, особливо у завданнях one-shot і few-shot font generation. Окремого значення набуває міжписемне перенесення стилю, представлене, зокрема, моделлю FTransGAN [27]. Такі підходи відкривають можливості для

адаптації стилістичних ознак між різними системами письма, однак потребують додаткового контролю графічної, мовної та культурної специфіки.

Отже, сучасні інтелектуальні методи створюють технологічну основу для генерування, стилістичної інтерпретації та розвитку шрифтових форм, зокрема в контексті актуалізації української візуальної спадщини в цифровому середовищі.

На основі аналізу наукових публікацій побудовано таксономію інтелектуальних методів генерування шрифтів і перенесення стилю на гліфи (рис. 1). В основу класифікації покладено функціональне призначення моделей і принцип їхньої роботи: генерація великих шрифтових бібліотек, перенесення стилю, генерування шрифтів з невеликої кількості зразків, компонентне моделювання, CNN-підходи, векторні та латентні моделі, дифузійні моделі й міжписемне перенесення стилю. Запропонована схема візуалізує результати типологізації джерел та представляє досліджувану сферу як цілісну систему взаємопов'язаних напрямів.

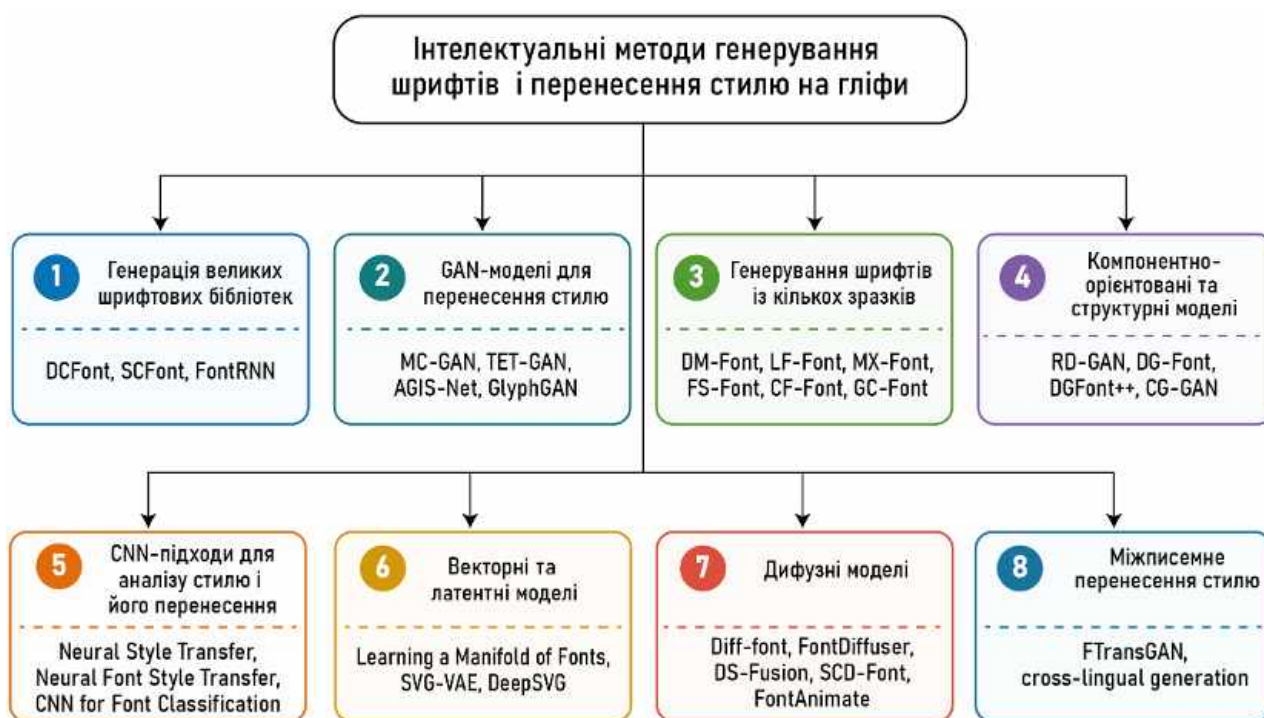


Рисунок 1 – Таксономія інтелектуальних методів генерування шрифтів і перенесення стилю на гліфи

Інструментальні засоби інтелектуального шрифтового проєктування

Використовуючи AI-інструменти дизайнери можуть інтегрувати алгоритмічні й інтелектуальні підходи у професійну практику без необхідності самостійного програмування. У сучасному цифровому дизайні функціонує низка вебзастосунків та AI-інструментів, які мають різне функціональне призначення: підтримують добір шрифтових пар, розпізнавання гарнітур, генеративний пошук стилістики та формування гарнітур.

Fontjoy є інструментом для автоматизованого добору шрифтових пар, що використовує технології машинного навчання [28]. Сервіс дає змогу генерувати нові комбінації, фіксувати вибрані шрифти, вручну змінювати окремі гарнітури та редагувати текст прикладу, налаштовувати рівень контрастності шрифтових пар за допомогою повзунка (рис. 2).



Рисунок 2 – Інтерфейс інструмента для автоматизованого добору шрифтових пар Fontjoy

Окрему групу становлять інструменти розпізнавання шрифтів за растровим зображенням. До них належать Adobe Retype [29], WhatTheFont [30], Font Matcherator by Fontspring [31]. Вони дають змогу завантажити зображення або виділити текстовий фрагмент і отримати перелік ідентичних чи подібних гарнітур. Такі сервіси є корисними для пошуку аналогів, вивчення візуальної подібності між гарнітурами та підготовки матеріалу для подальшого шрифтового проєктування. Adobe Retype в Illustrator, зокрема, призначений для ідентифікації шрифтів із зображень або контурного тексту, тоді як WhatTheFont і Matcherator працюють як вебінструменти пошуку шрифту за зображенням.

Для генеративного створення шрифтової форми доцільно залучати інструменти, що працюють із візуальними референсами та векторною графікою. Adobe Illustrator Text to Vector Graphic, побудований на технологіях Adobe Firefly, дає змогу створювати редаговану векторну графіку на основі текстового опису [32]. Подібну роль може виконувати Recraft, який позиціонується як AI-платформа для дизайнерів і підтримує генерацію векторної графіки, ілюстрацій, логотипів, рекламних матеріалів і мокапів [33]. Важливо, що такі інструменти дають змогу працювати із масштабованими SVG-формами, що є доцільно при проєктуванні шрифтової гарнітури.

Для дослідження, пов'язаного з інтерпретацією художньої мови українського митця у формі кириличного шрифту, найдоцільніше поєднувати ці інструменти послідовно: генеративний пошук стилю, параметричне осмислення форми, векторне редагування та фінальне формування гарнітури.

Методологія проєктування шрифту на основі художнього стилю

Проектування шрифту на основі художнього стилю передбачає збір та аналіз творів мистецтва, виявлення їхніх характерних ознак, перенесення цих ознак на літерні форми, генерування кількох варіантів гліфів за допомогою AI-інструментів, порівняння отриманих результатів за визначеними критеріями, подальшу векторизацію та формування файлу шрифту.

Для практичної апробації методології обрано творчість Володимира Юрчишина – одного з відомих представників української книжкової графіки та шрифтового мистецтва. Його роботи поєднують глибоке знання історичної шрифтової культури, зокрема стародруків, із самобутнім авторським трактуванням літерної форми. У графіці Юрчишина важливу роль відіграють контраст чорного й білого, фактурність ліногравюри, орнаментальні мотиви, динамічна лінія, ритмічна організація композиції та активне використання негативного простору [34-36].

Юрчишин розглядав типографіку не як допоміжний елемент книжкового оформлення, а як повноцінну частину візуальної оповіді. У його роботах шрифт взаємодіє з орнаментом, а літери зберігають зв'язок із традиціями українських стародруків і скоропису. Саме творчість Володимира Юрчишина (рис. 3) розглядається як художнє першоджерело для створення кириличного акцидентного шрифту. Такий вибір є доцільним, оскільки акцидентний шрифт допускає вищий рівень художньої інтерпретації, ніж текстова гарнітура, і дає змогу перетворити характерні ознаки графіки Юрчишина на виразну систему кириличних гліфів.



Рисунок 3 – Зразки творчості Володимира Юрчишина [34]

У практичній частині дослідження використано два підходи. Перший підхід передбачає застосування CNN-based Style Transfer для перенесення художньої манери на форму літер. Для цього було підготовлено базові літерні

форми, які виконували функцію змістової структури, а також ілюстрацію художника, що використовувалася як джерело стилю. Перенесення стилю здійснювалося у середовищі Google Colab з використанням бібліотеки PyTorch. Для виділення ознак використовувалася згорткова нейронна мережа VGG-19 із бібліотеки torchvision.models. Модель не навчалася заново, а використовувалася як екстрактор ознак: її проміжні згорткові шари порівнювати зміст літери та стиль художнього зображення. Форма літери розглядалася як основа, а художнє зображення – як стилістичний референс.

Другий підхід ґрунтується на використанні вже наявного шрифтового зразка для побудови відсутніх літер кириличного алфавіту. За допомогою Recraft, DALL-E та Gemini створюються відсутні літери кириличного алфавіту в подібному стилі. З метою аналізу потенціалу AI-інструментів у підтриманні стилістичної єдності між наявними та новоствореними гліфами. На відміну від першого підходу, де основним завданням є перенесення художньої фактури на форму літери, другий підхід спрямований на побудову шрифтової системи на основі обмеженого набору літер.

Після генерації результатів проводиться порівняльне оцінювання. До основних критеріїв доцільно віднести стилістичну відповідність роботам художника, читабельність літер, цілісність шрифтової системи, технічну придатність до векторизації, рівень декоративності, кількість артефактів, потребу в ручному доопрацюванні та потенціал для створення повної кириличної гарнітури.

Завершальний етап передбачає постобробку та професійне шрифтове доопрацювання. Отримані результати потрібно векторизувати, відредагувати контури, уніфікувати пропорції, вирівняти висоту знаків, скоригувати внутрішні просвіти та налаштувати міжлітерні інтервали. Після цього гліфи можуть бути імпортовані у шрифтовий редактор, наприклад FontLab, для формування робочого шрифтового файлу. На цьому етапі важливо перевірити не лише окремі літери, а й їхню взаємодію у словах, коротких фразах і композиційних макетах.

Таким чином, запропонована методологія поєднує збір та аналіз творів мистецтва, використання AI-інструментів, порівняльне оцінювання та редагування. Створення шрифту розглядається як дослідницько-дизайнерський процес: від аналізу візуальної мови українського художника – до формування акцидентної кириличної гарнітури з виразною культурною та стилістичною ідентичністю.

Результати досліджень

У межах практичної частини дослідження було перевірено можливості AI-інструментів для інтерпретації художнього стилю Володимира Юрчишина у процесі створення кириличного акцидентного шрифту. Експеримент охоплював два основні підходи: перенесення стилю на базові літерні форми за допомогою CNN-based Style Transfer та побудову відсутніх літер кириличного алфавіту на

основі наявного шрифтового зразка із застосуванням Recraft, DALL-E та Gemini. На першому етапі було використано підхід CNN-based Style Transfer (рис. 4). Для цього в середовищі Google Colab було підготовлено два типи зображень: базові форми літер, які виконували функцію структурної основи, та ілюстрацію Володимира Юрчишина, що використовувалася як джерело стилістичних ознак. У результаті було отримано варіанти літер із перенесеними фактурними та декоративними характеристиками зображення.



Рисунок 4 – Приклади перенесення стилю ілюстрації Володимира Юрчишина на базові літерні форми методом CNN-based Style Transfer

Однак результати цього підходу виявилися обмежено придатними для подальшого шрифтового проєктування. У частині зразків спостерігалось розмиття, поява зайвих текстурних плям і зниження читабельності. Тому цей підхід доцільно розглядати не як самостійний спосіб створення гліфів, а як допоміжний інструмент попереднього стилістичного пошуку.

У межах експерименту було проаналізовано придатність різних AI-інструментів для створення кириличного алфавіту на основі наявного шрифтового зразка. Вихідний напис використовується як опорний візуальний матеріал, а відсутні літери генерувалися з урахуванням його стилістичних і конструктивних характеристик. Це дало змогу оцінити не лише здатність інструментів відтворювати загальну художню манеру, а й точність збереження ключових параметрів літерної форми: висоти знаків, пропорцій, товщини основних і з'єднувальних штрихів, контрастності, форми засічок і характеру наплівів.

Практичну цінність у цьому процесі продемонстрував Recraft (рис. 5). Його перевага полягає в тому, що в межах одного AI-інструменту можна здійснювати як векторизацію наявного напису, так і генерування нових літер у подібному стилі. Завдяки цьому Recraft виявився зручним для побудови цілісного робочого циклу: від підготовки опорного шрифтового зразка до створення нових гліфів. Водночас ефективність цього інструменту істотно залежить від якості промпта. Крім того, для отримання точніших результатів доцільно генерувати по одній літері, оскільки при спробі створювати кілька знаків одночасно знижується контроль над пропорціями, характером штрихів і деталями форми.

**ТАРАС
ШЕВЧЕНКО
ПОЕМИ**

Рисунок 5 – Результат векторизації Recraft

У процесі дослідження було порівняно результати генерування літер за допомогою моделей DALL·E, Gemini 3 Flash Image, GPT Image 2 та Flux.2. Основну увагу зосереджено на здатності моделей відтворювати стилістику вихідного шрифтового зразка, зокрема конструкцію літер, пропорції, характер штрихів, форму засічок, наявність діакритичних знаків та загальну цілісність шрифтової системи.

Аналіз згенерованих зображень показав, що досліджувані інструменти по-різному інтерпретують стилістичні та конструктивні ознаки вихідних літер. Найбільш наближеним до зразка виявився результат, отриманий за допомогою Gemini 3 Flash Image. У згенерованих літерах точніше збережено висоту знаків, співвідношення товщини основних і з'єднувальних штрихів, а також характер засічок. Це свідчить про кращу здатність моделі підтримувати візуальну єдність літер у межах заданої шрифтової стилістики (рис. 6).

БГДЕЖЗІЙЛУФХЦЩЬЮЯ

Рисунок 6 – Результати добудови кириличних літер засобами Gemini 3 Flash Image

Модель DALL·E продемонструвала менш стабільні результати. У частині згенерованих літер спостерігалися відхилення у висоті знаків, нерівномірність контрасту між основними та допоміжними штрихами, а також зміни у формі кінцевих елементів. Це знижує цілісність шрифтового набору та ускладнює подальше використання результатів як основи для розроблення гарнітури (рис. 7). Водночас результати, отримані за допомогою DALL·E, можуть бути корисними на етапі пошуку загальної візуальної ідеї або стилістичного напрямку.

БГДЕЖЗІЙЛУФХЦЩЬЮЯ

Рисунок 7 – Результати добудови кириличних літер засобами DALL-E

GPT Image 2 забезпечила результати, близькі до Gemini 3 Flash Image за загальною формою літер і відтворенням характеру шрифтового зразка. Модель достатньо точно передала основні пропорції, пластику штрихів і загальну стилістику літер (рис. 8). Проте в окремих випадках було виявлено неточності у побудові нижніх виносних елементів, зокрема в літерах Ц та Щ. Нерівномірність

цих елементів порушує ритм шрифтового набору та потребує додаткового ручного коригування.



Рисунок 8 – Результати добудови кирилических літер засобами GPT Image 2

Модель Flux.2 згенерувала літери, які загалом стилістично подібні до вихідного зразка. Водночас було зафіксовано суттєві помилки у відтворенні окремих кирилических знаків (рис. 9). Зокрема, модель не згенерувала літеру Ї, а до літери Л помилково додала діакритичний знак. Такі результати свідчать про обмежену стабільність моделі під час роботи з кирилицею.



Рисунок 9 – Результати добудови кирилических літер засобами Flux.2

У процесі порівняльного аналізу було верифіковано основні розмірні характеристики векторизованого зразка та гліфів, згенерованих нейромережами. Для об'єктивізації порівняння використано метод морфометричного аналізу прямих знаків (літери «Н» як еталона та «Й» як результату генерації), що мають ідентичну конструктивну основу.

Для кількісного оцінювання стилістичної відповідності було розраховано ключові типографічні показники за наступними формулами.

1. Насиченість (S) – відношення товщини основного штриха до висоти знака.

$$S = \frac{T_{main}}{H}, \quad (3)$$

де T_{main} – товщина основного штриха;
 H – висота літери.

2. Контрастність (C) – співвідношення товщини з'єднувального та основного штрихів.

$$C = \frac{T_{con}}{T_{main}}, \quad (4)$$

де T_{con} – товщина з'єднувального штриха.
Чим менше значення SC , тим вищою є графічна контрастність шрифту.

3. Відносна ширина (W_{rel}) – показник пропорційності вічка знака.

$$W_{rel} = \frac{W}{H}, \quad (5)$$

де W – ширина знака.

Результати вимірювань (Adobe Illustrator, інструмент «Measure») засвідчили, що модель Gemini 3 Flash Image продемонструвала найвищу точність відтворення метричних параметрів щодо вихідного зразка. Висота гліфа у Gemini 3 (19,613 мм) є майже ідентичною еталону (19,5 мм). Моделі GPT Image 2 (20,015 мм) та Flux (19,939 мм) також показали високу стабільність за висотою. Натомість DALL-E виявив суттєву похибку у масштабуванні (24,88 мм).

Аналіз пропорційності знаків через показник відносної ширини (W_{rel}) підтвердив лідерство GPT Image 2 (0,832) та Gemini 3 (0,853), які максимально наближені до значення оригінального зразка (0,836). Модель Flux сформувала дещо вужче вічко знака (0,782), а DALL-E – найбільш стиснуту форму (0,76).

За показником насиченості (S) Gemini 3 ($S = 0,336$) та вихідний зразок ($S_{ref} = 0,323$) утворюють найбільш узгоджену пару. Моделі Flux ($S = 0,311$) та GPT Image 2 ($S = 0,309$) продемонстрували результати, що є близькими до еталона, проте візуально виглядають дещо світлішими. Найменшу відповідність за насиченістю показав DALL-E ($S = 0,291$).

Дослідження контрастності (C) виявило, що найбільш автентичне співвідношення штрихів забезпечують GPT Image 2 ($C = 0,08$) та Flux ($C = 0,085$), що є максимально близьким до показника художнього оригіналу ($C_{ref} = 0,077$). Gemini 3 продемонстрував тенденцію до зменшення контрасту ($C = 0,092$), тоді як DALL-E схильний до надмірного контрастування елементів ($C = 0,068$).

Порівняльне оцінювання результатів синтезу кириличних гліфів проведено за допомогою методу експертного візуально-морфологічного аналізу. Для верифікації художньо-стилістичної та конструктивної якості використано 5-бальну шкалу, де 1 бал відповідає критично низькій точності, а 5 балів – високій стилістичній автентичності та технічній придатності до фінального шрифтового редагування.

Комплексне оцінювання моделей (табл. 1) показало, що Gemini 3 Flash Image є найбільш прецизійним інструментом для професійної добудови гарнітури (28 з 30 балів) серед розглянутих моделей, продемонструвавши стабільність пропорцій та стилістики.

Таблиця 1 – Експертне оцінювання результатів генерації кириличних гліфів

Критерій оцінювання	DALL-E	Gemini 3 Flash Image	GPT Image 2	Flux.2
Стилістична відповідність художньому джерелу / опорному зразку	3	5	4	4
Читабельність літер	5	5	5	4
Цілісність шрифтової системи	3	4	4	4
Збереження висоти та пропорцій літер	3	5	5	4
Збереження товщини основного та з'єднувального штриха	3	5	4	4
Форма засічок і наплівів	3	4	4	3

Модель GPT Image 2 виявилася кращою у збереженні внутрішньолітерного простору, проте потребує корекції насиченості штриха. Flux не забезпечує читабельність літер та є недоліки у формуванні засічок, що ускладнює векторизацію. Найнижчу ефективність виявила модель DALL-E, яка через значні відхилення у системній цілісності та пропорціях придатна лише для ескізного пошуку, попри високу читабельність знаків.

Отримані спостереження дають підстави стверджувати, що для створення кириличної акцидентної гарнітури найбільш доцільним є використання AI-інструментів не як повністю автономних генераторів, а як засобів пошуку та побудови літерних форм із подальшим дизайнерським доопрацюванням.

Найперспективнішим у цьому процесі виявився підхід, у якому поєднуються векторизація наявного зразка, генерація відсутніх літер за його мотивами та подальше професійне редагування результатів.

Висновки

У результаті проведеного дослідження систематизовано сучасні підходи до інтелектуального генерування шрифтів і перенесення стилю на гліфи. На основі аналізу наукових публікацій побудовано таксономію методів, у якій виокремлено основні напрями. Проаналізовано інструментальні засоби, які можуть бути використані у практиці інтелектуального шрифтового проєктування. Встановлено, що сучасні AI-інструменти та вебзастосунки не замінюють професійної роботи шрифтового дизайнера, але розширюють можливості пошуку, аналізу й попередньої генерації форм.

Запропоновано методологію проєктування кириличного акцидентного шрифту на основі художнього стилю. Вона передбачає аналіз творчості художника, виокремлення характерних формотворчих ознак, підготовку опорного шрифтового зразка, апробацію AI-інструментів для перенесення стилю та побудови відсутніх літер, а також подальше професійне доопрацювання гліфів. Морфометричний аналіз та апробація генеративних моделей підтвердили, що найвищу точність у побудові гліфів забезпечує Gemini 3 Flash Image, демонструючи стабільність метричних параметрів (насиченість, контраст, відносна ширина літери).

Таким чином, дослідження засвідчило, що інноваційні методи та AI-інструменти можуть бути ефективно залучені до процесу створення шрифтів, особливо на етапах аналізу стилю, пошуку формотворчих рішень, побудови відсутніх літер і підготовки графічних основ. Водночас кінцевий результат потребує професійного контролю дизайнера, оскільки шрифт є не лише візуальним образом, а складною системою гліфів, що має відповідати вимогам читабельності, технічної коректності та культурної виразності.

Список літератури.

1. Schwartz, C. (n. d.). Neue Haas Grotesk. <https://www.christianschwartz.com/haasgrotesk.shtml>
2. Microsoft Typography. (n. d.). OpenType font variations overview. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/typography/opentype/spec/otvaroverview>.
3. Azadi, S., Fisher, M., Kim, V., Wang, Z., Shechtman, E., & Darrell, T. (2017). Multi-content GAN for few-shot font style transfer. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1712.00516>.
4. Огородник, С. (2022). Чому шрифти відображають історію та як народжується шрифтовий патріотизм. Lyuk Media. <https://lyuk.media/city/fonts-reflect-history/>.
5. Google Open Source Blog. (2016). Introducing OpenType font variations. <https://opensource.googleblog.com/2016/09/introducing-opentype-font-variations.html>.
6. web.dev. (n. d.). Introduction to variable fonts on the web. <https://web.dev/articles/variable-fonts>.
7. Hayashi, H., Abe, K., & Uchida, S. (2019). GlyphGAN: Style-consistent font generation based on generative adversarial networks. Knowledge-Based Systems, 186, Article 104927. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.104927>.
8. Campbell, N.D.F., & Kautz, J. (2014). Learning a manifold of fonts. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/file/f033ed80deb0234979a61f95710dbe25-Paper.pdf.
9. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521, 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>.
10. Gatys, L.A., Ecker, A.S., & Bethge, M. (2016). Image style transfer using convolutional neural networks. Computer Vision and Pattern Recognition. (p. 2414-2423).
11. Atarsaikhan, G., Iwana, B. K., Narusawa, A., Yanai, K., & Uchida, S. (2017). Neural font style transfer. Document Analysis and Recognition (ICDAR). Vol. 1. (p. 51-56).
12. Jiang, Y., Lian, Z., Tang, Y., & Xiao, J. (2017). DCFont: An end-to-end deep Chinese font generation system. SIGGRAPH Asia 2017 Technical Briefs. Article 22. (p. 1-4). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3145749.3149440>
13. Jiang, Y., Lian, Z., Tang, Y., & Xiao, J. (2019). SCFont: Structure-guided Chinese font generation via deep stacked networks. AAAI Conference on Artificial Intelligence, 33(1), 4015-4022. <https://cdn.aaai.org/ojs/4294/4294-13-7348-1-10-20190706.pdf>.
14. Tang, S., Xia, Z., Lian, Z., & Xiao, J. (n. d.). FontRNN: Generating large-scale Chinese fonts via recurrent neural network. <https://xiazeqing.github.io/FontRNN/documents/paper.pdf>.
15. Yang, S., Liu, J., Wang, W., & Guo, Z. (2019). TET-GAN: Text effects transfer via stylization and destylization. AAAI Conference on Artificial Intelligence, 33(1), 1238-1245. <https://cdn.aaai.org/ojs/3919/3919-13-6978-1-10-20190702.pdf>.
16. Gao, Y., Guo, Y., Lian, Z., Tang, Y., & Xiao, J. (2019). Artistic glyph image synthesis via one-stage few-shot learning. ACM Transactions on Graphics, 38(6), Article 185. <https://doi.org/10.1145/3355089.3356574>.
17. Cha, J., Chun, S., Lee, G., Lee, B., Kim, S., & Lee, H. (2020). Few-shot compositional font generation with dual memory. Computer Vision – ECCV 2020. https://www.ecva.net/papers/eccv_2020/papers_ECCV/papers/123640715.pdf.
18. Park, S., Chun, S., Cha, J., Lee, B., & Shim, H. (2021). Few-shot font generation with localized style representations and factorization. AAAI Conference on Artificial Intelligence, 35(3), 2393-2402. <https://cdn.aaai.org/ojs/16340/16340-13-19834-1-2-20210518.pdf>.
19. Park, S., Chun, S., Cha, J., Lee, B., & Shim, H. (2021). Multiple heads are better than one: Few-shot font generation with multiple localized experts. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. (p. 13900-13909). https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021/papers/Park_Multiple_Heads_Are_Better_Than_One_Few-Shot_Font_Generation_With_ICCV_2021_paper.pdf.
20. Xie, Y., Chen, X., Sun, L., & Lu, Y. (2021). DG-Font: Deformable generative networks for unsupervised font generation. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. (p. 5130-5140). https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2021/papers/Xie_DG-Font_Deformable_Generative_Networks_for_Unsupervised_Font_Generation_CVPR_2021_paper.pdf.

21. Kong, Y., Luo, C., Ma, W., Zhu, Q., Zhu, S., Yuan, N., & Jin, L. (2022). Look closer to supervise better: One-shot font generation via component-based discriminator. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. (p. 13482-13491). https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2022/papers/Kong_Look_Closer_To_Supervise_Better_One-Shot_Font_Generation_via_Component-Based_CVPR_2022_paper.pdf.
22. Lopes, R. G., Ha, D., Eck, D., & Shlens, J. (2019). A learned representation for scalable vector graphics. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. (p. 7930-7939). https://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2019/papers/Lopes_A_Learned_Representation_for_Scalable_Vector_Graphics_ICCV_2019_paper.pdf.
23. Carlier, A., Danelljan, M., Alahi, A., & Timofte, R. (2020). DeepSVG: A hierarchical generative network for vector graphics animation. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2007.11301>.
24. He, H., Wang, X., Wang, Y., & Lian, Z. (2024). Diff-Font: Diffusion model for robust one-shot font generation. *International Journal of Computer Vision*. <https://doi.org/10.1007/s11263-024-02137-0>.
25. Yang, Z., Peng, D., Kong, Y., Zhang, Y., Yao, C., & Jin, L. (2024). FontDiffuser: One-shot font generation via denoising diffusion with multi-scale content aggregation and style contrastive learning. *AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 38(7), 6603-6611. <https://doi.org/10.1609/aaai.v38i7.28482>.
26. SGD-font: Style and glyph decoupling for one-shot font generation. (2025). *Knowledge-Based Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.114600>.
27. Li, C., Taniguchi, Y., Lu, M., & Konomi, S. (2021). Few-shot font style transfer between different languages. *IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. (p. 433-442). https://openaccess.thecvf.com/content/WACV2021/papers/Li_Few-Shot_Font_Style_Transfer_Between_Different_Languages_WACV_2021_paper.pdf.
28. Fontjoy. (n. d.). Generate font combinations with deep learning. <https://fontjoy.com/>.
29. Adobe. (n. d.). Identify fonts using Retype. Adobe Help Center. <https://helpx.adobe.com/illustrator/desktop/design-with-text/fonts-and-scripts/identify-fonts-using-retype.html>.
30. MyFonts. (n. d.). WhatTheFont. <https://www.myfonts.com/pages/whatthefont>.
31. Fontspring. (n. d.). Fontspring Matcherator. <https://www.fontspring.com/matcherator>.
32. Adobe. (n. d.). Text to Vector Graphic in Adobe Illustrator. <https://www.adobe.com/products/illustrator/text-to-vector-graphic.html>.
33. Recraft. (n. d.). Recraft. <https://www.recraft.ai/>.
34. Володимир Юрчишин. Мистецтво книги: Вибране з колекції Музею книги і друкарства України: Каталог. (2015). Музей книги і друкарства України.
35. Дудник, І. (2013). Ранній Юрчишин. Кирилівські читання. <https://cyreading.blogspot.com/2013/09/blog-post.html>.
36. Ламонова, О.В. (2012). Мистецтво книжкового оформлення: Творчість Володимира Юрчишина. *Образотворче мистецтво*, 12, 76-80.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІМИ КОМУНІКАЦІЯМИ НА ПОЛІГРАФІЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Слуцкін М.В.

аспірант, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0009-0007-9995-9375

***Анотація.** У монографії розглянуто впровадження інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями на поліграфічних підприємствах. Проаналізовано роль інформаційних технологій (AI, MIS, CRM) у підвищенні ефективності обміну інформацією та прийняття рішень. Обґрунтовано вплив автоматизації комунікацій на координацію виробництва й зниження інформаційних втрат. Визначено перспективи розвитку таких систем для підвищення конкурентоспроможності підприємств.*

***Ключові слова:** інтелектуальні системи, внутрішні комунікації, поліграфічне підприємство, інформаційні технології, автоматизація технологія.*

Вступ

В умовах стрімкої цифровізації економіки та посилення конкуренції на ринку поліграфічних послуг особливої актуальності набуває проблема ефективного управління внутрішніми комунікаціями підприємства [1-11]. Поліграфічне виробництво характеризується складною організаційною структурою, що охоплює взаємодію різних підрозділів, зокрема відділів прийому замовлень, дизайну, допресової підготовки, друку та постпресових процесів [12-19]. Від якості, швидкості та узгодженості інформаційного обміну між цими підрозділами безпосередньо залежить ефективність виробничої діяльності, дотримання термінів виконання замовлень і рівень задоволеності клієнтів [20-22].

Традиційні підходи до організації внутрішніх комунікацій, що базуються на використанні розрізнених інформаційних каналів, паперових носіїв або неінтегрованих цифрових інструментів, часто призводять до виникнення інформаційних втрат, затримок у передачі даних, дублювання функцій і зростання ймовірності помилок [23, 24]. У результаті це негативно впливає на координацію виробничих процесів, ускладнює прийняття управлінських рішень і знижує загальну ефективність діяльності підприємства. У таких умовах виникає об'єктивна потреба у впровадженні сучасних підходів до управління комунікаційними потоками, що базуються на використанні інтелектуальних інформаційних систем.

Інтелектуальні системи управління внутрішніми комунікаціями являють собою комплекс програмно-технічних засобів, що поєднують можливості

автоматизації, аналітики та штучного інтелекту для забезпечення ефективного обміну інформацією між усіма учасниками виробничого процесу [23, 25].

Використання таких систем дозволяє не лише автоматизувати передачу даних, але й оптимізувати маршрутизацію інформаційних потоків, здійснювати пріоритезацію завдань, виявляти вузькі місця в комунікації та прогнозувати можливі затримки у виконанні замовлень. Особливого значення набуває інтеграція інтелектуальних рішень із корпоративними інформаційними системами, такими як MIS та CRM, що забезпечує формування єдиного інформаційного простору підприємства [26].

Важливою перевагою інтелектуальних систем є їх здатність адаптуватися до змін у внутрішньому та зовнішньому середовищі підприємства. Завдяки використанню методів машинного навчання та аналізу даних такі системи можуть враховувати попередній досвід виконання замовлень, особливості взаємодії між підрозділами, а також індивідуальні характеристики клієнтів. Це сприяє підвищенню точності управлінських рішень, скороченню часу обробки інформації та зменшенню впливу людського фактору.

Разом із тим впровадження інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями потребує вирішення низки важливих завдань, серед яких забезпечення якості та цілісності даних, інтеграція з існуючими інформаційними ресурсами, а також підготовка персоналу до роботи з новими технологіями [27]. Врахування цих аспектів є необхідною умовою успішної цифрової трансформації поліграфічного підприємства.

Таким чином, дослідження інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями є важливим напрямом розвитку сучасних поліграфічних підприємств [28]. Їх впровадження відкриває нові можливості для підвищення ефективності виробничих процесів, удосконалення організації праці та зміцнення конкурентних позицій підприємств у динамічному ринковому середовищі.

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження полягає у комплексному теоретичному обґрунтуванні та практичному аналізі застосування інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями на поліграфічних підприємствах в умовах цифрової трансформації, а також у визначенні їх впливу на підвищення ефективності інформаційного обміну між підрозділами, оптимізацію виробничих процесів, скорочення часових і ресурсних витрат та забезпечення високого рівня координації діяльності підприємства.

Досліджено можливості інтеграції інтелектуальних систем із сучасними інформаційними платформами (MIS, CRM) для формування єдиного інформаційного середовища та підвищення якості управлінських рішень.

Задачі дослідження передбачають:

- поглиблене вивчення теоретичних засад організації внутрішніх комунікацій у поліграфічному підприємстві та їх ролі у забезпеченні безперервності виробничого процесу;
- аналіз існуючих підходів і технологій управління комунікаційними потоками, включаючи традиційні та цифрові методи;
- дослідження функціональних можливостей інтелектуальних систем, зокрема застосування методів штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних для автоматизації та оптимізації інформаційного обміну;
- визначення особливостей інтеграції інтелектуальних систем із корпоративними інформаційними системами (MIS, CRM) та їх впливу на синхронізацію діяльності підрозділів;
- оцінювання ефективності впровадження таких систем з точки зору підвищення продуктивності праці, зменшення кількості помилок, скорочення часу виконання замовлень і покращення якості обслуговування клієнтів;
- визначення основних бар'єрів і ризиків впровадження інтелектуальних систем, включаючи технічні, організаційні та кадрові аспекти;
- формування рекомендацій щодо підвищення ефективності управління внутрішніми комунікаціями на основі використання сучасних інтелектуальних технологій.

Основна частина

У сучасних умовах цифровізації виробництва та стрімкого розвитку інформаційних технологій особливої актуальності набуває проблема ефективного управління внутрішніми комунікаціями на поліграфічних підприємствах.

Поліграфічне виробництво характеризується складною структурою взаємодії між підрозділами, що охоплює процеси:

- прийому замовлень;
- розробки дизайну;
- допресової підготовки;
- друку;
- постпресової обробки
- логістики.

Усі ці етапи супроводжуються значними обсягами інформаційного обміну, від оперативності та точності якого безпосередньо залежить ефективність діяльності підприємства [26]. Використання традиційних засобів комунікації, що базуються на електронній пошті, телефонному зв'язку та паперовому документообігу, часто призводить до втрати інформації, дублювання даних, порушення термінів виконання замовлень та збільшення навантаження на персонал.

У межах дослідження було проведено комплексний аналіз системи внутрішніх комунікацій поліграфічного підприємства (рис. 1) з використанням

методів системного аналізу, бізнес-модельовання та процесного підходу. Основною метою стало визначення ефективності впровадження інтелектуальної системи управління комунікаціями та оцінка її впливу на виробничі процеси підприємства.



Рисунок 1 – Схема внутрішніх комунікацій поліграфічного підприємства до впровадження інтелектуальної системи

Поглиблене вивчення теоретичних засад організації внутрішніх комунікацій дозволило встановити, що інформаційні потоки на поліграфічному підприємстві повинні забезпечувати оперативність передачі даних, цілісність інформації та можливість швидкого прийняття управлінських рішень. Ефективна комунікаційна система сприяє зниженню ризику втрати інформації, мінімізації дублювання даних і підвищенню рівня взаємодії між працівниками. Особливого значення це набуває в умовах високої динамічності поліграфічного ринку, де підприємства змушені оперативно реагувати на зміни попиту [29], виконувати термінові замовлення та адаптувати виробничі процеси до індивідуальних потреб клієнтів. У таких умовах традиційні методи управління комунікаціями, що базуються на паперовому документообігу, електронній пошті та телефонному зв'язку, часто виявляються недостатньо ефективними, оскільки не забезпечують належного рівня автоматизації та централізованого контролю інформаційних потоків.

У процесі дослідження було встановлено, що на більшості поліграфічних підприємств інформаційний обмін між підрозділами здійснюється фрагментарно, а окремі виробничі ділянки використовують власні локальні способи передачі даних.

Наприклад, відділ продажів може передавати технічні параметри замовлення дизайнерському відділу через електронну пошту, тоді як

друкарський цех отримує інформацію вже у вигляді паперових технічних карт або повідомлень через телефонний зв'язок. Такий підхід значно ускладнює контроль актуальності інформації, збільшує ризик виникнення помилок у параметрах друку та створює додаткові затримки під час виконання виробничих операцій. Особливо критичними подібні проблеми стають у випадках виконання термінових або індивідуалізованих замовлень, де будь-яке несвоєчасне оновлення інформації може призвести до повторного виготовлення продукції та збільшення виробничих витрат.

Важливим аспектом організації внутрішніх комунікацій є забезпечення безперервності інформаційних потоків між усіма етапами виробничого циклу. Поліграфічне підприємство являє собою складну систему взаємопов'язаних процесів, у якій кожна наступна виробнича операція залежить від правильності виконання попередньої. Наприклад, помилка у технічному завданні, що виникла на етапі прийому замовлення, може призвести до неправильного кольороподілу під час допресової підготовки, а це, своєю чергою, вплине на якість друку та подальшу постпресову обробку продукції. Саме тому ефективність внутрішніх комунікацій безпосередньо впливає не лише на швидкість виконання замовлень, але й на якість готової поліграфічної продукції.

На першому етапі було здійснено аудит існуючих інформаційних потоків підприємства. Аналіз показав, що основними проблемами є відсутність централізованої системи обміну даними, затримки під час передачі інформації між відділами, недостатня синхронізація роботи підрозділів та високий рівень залежності від людського фактору [25].

У результаті проведеного аналізу було встановлено, що найбільші затримки виникають на етапах погодження макетів, передачі технічних параметрів замовлення та координації роботи між виробничими підрозділами. Значна частина інформації дублюється у різних форматах, що призводить до підвищення ймовірності помилок. Крім того, відсутність єдиного інформаційного середовища ускладнює контроль за виконанням виробничих операцій та прийняття управлінських рішень.

Для вирішення виявлених проблем було запропоновано модель інтелектуальної системи управління внутрішніми комунікаціями, що базується на інтеграції сучасних інформаційних технологій, зокрема MIS-систем, CRM-систем та алгоритмів штучного інтелекту (рис. 2). Основним завданням такої системи є автоматизація інформаційних потоків, оптимізація маршрутизації даних та забезпечення оперативного обміну інформацією між усіма учасниками виробничого процесу.

Запропонована система складається з декількох функціональних модулів.

1. Модуль збору даних забезпечує інтеграцію інформації з різних джерел, включаючи бази даних підприємства, системи управління виробництвом та канали комунікації з клієнтами.

2. Аналітичний модуль здійснює обробку інформації за допомогою методів машинного навчання та статистичного аналізу.

3. Модуль управління комунікаціями відповідає за автоматичний розподіл завдань між підрозділами та контроль їх виконання.

4. Модуль підтримки прийняття рішень формує рекомендації для управлінського персоналу на основі аналізу поточних виробничих показників.

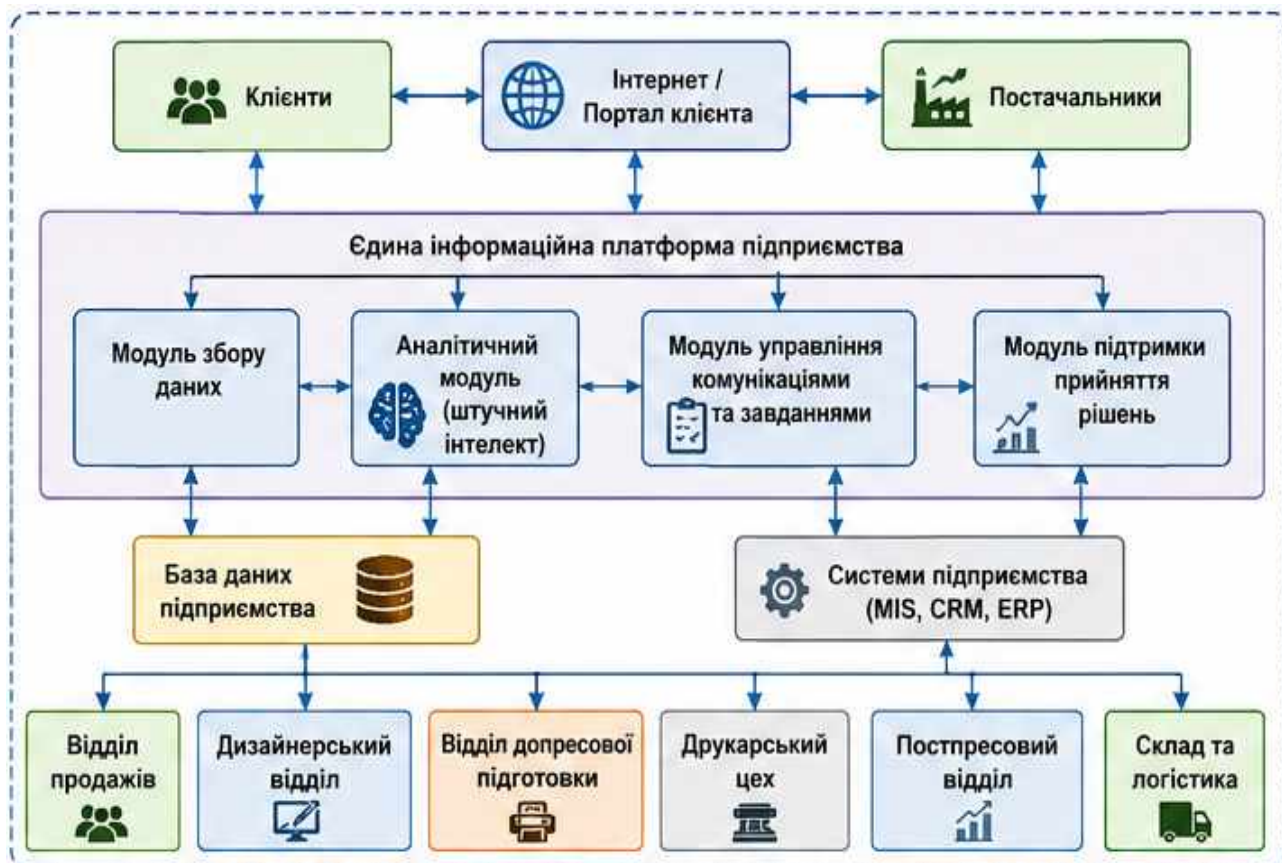


Рисунок 2 – Інтегрована структура інтелектуальної системи управління комунікаціями

Методична складова дослідження передбачала використання математичних моделей для оцінки ефективності функціонування системи (рис. 3).



Рисунок 3 – Алгоритм функціонування інтелектуальної системи управління комунікаціями

Для аналізу інформаційних потоків було використано графову модель, у якій вузли відповідають структурним підрозділам підприємства, а ребра – каналам передачі інформації.

На основі цієї моделі було визначено критичні точки виникнення затримок та оптимізовано маршрути передачі даних.

У рамках експериментального дослідження було проведено моделювання роботи підприємства до та після впровадження інтелектуальної системи. Для оцінювання результатів використовувалися такі показники: середній час передачі інформації між підрозділами, кількість помилок у виробничих завданнях, тривалість виконання замовлення, рівень завантаженості обладнання та швидкість прийняття управлінських рішень.

Результати експерименту показали, що впровадження інтелектуальної системи дозволило скоротити час передачі інформації між підрозділами на 35-45 %, зменшити кількість помилок під час обробки замовлень приблизно на 25 %, а також підвищити рівень координації між структурними підрозділами підприємства. Крім того, автоматизація комунікаційних процесів сприяла більш ефективному використанню виробничих ресурсів та зменшенню навантаження на управлінський персонал [24, 26].

Для наочності отриманих результатів було проведено порівняльний аналіз ефективності роботи підприємства до та після впровадження системи (рис. 4).



Рисунок 4 – Порівняння ефективності роботи підприємства до та після впровадження системи

Проведений аналіз існуючих підходів і технологій управління комунікаційними потоками показав, що сучасні поліграфічні підприємства поступово переходять від традиційних моделей організації інформаційного обміну до цифрових систем управління, які забезпечують інтеграцію всіх виробничих процесів у межах єдиного інформаційного середовища. Традиційні підходи характеризуються фрагментарністю передачі даних та значною залежністю від людського фактору, що підвищує ймовірність помилок і

затримок у роботі. Використання цифрових технологій, навпаки, дозволяє забезпечити автоматизований обмін інформацією між структурними підрозділами, підвищити прозорість виробничих процесів та створити умови для оперативного моніторингу виконання виробничих завдань.

Особливу роль у цьому процесі відіграють MIS- та CRM-системи, які забезпечують централізоване накопичення даних про замовлення, стан виробництва, завантаження обладнання та взаємодію з клієнтами. Інтеграція таких систем дозволяє формувати єдиний інформаційний простір підприємства, у якому всі підрозділи працюють із актуальними даними в режимі реального часу. Наприклад, після внесення менеджером нового замовлення у CRM-систему інформація автоматично передається до MIS-системи, де формується виробниче завдання, визначаються строки виконання та розраховується завантаження обладнання. У результаті друкарський цех, відділ допресової підготовки та склад матеріалів отримують актуальну інформацію одночасно, що дозволяє значно скоротити час обробки замовлення та уникнути інформаційних втрат.

Дослідження функціональних можливостей інтелектуальних систем показало, що використання методів штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації внутрішніх комунікацій. Інтелектуальні системи здатні не лише забезпечувати передачу інформації між підрозділами, але й аналізувати виробничі процеси, прогнозувати можливі затримки, автоматично визначати пріоритетність завдань і формувати рекомендації для управлінського персоналу. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє системі накопичувати статистичні дані про роботу підприємства та виявляти закономірності у виконанні виробничих операцій. Це забезпечує можливість адаптації системи до змін виробничого середовища та підвищує ефективність управління інформаційними потоками.

Наприклад, система може аналізувати історію виконання замовлень та визначати, що у певні періоди року збільшується навантаження на друкарський цех через сезонний попит на рекламну продукцію або пакування. На основі таких даних система автоматично прогнозує можливе перевантаження обладнання та рекомендує зміну графіка роботи або перерозподіл виробничих ресурсів. Крім того, інтелектуальна система може визначати типові причини затримок у виробництві, наприклад нестачу матеріалів, перевищення допустимого навантаження на окремі виробничі ділянки чи затримки погодження макетів із клієнтами.

Особливого значення набуває використання прогнозової аналітики, що дозволяє оцінювати ймовірність виникнення затримок у виробництві, перевантаження окремих виробничих ділянок або дефіциту ресурсів. На основі аналізу історичних даних інтелектуальна система може автоматично коригувати маршрути передачі інформації та змінювати пріоритетність виконання замовлень залежно від поточного стану виробництва. Це забезпечує перехід від реактивної моделі управління до проактивної, коли управлінські рішення

приймаються на основі прогнозування можливих ризиків ще до моменту їх виникнення.

У традиційній системі управління проблеми зазвичай виявляються вже після виникнення негативних наслідків, наприклад після зриву строків виконання замовлення або виникнення простою обладнання. Інтелектуальні системи дозволяють уникнути таких ситуацій завдяки постійному моніторингу виробничих показників. Наприклад, якщо система виявляє, що один із друкарських модулів працює з підвищеним навантаженням і існує ризик перевищення термінів виконання замовлень, вона може автоматично запропонувати перенесення частини робіт на інше обладнання або зміну черговості виробничих операцій.

Крім того, використання інтелектуальних систем сприяє підвищенню ефективності взаємодії між працівниками підприємства. Автоматизація рутинних комунікаційних процесів дозволяє зменшити навантаження на персонал, скоротити кількість повторюваних операцій та підвищити швидкість обробки інформації. Працівники отримують доступ до централізованої бази даних, де в режимі реального часу відображаються всі зміни щодо замовлень, технічних параметрів продукції та стану виробничих процесів. Це значно зменшує кількість непорозумінь між структурними підрозділами та підвищує рівень координації роботи підприємства.

Водночас інтеграція сучасних цифрових технологій потребує підвищення рівня цифрової компетентності працівників та адаптації організаційної структури підприємства до нових умов функціонування. У процесі дослідження було встановлено, що ефективність функціонування інтелектуальної системи значною мірою залежить від готовності персоналу до використання цифрових інструментів. Саме тому важливим етапом цифрової трансформації підприємства є проведення навчання працівників, формування цифрової культури та підвищення рівня інформаційної грамотності персоналу.

Таким чином, впровадження інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями є важливим напрямом розвитку поліграфічних підприємств, що дозволяє забезпечити безперервність виробничого процесу, підвищити ефективність управління та створити основу для подальшої цифрової трансформації галузі. Використання сучасних цифрових технологій забезпечує не лише автоматизацію інформаційного обміну, але й формує передумови для створення адаптивного, гнучкого та високоефективного виробничого середовища, здатного швидко реагувати на зміни ринку та потреби клієнтів.

Результати досліджень

Впровадження інтелектуальної системи управління внутрішніми комунікаціями на поліграфічному підприємстві є складним багаторівневим процесом, який потребує поетапного підходу, технічної підготовки, аналізу виробничих процесів та адаптації персоналу до нових умов роботи. Ефективність

функціонування такої системи значною мірою залежить не лише від технологічних можливостей програмного забезпечення, а й від правильності організації всіх етапів впровадження (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні етапи впровадження інтелектуальної системи на поліграфічному підприємстві

Етап впровадження	Основний зміст робіт	Очікуваний результат
Аналіз підприємства	Аудит бізнес-процесів та комунікацій	Виявлення проблем та потреб підприємства
Формування технічного завдання	Визначення вимог до системи	Створення структури майбутньої системи
Проектування системи	Розробка архітектури та модулів	Підготовка до інтеграції
Інтеграція з MIS та CRM	Об'єднання інформаційних потоків	Єдиний інформаційний простір
Тестування системи	Перевірка функціонування	Виявлення та усунення помилок
Навчання персоналу	Підготовка працівників до роботи	Адаптація персоналу
Повномасштабне впровадження	Запуск системи у виробництво	Автоматизація комунікацій
Моніторинг та оптимізація	Аналіз ефективності роботи	Підвищення продуктивності

Особливістю поліграфічного виробництва є наявність великої кількості взаємопов'язаних процесів, де кожний підрозділ залежить від швидкості та точності передачі інформації. Саме тому впровадження інтелектуальної системи має здійснюватися комплексно, із врахуванням виробничої специфіки підприємства.

На початковому етапі здійснюється комплексний аудит підприємства та аналіз існуючих бізнес-процесів. Основною метою цього етапу є виявлення проблемних зон у системі внутрішніх комунікацій, визначення рівня цифровізації підприємства та оцінювання готовності до інтеграції нових технологій. Аналіз охоплює процеси обміну інформацією між підрозділами, маршрути передачі даних, тривалість виконання операцій та наявність дублювання інформації. У більшості випадків саме на цьому етапі виявляються основні причини втрати часу та помилок у виробничому процесі.

Після проведення аудиту формується технічне завдання на розробку або впровадження інтелектуальної системи. Технічне завдання містить опис функціональних вимог, структури системи, інтеграційних можливостей та критеріїв оцінювання ефективності. Особлива увага приділяється інтеграції з уже існуючими MIS- та CRM-системами підприємства, оскільки саме вони

забезпечують централізоване накопичення виробничої та клієнтської інформації [26].

Наступним етапом є проектування архітектури системи. На цьому етапі визначаються основні модулі інтелектуальної системи, способи взаємодії між ними та структура баз даних. Типова структура системи включає модуль збору даних, аналітичний модуль, модуль управління комунікаціями, модуль підтримки прийняття рішень та систему моніторингу виробничих процесів. Важливим аспектом є забезпечення безперервного інформаційного обміну між усіма компонентами системи.

Одним із найважливіших етапів є інтеграція системи з існуючими інформаційними платформами підприємства. На поліграфічних підприємствах зазвичай уже використовуються системи управління виробництвом, бухгалтерські програми, CRM-платформи та локальні бази даних.

Інтелектуальна система повинна забезпечити синхронізацію всіх цих компонентів у межах єдиного інформаційного простору (рис. 5). Це дозволяє мінімізувати дублювання інформації та забезпечити оперативний доступ до актуальних даних.



Рисунок 5 – Етапи впровадження інтелектуальної системи на поліграфічному підприємстві

Після завершення інтеграції проводиться тестування системи. На цьому етапі здійснюється перевірка коректності роботи всіх модулів, швидкості обробки даних, стабільності інформаційного обміну та точності виконання алгоритмів. Для тестування зазвичай використовуються типові виробничі сценарії, які моделюють реальні умови функціонування підприємства. Особливу увагу приділяють перевірці автоматичної передачі виробничих завдань між підрозділами та роботі системи в умовах підвищеного навантаження.

Важливим етапом є навчання персоналу. Навіть найбільш сучасна система не забезпечить високої ефективності без належної підготовки працівників. Навчання охоплює ознайомлення з функціональними можливостями системи, принципами роботи інтерфейсу, алгоритмами взаємодії між підрозділами та правилами роботи з даними. Працівники повинні розуміти не лише технічні аспекти роботи системи, а й її роль у загальному виробничому процесі.

Після завершення підготовчих робіт здійснюється повномасштабне впровадження системи у виробниче середовище. На цьому етапі інтелектуальна система починає виконувати функції автоматизації комунікацій, контролю виробничих процесів та підтримки прийняття рішень. Система автоматично формує виробничі завдання, контролює строки виконання операцій та забезпечує оперативне інформування відповідальних осіб про можливі відхилення.

Однією з ключових переваг інтелектуальних систем є можливість використання алгоритмів машинного навчання для аналізу виробничих процесів. Система може накопичувати статистичні дані, аналізувати історію виконання замовлень та прогнозувати можливі затримки або перевантаження окремих виробничих ділянок. Це дозволяє підприємству переходити від реактивного управління до проактивного, коли потенційні проблеми виявляються ще до їх виникнення.

Дана інформація з перевагами наслідками та особливостями показана на рис. 6.

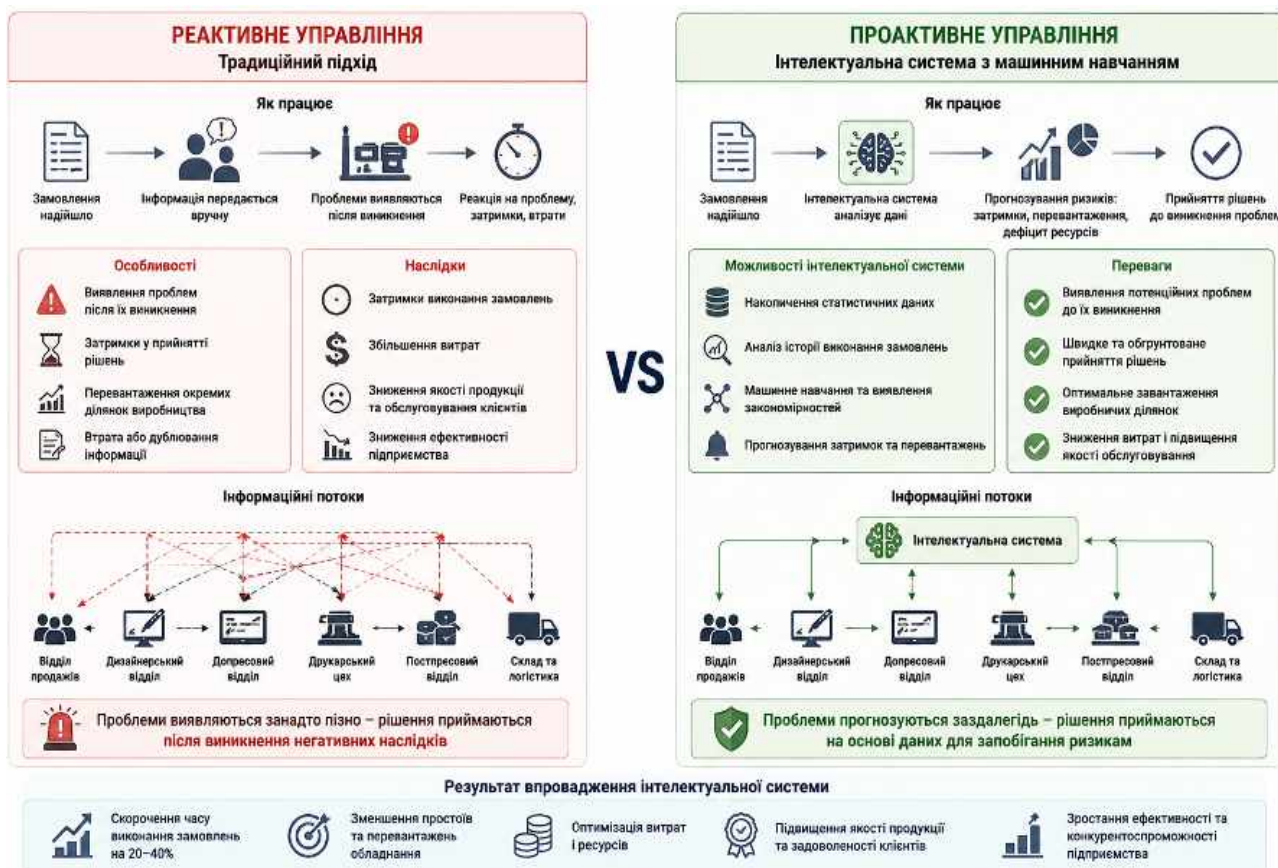


Рисунок 5 – Порівняння підходів до управління виробничими процесами

Після запуску системи особливого значення набуває етап моніторингу та оптимізації. У процесі експлуатації проводиться аналіз ефективності роботи системи, оцінюється швидкість обробки інформації, рівень навантаження на персонал та якість взаємодії між підрозділами. За результатами моніторингу можуть вноситися зміни до алгоритмів роботи системи, удосконалюватися інтерфейси або змінюватися маршрути передачі інформації.

Окремої уваги потребує питання інформаційної безпеки [30-33]. Оскільки інтелектуальна система обробляє значні обсяги внутрішньої інформації підприємства, важливо забезпечити захист даних від несанкціонованого доступу, втрати або пошкодження. Для цього використовуються механізми багаторівневої автентифікації, резервного копіювання та шифрування даних.

Таким чином, впровадження інтелектуальної системи на поліграфічному підприємстві є багатокомпонентним процесом, що охоплює технічні, організаційні та кадрові аспекти. Правильна реалізація всіх етапів дозволяє забезпечити підвищення ефективності внутрішніх комунікацій, оптимізацію виробничих процесів, зниження кількості помилок та формування єдиного цифрового середовища підприємства.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що впровадження інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями є одним із ключових напрямів цифрової трансформації сучасних поліграфічних підприємств. У ході роботи було комплексно проаналізовано особливості організації внутрішніх комунікацій у поліграфічному виробництві, досліджено основні проблеми традиційних методів інформаційного обміну, а також визначено можливості використання інтелектуальних технологій для підвищення ефективності управління підприємством.

Під час дослідження встановлено, що традиційна система внутрішніх комунікацій поліграфічних підприємств у більшості випадків характеризується фрагментарністю інформаційних потоків, використанням розрізнених каналів передачі інформації та значною залежністю від людського фактору. Використання електронної пошти, телефонного зв'язку, локальних таблиць та паперової документації ускладнює оперативний обмін інформацією між структурними підрозділами, що призводить до затримок у виконанні замовлень, виникнення помилок у виробничих завданнях та зниження загальної ефективності виробництва. Особливо критичними такі недоліки є для поліграфічних підприємств, де виробничі процеси мають високий рівень взаємозалежності, а будь-які затримки в передачі інформації можуть негативно впливати на терміни виконання замовлень та якість готової продукції.

Було проведено аналіз існуючих моделей внутрішніх комунікацій та побудовано схеми інформаційних потоків між підрозділами підприємства. Це дозволило виявити основні проблемні ділянки, серед яких: дублювання інформації, недостатній рівень централізації даних, складність контролю виконання виробничих операцій, а також відсутність єдиного цифрового середовища для взаємодії між відділами. На основі отриманих результатів було обґрунтовано необхідність впровадження інтегрованої інтелектуальної системи управління комунікаціями, здатної забезпечити автоматизацію інформаційних процесів та підвищення швидкості обміну даними.

Розроблено концептуальну модель інтелектуальної системи управління внутрішніми комунікаціями, яка базується на інтеграції MIS-систем, CRM-систем та алгоритмів штучного інтелекту.

Встановлено, що використання єдиного інформаційного середовища дозволяє забезпечити централізоване зберігання даних, синхронізацію роботи всіх структурних підрозділів та автоматичну передачу інформації між етапами виробничого циклу. Такий підхід сприяє підвищенню прозорості виробничих процесів, покращенню координації між працівниками та зменшенню кількості комунікаційних помилок.

Особливу увагу в дослідженні було приділено використанню інтелектуальних алгоритмів для автоматизації управлінських процесів. Було встановлено, що застосування методів машинного навчання, прогновної аналітики та аналізу великих даних дозволяє системі адаптуватися до змін виробничого середовища. Інтелектуальна система здатна аналізувати історичні виробничі дані, визначати закономірності у виконанні замовлень, прогнозувати можливі затримки та автоматично змінювати пріоритетність виробничих завдань. Це забезпечує перехід від реактивної моделі управління до проактивної, коли управлінські рішення приймаються не після виникнення проблеми, а на основі прогнозування потенційних ризиків та відхилень.

У ході експериментальної частини дослідження було проведено моделювання роботи поліграфічного підприємства до та після впровадження інтелектуальної системи.

Отримані результати підтвердили високу ефективність запропонованого підходу. Зокрема, було зафіксовано скорочення часу передачі інформації між підрозділами на 35-45 %, зменшення кількості помилок у процесі виконання замовлень приблизно на 25-30 %, а також підвищення загальної продуктивності виробничих процесів. Крім того, автоматизація внутрішніх комунікацій сприяла більш ефективному використанню виробничих ресурсів, оптимізації завантаження обладнання та скороченню непродуктивних витрат часу.

Доведено, що впровадження інтелектуальних систем позитивно впливає на якість управлінських рішень. Завдяки використанню аналітичних модулів та систем підтримки прийняття рішень керівництво підприємства отримує можливість оперативно аналізувати поточний стан виробництва, контролювати виконання замовлень у режимі реального часу та швидко реагувати на зміни виробничого середовища. Це особливо важливо в умовах високої конкуренції на ринку поліграфічних послуг, де швидкість обробки замовлень та гнучкість виробництва є одними з основних факторів конкурентоспроможності.

Окремим напрямом дослідження стало вивчення питань інформаційної безпеки та захисту даних. У роботі було обґрунтовано необхідність використання багаторівневої системи захисту інформації, яка включає механізми автентифікації користувачів, контроль доступу до даних, резервне копіювання та шифрування інформації.

Встановлено, що в умовах цифровізації виробництва питання безпеки інформаційних ресурсів набуває особливого значення, оскільки значна частина виробничої документації, технічних параметрів замовлень та комерційної інформації зберігається в електронному вигляді.

У процесі дослідження було проаналізовано вплив інтелектуальної системи на персонал підприємства. Встановлено, що автоматизація рутинних комунікаційних процесів дозволяє суттєво зменшити навантаження на працівників, мінімізувати кількість повторюваних операцій та підвищити продуктивність праці. Водночас ефективне функціонування системи потребує належного рівня цифрової компетентності персоналу. У зв'язку з цим було визначено необхідність проведення навчання працівників, адаптації організаційної структури підприємства до нових умов роботи та формування цифрової культури всередині підприємства.

Крім того, у межах дослідження було розглянуто основні етапи впровадження інтелектуальної системи на поліграфічному підприємстві. Було встановлено, що ефективне впровадження потребує комплексного підходу, який включає аудит існуючих бізнес-процесів, формування технічного завдання, інтеграцію з наявними інформаційними системами, тестування програмного забезпечення, навчання персоналу та подальший моніторинг ефективності функціонування системи. Особливу увагу було приділено необхідності поетапного впровадження, що дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити поступову адаптацію підприємства до нових технологічних умов.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують, що використання інтелектуальних систем управління внутрішніми комунікаціями є ефективним інструментом підвищення продуктивності та конкурентоспроможності поліграфічних підприємств. Впровадження таких систем дозволяє забезпечити автоматизацію інформаційних процесів, покращити координацію між підрозділами, скоротити витрати часу та ресурсів, підвищити якість управлінських рішень і створити основу для подальшої цифрової трансформації поліграфічної галузі.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні алгоритмів штучного інтелекту, розширенні функціональних можливостей систем та поглибленні інтеграції інтелектуальних технологій із виробничими процесами поліграфічних підприємств.

Список літератури.

1. Slutskin, M., & Vovk, O. (2025). Analysis of information technologies for communication management in a printing company. *Management Information System and Devises*, 4(187), 180-188. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2025.187.123>.
2. Vovk, O.V., Chebotarova, I.B., Donskiy, D.O., & Chebotarov, R.I. (2025) Methods for improving print quality for Konica Minolta 6085 digital printing press. *Metrology and Instruments*, (2), 82-91. <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2025.2.11>.
3. 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».

4. Вовк, О.В., Гаращук, Є.В., & Григор'єв, А.В. (2025). Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою цифрових систем управління. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 84-85).
5. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Поленок, Д.В. (2022). Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «НАРГУС». Radiotekhnika, (209), 226-238. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.2.209.23>.
6. Гаращук, Є.В., & Вовк, О.В. (2026). Аналіз цифрових систем управління поліграфічним виробництвом. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 159).
7. Кулішова, Н.Є., Яценко, Л.О., & Ткаченко, В.П. (2024). Проектування друкованих видань та технологій їхнього виготовлення: навч. посіб. для здобувачів вищої освіти з дисципліни «Основи технології поліграфічного виробництва» та з виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи спеціальності 186 Видавництво та поліграфія. Харків: ХНУРЕ. <https://doi.org/10.30837/978-966-659-365-1>.
8. Слуцкін, М.В., & Вовк, О.В. (2026). Автоматизовані системи управління виробництвом (MIS) у поліграфії. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. Т. 2. (с. 228-230).
9. Слуцкін, М.В., Дейнеко, Ж.В., Вовк, О.В., & Манаков, В.П. (2025). Ефективність сучасних способів друку в етикетковому виробництві. Поліграфія і видавнича справа, 2(90), 165-183. DOI: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2025-2-90-165-183>.
10. 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».
11. Чеботарьова, І.Б., & Бойко, А.О. (2018). Підвищення ефективності оперативного управління поліграфічним підприємством за допомогою АСУП. Structural transformations and problems of information economy formation: Collective monograph. (с. 268-280). Ascona Publishing. New York, USA.
12. Григор'єв, О.В., & Вовк, О.В. (2022). Метрологічне забезпечення якості поліграфічної продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 16-17).
13. Григор'єв, О.В., Вовк, О.В., & Горудко, М.Д. (2023). Вивчення допоміжного обладнання необхідного для забезпечення друкарського процесу. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 118-122).
14. 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).
15. Григор'єв, О.В., Похил, А.В., & Вовк, О.В. (2023). Види та засоби вимірювань у післядрукарських процесах. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 12-13).
16. Дурняк, Б.В., Ткаченко, В.П., & Чеботарьова, І.Б. (2011). Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД.
17. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
18. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2005). Оперативні та спеціальні види друку. Технологія, устаткування: навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ.
19. Ткаченко, В.П., & Манаков, В.П. (2007). Цифровий оперативний друк: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ.
20. Чеботарьова, І.Б., & Хлинїна, С.Г. (2023). Аналіз цільової аудиторії книжкових подарункових видань. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 99-103).
21. Хлинїна, С., & Вовк, О. (2024). Дослідження попиту на подарункові видання книг в Україні. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 155).
22. Vovk, O., Chebotarova, I., Manakov, V. Khlynina, S., Mendieliyeva, M. (2026). Impact of component configuration and design solution in book gift edition on target audience preferences. Актуальні проблеми сталого розвитку, 3(1), 107-123. DOI: [https://doi.org/10.60022/3\(1\)-14S](https://doi.org/10.60022/3(1)-14S).

23. Бондар, Д.С., & Пашенко, О.П. (2023). Удосконалення інформаційного забезпечення системи менеджменту підприємства. *Економіка, управління та адміністрування*, 4(106), 11-16. [https://doi.org/10.26642/ema-2023-4\(106\)-11-16](https://doi.org/10.26642/ema-2023-4(106)-11-16).
24. Пасічник, Д.Р., & Слюніна, Т.Л. (2023). Впровадження новітніх інформаційних систем для управління запасами на підприємствах. *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Серія економічна*, (1), 58-66. <https://doi.org/10.32782/2311-844X/2023-1-8>.
25. Ясінська, А., Река, В., & Кізляк, Я. (2023). Вплив цифрової трансформації на побудову інформаційно-облікової системи підприємства. *Економіка та суспільство*, (57). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-113>.
26. Мельник, І.-М.М. (2023). Проєкт інформаційної системи діяльності поліграфічної фірми. Львів: НУ «Львівська політехніка». <https://ena.lpnu.ua/server/api/core/bitstreams/721f9caa-5a91-49e8-8fa3-b4daec6e52e9/content>.
27. Розум, Т.В., Золотухіна, К.І., Кушлик-Дивульська, О.І., Петришина, А.А., & Марчук, І.В. (2023). Вдосконалення технології виготовлення поліграфічної продукції із використанням 3D-друку. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Т. 2, 1(122), 99-108. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275913>.
28. Кучер, Л.Ю., Русин-Гриник, Р.Р., & Говда, Д.О. (2023). Торговельне підприємництво як специфічне середовище розвитку інформаційних систем. *Київський економічний науковий журнал*, (3), 52-59. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-3-10>.
29. Вовк, О.В., & Слуцкін, М.В. (2026). Інтелектуальні системи прогнозування попиту на поліграфічну продукцію. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 1. (с. 171-172).
30. Храпкін, О. (2023). Стратегічне управління інформаційною безпекою підприємства: сучасні підходи та виклики. *Проблеми і перспективи економіки та управління*, 4(36), 86-94. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2023-4\(36\)-86-94](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2023-4(36)-86-94).
31. Демченко, Ю.В. (2023). Безпека інформаційних систем вагонного господарства. *ITSynergy*, (2), 71-79. <https://doi.org/10.53920/ITS-2023-2-9>.
32. Медвідь, В.Ю., Правдивець, О.М., & Кривчун, Р.Ю. (2023). Теоретико-методичні засади формування системи управління інформаційною безпекою підприємства. *Агросвіт*, 1, 24-30. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.1.24>.
33. Овсяк, В.К., Турчак, В.Р., & Овсяк, О.В. (2023). Модель вибору сповіщувачів системи безпеки. *Український журнал інформаційних технологій*. Т. 5, (2), 17-24. <https://doi.org/10.23939/ujit2023.02.017>.

ANALYSIS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN PLATE-MAKING PROCESSES OF GRAVURE PRINTING

Maik L.

PhD, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-8552-0942

Maik V.

PhD, Professor, Department of Printing Technologies and Packaging,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-6650-2703

Abstract. *The evolution of gravure printing plate manufacturing methods is examined, from traditional electromechanical techniques to high-precision laser technologies of direct laser engraving. A study was conducted on the influence of halftone cell parameters on the ink-carrying capacity of printing plates manufactured by laser engraving.*

Keywords: *digital technologies, plate-making processes, gravure printing forms, gravure printing, laser engraving, quality indicators.*

Introduction

The modern development of the printing industry is characterized by the intensive implementation of digital technologies that significantly transform traditional production processes. These changes are particularly noticeable in the plate-making processes of gravure printing, which remains one of the leading methods for producing high-quality products in large print runs, especially in the packaging industry, the production of security documents, and decorative materials. High requirements for image reproduction quality, printing process stability, and economic efficiency necessitate the improvement of printing plate manufacturing technologies.

Traditional methods of gravure plate preparation, based on electromechanical engraving or chemical etching, have a number of limitations related to the accuracy of reproducing fine details, the complexity of controlling halftone cell parameters, and a significant dependence on the human factor. In this regard, digital technologies, in particular laser engraving, automated control systems, and digital image processing, open new opportunities for improving the quality and efficiency of plate-making processes.

The relevance of this study is determined by the need for a systematic analysis of modern digital solutions in the field of gravure plate manufacturing, assessment of their impact on the qualitative and technological indicators of the process, as well as identification of prospects for further industry development. Despite the considerable number of scientific works devoted to certain aspects of the digitalization of printing production, the issue of the comprehensive impact of digital technologies on the plate-making processes of gravure printing requires further research.

Research Aim and Objectives

The aim of the study is a comprehensive analysis of modern digital technologies used in the plate-making processes of gravure printing, with the determination of their impact on the quality of printing plate production, the stability of the printing process, and the efficiency of printing production.

To achieve this aim, the following objectives must be accomplished:

- to analyze the current state and development trends of plate-making processes in gravure printing;
- to characterize the operating principles and technological capabilities of digital systems, in particular laser engraving and automated process control;
- to assess the impact of digital technologies on the parameters of halftone cell formation (ink-carrying capacity);
- to determine the advantages and limitations of implementing digital technologies in gravure plate-making processes.

The formulated aim and objectives define the logic of the research and are aimed at a comprehensive disclosure of the specific features of applying digital technologies in the plate-making processes of gravure printing.

Main Part

Implementation of Digital Technologies in Gravure Plate-Making Processes

Pixel-by-pixel image recording on a gravure printing cylinder can be performed by three methods: electromechanical, electro-optical (laser), and electron-beam techniques. The technology of gravure plate production by removing material from the printing elements through electromechanical engraving became widespread in 1964 after the German company Hell developed the electronic opto-mechanical device known as the helioklischograph. Electromechanical engraving (EME) is characterized by a reduced number of process stages, operational stability, high productivity, lower material consumption, and improved working conditions. At the same time, it requires expensive and sophisticated equipment, high precision, accurate cylinder geometry, and an improved quality of the copper coating. Since 1977, models of electromechanical engraving systems have been produced, differing in the number of simultaneously operating engraving heads, the number of cylinders processed at the same time, engraving speed, scanning parameters, screen ruling capabilities, and other technical characteristics [1-5].

The increase in computer performance and their widespread adoption in the 1980s made it possible to fully realize the advantages of electromechanical engraving. Beginning in 1985, digital electronic engraving devices controlled directly by computer signals were introduced. This contributed to the development of computer-to-plate (CtP) technologies. The operating speed of the first helioklischographs reached 3,500 cells per second. Later, the standard speed for a long period was considered to

be 4,000 cells per second (4 kHz). In 1998, systems with an engraving frequency of 8 kHz were introduced, followed later by 10 kHz systems developed by Hell.

In the first installation created in 1977 by Crosfield, engraving with a CO₂ laser was carried out on a layer of epoxy resin applied to a printing cylinder with pre-etched cells of identical depth. After printing, the epoxy resin was removed from the cylinder cells, allowing the cylinder to be reused multiple times. Along with high production speed, these forms demonstrated high run durability of up to 3 million impressions [6].

In 1995, MAN Roland Druckmaschinen AG developed a process for obtaining gravure forms by direct laser engraving inside the printing press itself – the computer-to-press (CtPress) technology. The engraved cells of a ceramic or steel cylinder are filled with polymer, after which the cylinder is installed in the printing machine. A laser evaporates the polymer and forms the printing elements directly on the cylinder surface.

At the beginning of the 1990s, the so-called indirect laser engraving method was implemented by Spectron Schepers-Ohio. This method was based on a combination of laser imaging and chemical etching processes. Laser exposure was carried out on a light-sensitive or thermal-sensitive layer to obtain a mask resistant to the etching solution. In 1995, the Digital system was introduced, based on digital laser exposure of gravure cylinders. Laser imaging was performed on a cylinder coated with a special polymer layer, followed by chemical etching. An important advantage of this technology was the possibility of using the same copper-plated cylinders as in electromechanical engraving. Its limitation was the inability to produce cells of variable depth. In the same year, MDC Max Daetwyler presented the automatic engraving system LaserStar, designed for direct laser engraving of a zinc layer applied to a printing cylinder.

Alongside these technologies, further developments continued in the field of direct laser engraving of copper-plated gravure cylinders. In 1998, Hell introduced a process for laser engraving electrolytic copper alloy cylinders [6]. The first photopolymer gravure plate, Nylograv, intended to replace copper-coated cylinders, was launched in 1985 by BASF.

Laser Technologies for Gravure Plate Manufacturing Modern CtP Systems and Materials for Printing Plate Production

Ukrainian printing enterprises operate under new market conditions; as a result, print runs are decreasing, product quality requirements are increasing, and the number of printing colors is expanding. New concepts such as print-on-demand and personalized printing have emerged [7-9].

The possibility of processing textual and illustrative materials in digital form has led to the development of several new technological directions in printing plate production, particularly the computer-to-plate (CtP) technology. The essence of this technology lies in recording the image directly onto the printing plate, bypassing the stage of producing and assembling screened film positives, which significantly simplifies and reduces the cost of the technological cycle. The purpose of developing

and implementing new technologies is to shorten the production cycle, reduce labor intensity, and save costs related to equipment and consumable materials [7–9, 11].

The operating principle of a CtP device differs little from that of conventional imagesetters: a laser beam forms the image on the printing plate fixed on the inner or outer side of a drum [6]. CtP technologies used in various sectors of the printing industry, including newspapers, books, packaging products, magazines, and catalogs, make it possible to widely implement digital production systems.

The application of CtP technology has a number of advantages [6, 7]:

- reduction of the production cycle due to the elimination of film exposure, film processing, and intermediate plate-making stages;

- generation of additional profit through increased efficiency and reduced overall production costs. For short print runs, direct plate exposure, despite somewhat higher plate costs, may be more economical than traditional methods, primarily because there is no need to produce film positives. CtP also eliminates the need for certain equipment such as contact frames and film assembly systems. Production space requirements and energy consumption are reduced;

- reduction of prepress preparation time;

- decrease in the number of personnel required in prepress operations;

- lower prepress costs due to the absence of films and processing chemicals;

- reduction of waste sheets and, consequently, savings in ink, washing solutions, and related materials;

- CtP is a more accurate process. Each plate is the first original “copy” produced from the same digital data set. As a result, sharper halftone dots, more precise registration, more accurate reproduction of the full tonal range, and lower dot gain are achieved, while simultaneously accelerating make-ready and press setup operations;

- elimination of mounting errors. Since film assembly is absent in direct plate exposure, problems associated with inaccurate or faulty film mounting are removed;

- the technology is environmentally friendly due to the absence of film-processing chemicals;

- along with improved print quality, the technological cycle time is reduced, and the system allows publications to remain open until the last moment for placement of advertising materials.

At the same time, CtP systems also have certain disadvantages:

- relatively high cost of the systems, requiring substantial investment;

- difficulties with producing large-format proof prints;

- increased qualification requirements for the operator;

- use of expensive specialized plates and consumable materials.

Main Types of Lasers Used in CtP Systems

All plates used in CtP systems, with the exception of inkjet technology or electrophotography, are sensitive to a specific spectral region and to the wavelength of a particular laser source. Therefore, the following types of lasers are currently used in CtP systems [6, 7, 10]:

- Argon-ion (Argon) – blue visible laser with a wavelength of 488 nm;
- Helium-neon (He-Ne) – visible laser with wavelength of 633 nm;
- Carbon dioxide (CO₂) – gas infrared laser with a wavelength of 10,600 nm;
- Red Laser Diode (RLD) – low-power red visible laser with a wavelength of 670 nm;
- High-Power Laser Diode (HPLD) – infrared laser with a wavelength of 830 nm used for thermal exposure;
- Nd:YAG – high-power infrared laser for thermal exposure with a wavelength of 1064 nm;
- Frequency-doubled Nd:YAG – green visible laser with a wavelength of 532 nm.

In most CtP systems, argon-ion and helium-neon gas lasers, as well as low-power red and infrared diode lasers, are commonly used. However, thermal-sensitive plates are becoming increasingly widespread, requiring higher-energy imaging devices. Therefore, sufficiently powerful infrared laser diodes are used for imaging such plates. Radiation sources in external drum systems are infrared lasers with emission wavelengths around 1100 nm. Some types of thermal-sensitive plates also require the use of argon-ion lasers.

Nd:YAG lasers with radiation wavelengths of 1064 nm and 532 nm are also used in plate-making production. These are solid-state lasers based on neodymium-doped yttrium aluminum garnet, widely used in industrial applications, with power outputs ranging from several milliwatts to several hundred watts. By using nonlinear optical elements, radiation with doubled frequency and a wavelength of 532 nm can be obtained. Such lasers have increased power levels and are employed in CtP devices manufactured by a number of companies [6, 7, 10].

Laser radiation sources also differ in service life. The operating lifetime of an argon laser is approximately 6-9 months, Nd:YAG lasers 9-15 months, red laser diodes 12-24 months, and high-power laser diodes 24-36 months.

Study of the Influence of Halftone Image Parameters on the Cell Volume of Gravure Printing Plates

To develop new compositions for manufacturing gravure printing plates intended for product marking, testing of the main classes of polymer materials was carried out. The research was conducted taking into account the following parameters: compatibility and the possibility of introducing carbon black into the polymer composition (up to 10%); the possibility of high-quality coating of the composition onto a polymer base; absence, after curing, of cracks, cavities, irregularities, flow marks, and other mechanical defects on the polymer surface; suitability of the polymer material for mechanical processing (grinding and polishing); sensitivity to laser radiation with a wavelength of 1.06 μm ; the possibility of obtaining high reproductive-graphic and printing-technical characteristics; resistance to gravure ink solvents (alcohol, toluene, gasoline); high physical and mechanical properties (print run durability); optimal deformation properties promoting gradual wear of the plate rather than chipping or fracture; resistance to thermomechanical degradation; and the presence of a positive gradient of the main mechanical properties determining wear resistance.

Based on the working hypothesis and the conducted analysis, a material was developed for the production of gravure printing plates by direct laser engraving. The composition included: bis/4-(1-hydroxyethyl)phenyl/ether methacrylic acid system; a mixture of oligoester acrylate and oligoethylene glycol maleinate in a ratio of 3:2; epoxy resin ED-20; maleic anhydride; butadiene-nitrile rubber; benzoyl peroxide; dicumyl peroxide; carbon black; phenol-formaldehyde resin; and polystyrene.

The function of the screen ruling in gravure printing differs fundamentally from its purpose in letterpress or offset printing. In gravure printing, the screen creates a grid on the printing plate that serves as a support for the doctor blade. In addition, the support lines formed by the screen create isolated cells separated from one another, which are filled with ink and prevent its spreading. Practice shows that square screen patterns provide the best results for preserving the system of screen lines, which is an important condition for the operational durability of printing plates.

The direction of cell arrangement on the surface of the screened image relative to the generatrix of the gravure form determines the screen angle. From the viewpoint of the doctor blade's mechanical operation, it is more advisable to position the screen lines not parallel to its edges, but at an angle (45° and 60°); in our studies, an angle of 45° was used (Fig. 1). With regard to filling the cells with ink, these angles offer advantages because the cells are gradually filled through their side walls. Such an arrangement of screen lines, and accordingly of doctor blade supports on the printing plate, ensures a more stable printing process. Otherwise, the plate wears rapidly and defects are formed.

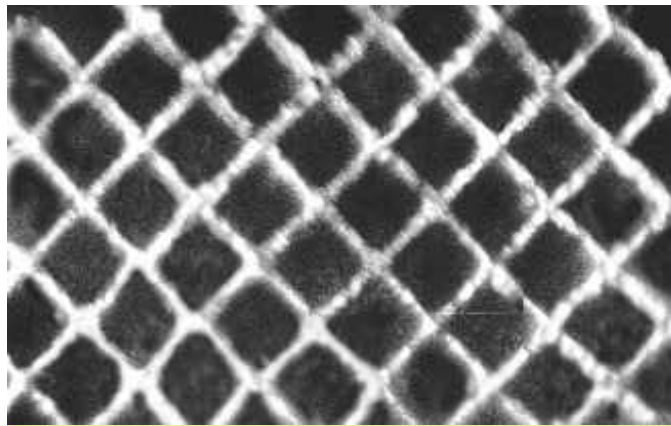


Figure 1 – Diagram of halftone elements manufactured using an Nd:YAG laser, $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ (near-infrared range)

Since plate engraving is carried out using a laser, this provides the possibility, unlike traditional methods of gravure plate production, to define in the image preparation software the screen ruling, halftone cell pitch, and screen angle, as well as the parameters of the screened image cells (cell depth, inclination angle of the side walls, and the ratio between cells and bridges), which influence their volume and the ink-carrying capacity of the plate.

All parameters of engraving the image elements affect the cell volume and, accordingly, the amount of ink used for printing the product. Therefore, an important characteristic of gravure printing plates is their ink-carrying capacity, which is determined by the volume of ink per unit area of the plate and is measured in cm^3/m^2 .

This indicator characterizes the amount of ink transferred from the printing plate to the substrate. It depends on the volume of a single cell and the number of cells per unit area of the plate. These characteristics, in turn, depend on the screen ruling, cell depth, inclination angle of the side walls, and the ratio between cells and bridges.

Depending on the nature of the image and the intended purpose of the printing plate, screens with different rulings are used. For product marking, screens with a ruling of 40-50 lines/cm are applied; for standard magazine production, 60-70 lines/cm; and for high-quality editions, 70 lines/cm and higher.

The screen ruling determines the screen pitch (40 lines/cm – 250 μm , 50 lines/cm – 200 μm , 60 lines/cm – 167 μm , 70 lines/cm – 143 μm , 80 lines/cm – 125 μm , 100 lines/cm – 100 μm). As the screen ruling increases, the screen pitch decreases. With an increase in screen ruling and the same ratio between bridges and cells, the size of the halftone cell and its volume decrease.

Table 1 presents the cell volume and, accordingly, the ink-carrying capacity of the plate for a depth of 30 μm at a cell-to-bridge ratio of 1:2 for Materials 1 and 2.

Table 1 – Cell Volume Values of Polymer Printing Plates for Materials 1 and 2

Screen Ruling, lines/cm	Cell Volume, cm^3		Ink-Carrying Capacity, cm^3/m^2	
	Material 1	Material 2	Material 1	Material 2
40	$8,14 \times 10^{-7}$	$7,94 \times 10^{-7}$	13,02	12,70
50	$5,05 \times 10^{-7}$	$4,89 \times 10^{-7}$	12,63	12,23
60	$3,84 \times 10^{-7}$	$3,35 \times 10^{-7}$	12,49	12,02
70	$2,53 \times 10^{-7}$	$2,41 \times 10^{-7}$	12,35	11,80
80	$1,91 \times 10^{-7}$	$1,81 \times 10^{-7}$	12,22	11,59
100	$1,22 \times 10^{-7}$	$1,14 \times 10^{-7}$	12,21	11,43

The depth of the halftone image cells largely determines their volume and is therefore a very important parameter. At an engraving depth of 60 μm , difficulties in ink transfer may arise due to the capillary effect. If the engraving depth is insufficient, the amount of ink transferred to the printed substrate decreases. In laser engraving of polymer gravure printing plates, an engraving depth of up to 60 μm can be achieved depending on the nature of the image.

An increase in engraving depth, while all other parameters remain unchanged, linearly increases the cell volume and the ink-carrying capacity of the plate (table 2).

Table 2 – Values of Cell Volume and Ink-Carrying Capacity of Printing Plates for Materials 1 and 2

Лініатура растра, лін/см (1:2)	Діапазон зміни глиб. ком., мкм	Cell Volume, cm^3		Ink-Carrying Capacity, cm^3/m^2	
		Material 1	Material 2	Material 1	Material 2
40	5 ÷ 60	1,41÷15,27	2,24÷24,43	1,39÷14,68	2,28÷23,49
50	5 ÷ 60	0,88÷9,31	2,26÷23,277	0,87÷8,85	2,19÷22,13
60	5 ÷ 60	0,62÷6,320	2,21÷21,30	0,61÷5,94	2,16÷21,31
70	5 ÷ 60	0,45÷4,50	2,28÷22,02	0,44÷4,19	2,15÷20,49
80	5 ÷ 60	0,36÷3,35	2,21÷21,41	0,35÷3,08	2,14÷19,70
100	5 ÷ 60	0,26÷2,07	2,2÷20,7	0,27÷1,86	2,13÷18,64

The ratio between cells and bridges is an important parameter that influences cell volume, print quality, and the mechanical durability of the plate. The bridge width affects the ability of the engraved surface to transfer ink. If the bridge width is large, during printing the ink droplets must move across a bridge area that contains no ink. As a result, image non-uniformity occurs, and the screen structure may become visible.

The area occupied by the screen lines is, in fact, an area that absorbs a certain part of the image itself. Accordingly, the wider the bridge of the halftone cell, the larger the portion of the reproduced image that disappears, and therefore the printed image is reproduced with certain losses. However, these losses are almost invisible without special instruments. This occurs because the screen lines are extremely narrow (at cell-to-bridge ratios greater than 1:2), making them imperceptible to the naked eye. In addition, the gaps caused by the screen lines are compensated on the print by the printing ink itself.

The relatively low-viscosity gravure ink, when transferred from the plate to the substrate, partially spreads over the surface and thus covers the screen lines. As a result, in deep shadow areas of the image, where ink is concentrated in large quantities, the screen lines cannot be observed on the print even under magnification. Only in areas where the amount of ink is small (midtones and highlights) can the gaps caused by the screen lines be seen through a magnifier. Moreover, these screen lines are not sharp and regular because of the spreading of ink from adjacent cells across the substrate surface.

Considering image losses caused by screen lines, when selecting the screen ruling and the ratio between cells and bridges, image quality requirements must be taken into account. For example, lower-quality illustrations may be printed using screens with fewer lines, whereas higher-quality artistic reproductions require screens with a greater number of lines. Thus, it can be concluded that the minimum width of the screen line is optimal for carrying out the printing process.

However, the screen line carries a mechanical load. To provide it with the required mechanical strength, it is necessary to ensure the minimum possible bridge width. Therefore, screens with different ratios of transparent to non-transparent elements are used within the range from 1:1 to 1:9. Screen lines are least noticeable on prints when screens with a ratio of 1:5 are used, but such screens can only be applied on low-speed printing presses. For rotary sheet-fed presses, screens with ratios of 1:4 and 1:3.5 are used. For rotary web presses, a ratio of 1:3 is commonly applied. As printing speed increases, wider screen lines must be created on the plate in order to improve run durability. Therefore, studies were conducted on plates with cell-to-bridge ratios of 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, and 1:6.

Calculations for a square screen indicate that with different screen rulings but the same ratio between bridges and cells, the area occupied by the cells, expressed as a percentage, remains constant, while the cell volume depends only on the cell depth and the inclination angle of the cell walls. At the same screen ruling, reducing the ratio between bridges and cells decreases the size of the halftone cell. This makes it possible to calculate the cell volume and the ink-carrying capacity of the plate depending on the

bridge-to-cell ratio, taking into account the cell depth and the inclination angle of the side wall for Materials 1 and 2 (Figs. 5.2, 5.3, 5.4, 5.5).

For example, the cell volume at a cell depth of 40 μm and a screen ruling of 40 lines/cm for Material 1, with a cell-to-bridge ratio ranging from 1:2 to 1:6, lies within the range from $10.63 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ to $17.97 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ (ink-carrying capacity from 17 to $28.76 \text{ cm}^3/\text{m}^2$). For Material 2, the corresponding values range from $10.3 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ to $17.57 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ (ink-carrying capacity from 16.5 to $28.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2$). Thus, by changing the ratio between cells and bridges, it is possible to obtain cells of the required volume and, accordingly, the necessary amount of ink on the plate and on the print.

For optimal ink transfer and release of ink from the cell to the printed substrate, steeper side walls are preferable, corresponding to the maximum inclination angle of the cell side faces. The inclination angle of the halftone cell depends on the engraving mode.

Experimental studies of the engraving process for Materials 1 and 2 established that the maximum inclination angle of the side faces is 80° for Material 1 and 78° for Material 2. At these inclination values, the cells of Materials 1 and 2 have the shape of a truncated pyramid. Changes in the inclination angle of the cell side faces affect both the cell volume and the ink-carrying capacity of the plate.

For example, for a cell depth of 40 μm , a screen ruling of 40 lines/cm, and a cell-to-bridge ratio of 1:2, the cell volume for Material 1 changes within the side-wall angle range from 27° to 80° , from $4.35 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ to $10.63 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ (ink-carrying capacity from 6.96 to $17 \text{ cm}^3/\text{m}^2$). For Material 2, within the side-wall angle range from 25° to 78° , the cell volume changes from $3.75 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ to $10.3 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$ (ink-carrying capacity from 6 to $16.5 \text{ cm}^3/\text{m}^2$).

Thus, by changing the angle of the side walls while maintaining the same screen ruling and engraving depth, it is possible to purposefully vary the cell volume.

Conclusions

As a result of the conducted analysis, it has been established that digital technologies play a key role in the modernization of gravure plate-making processes. Their implementation ensures a significant increase in image reproduction accuracy, stability of printing plate quality, and overall production efficiency.

It has been proven that the application of computerized data preparation systems, automated engraving, and digital parameter control makes it possible to reduce the number of technological operations, minimize the influence of the human factor, and decrease the consumption of time and resources.

For the production of gravure printing plates by laser engraving using infrared solid-state Nd:YAG lasers ($\lambda = 1.064 \mu\text{m}$), carbon-black-filled polymer materials based on rolvisan compositions were developed.

The possibility of influencing cell volume and the ink-carrying capacity of the plate by changing the characteristics of halftone image cells has been demonstrated. Such characteristics include screen pitch, the ratio between cells and bridges, cell

depth, bottom width, and the angle of the side walls, which makes it possible to obtain high-quality marking results.

References.

1. Die Yuncheng-Gruppe ordert Gravostar bei Dätwyler. (1999). Deutscher Drucker, (27-28), 13.
2. Schnelles Gravieren. (1999). Viscom Print + Communication, (9), 55.
3. Komplette digitale Gravur von Tiefdruck Zylindern. (2000). Deutscher Drucker, (37), 29.
4. Hohe Wiederholgenauigkeit durch Direkt-Laserverfahren. (2001). Deutscher Drucker, (5), 16.
5. Hennig, G., & Frauchiger, J. (2001). Das Direkte Laser System – Berührungslos zur Qualität. Deutscher Drucker, (12), 49-50.
6. Maik, L.Ya., Kovalskyi, B.M., & Dudok, T.H. (2018). Computer-to-Plate: Technologies, Materials, Equipment. Tutorial manual. Lviv: Ukrainian Academy of Printing.
7. Maik, L.Ya. (2001). Analysis of development trends in CtP technologies, equipment and materials. Computer Technologies of Printing, (6), 322-327.
8. Wolf, K.K. (1998). Offsetplatten für CTP. Was ist auf der IPEX zu erwarten?. Deutscher Drucker, (32), pp. 22, 24, 26, 28, 30.
9. Rudyk, O., & Merezko, M. (2001). The future of printing belongs to “computer-to-plate” technology. Drukarstvo, 2(37), 51-53.
10. Hot stuff about blue laser. (2000). British Printer, (5), 55-56.
11. International Organization for Standardization. (2016). Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 4: Publication gravure printing. (ISO 12647-4:2016).

PRINTING TECHNOLOGY COMPATIBILITY AND GERMINATION VIABILITY OF SEED PAPER AS A SUSTAINABLE PACKAGING INSERT MATERIAL

Havenko S.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-4973-5174

Labetska M.

Associate Professor, PhD,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-2818-051X

Abstract. *The article investigates the feasibility of replacing traditional packaging inserts made from PVC foam and corrugated cardboard with biodegradable seed paper, transforming inert packaging waste into a viable biosystem. The study presents experimental data on print quality obtained with a spectrodensitometer and surface microstructure analysis conducted by optical microscopy, justifying the selection of screen printing as the optimal technology for seed paper substrates. A structured analysis of admissible and inadmissible printing and finishing technologies for seed paper is provided, supported by seed germination testing conducted under standardised laboratory conditions.*

Keywords: *zero waste, seed paper, packaging insert, biosystem, screen printing, sustainable packaging.*

Introduction

The global packaging industry produces over 141 million tonnes of plastic waste annually, of which a significant proportion consists of single-use inner inserts (lojements) designed solely to position and protect products during transport [1]. In the context of the European Green Deal and the accelerating adoption of Extended Producer Responsibility (EPR) regulations, the passive post-consumer status of these components – becoming waste immediately after unboxing – represents both an ecological liability and an untapped design opportunity.

The concept of "Zero Waste" in printing and packaging transcends simple material substitution. In its fullest formulation, it implies a circular lifecycle in which every element of a package fulfils a functional role not only during the use phase but also after it. Seed paper – a composite substrate in which live plant seeds are embedded within cellulose fibres – offers a compelling materialisation of this principle: upon disposal, the insert can be planted, and its cellulose matrix decomposes while the seeds germinate [2].

Seed paper is produced by a modified papermaking process in which seeds are introduced into the wet pulp before sheet formation. The resulting substrate is a

heterogeneous composite: a continuous cellulose fibre matrix provides mechanical integrity, while the embedded seeds are distributed throughout the sheet thickness at a controlled density. The seeds selected for such substrates are typically small-seeded aromatic herbs or wildflowers – *Mentha piperita*, *Ocimum basilicum*, *Matricaria chamomilla* – chosen for their small seed size (0.5-2.0 mm), high germination vigour, and cultural legibility for the end consumer. The mechanical properties of seed paper differ substantially from conventional substrates: the presence of seed bodies creates local stress concentrators and anisotropic zones in the sheet, while the high open porosity (mean pore diameter 60-90 μm) determines rapid capillary ink absorption and elevated surface roughness [2].

From the standpoint of the circular economy, seed paper inserts address one of the most persistent criticisms of packaging design: the temporal mismatch between the product lifecycle (months to years) and the packaging lifecycle (minutes to hours for the unboxing event). A seed paper insert extends the lifecycle of the packaging component beyond the point of disposal – the consumer becomes an active participant in the material's secondary phase. This model has been termed an "extended use phase" in recent packaging literature, and its application to premium cosmetic and gift packaging is of particular commercial relevance given the high emotional engagement of consumers in this category [3].

Despite the growing commercial interest in seed paper as a novelty item (business cards, bookmarks, hang tags), its application as a structural insert within rigid cosmetic or gift packaging has received limited systematic study. The principal challenges are threefold:

- structural adequacy of a porous, seed-bearing substrate as a friction-fit tray insert;
- compatibility of printing and finishing processes with seed viability;
- the absence of standardised methodologies for evaluating print quality on irregular, porous seed paper substrates.

The present work addresses all three dimensions through a combination of instrumental analysis – optical microscopy, spectrodensitometry, germination testing – and structured technological assessment.

Aim and Objectives of the Study

The aim of this study is to evaluate the technological feasibility of seed paper inserts as functional biosystem components within cosmetic packaging, with a focus on characterising the substrate's printing behaviour and the impact of selected printing technologies on seed germination viability.

The following objectives were set:

- to compare seed paper with conventional insert materials by key technical and ecological parameters;
- to characterise the surface microstructure of seed paper relative to kraft board using optical microscopy;

- to evaluate the print quality achievable on seed paper by screen and flexographic methods using spectrodensitometric measurements;
- to systematically classify printing and finishing technologies by their compatibility with seed viability;
- to determine the germination rate of *Mentha piperita* seeds after exposure to each printing process under standardised laboratory conditions.

Main Part

1 Comparative Analysis of Insert Materials

Four material classes currently used for packaging inserts were selected for comparative evaluation: rigid PVC foam sheet (the market standard in premium cosmetics), single-face corrugated microflute E-board, unbleached kraft paper, and handmade seed paper with embedded *Mentha piperita* seeds. The comparative data are presented in Table 1.

Table 1 – Comparative parameters of packaging insert materials

Parameter	PVC foam (rigid)	Corrugated (E-flute)	Kraft paper	Seed paper
Grammage (Density), g/m ²	500-700	280-400	250-350	200-300
Biodegradation period	> 450 years	2-5 months	1-4 months	20-60 days
Moisture resistance (score 1–5)	5	2	2	1
Printability (score 1–5)	5	2	4	3*
Seed germination compatibility	No	No	No	Yes
Carbon footprint (kg CO ₂ /kg)	3.0-3.5	0.9-1.2	0.8-1.0	0.5-0.7
Cost index (relative, base = 1)	1.0	0.4	0.3	1.5-2.0

* Score of 3 applies to screen printing; offset printing is not recommended due to high nip pressure.

As Table 1 demonstrates, seed paper carries a higher cost index (1.5-2.0×) and lower moisture resistance than conventional alternatives. However, its carbon footprint is the lowest of all evaluated materials (0.5-0.7 kg CO₂/kg), and its biodegradation time of 20-60 days under standard composting conditions is fully aligned with home-composting cycles, as opposed to the > 450-year persistence of PVC foam in landfill environments [3].

2 Surface Microstructure Analysis

For microstructural comparison, uncoated kraft paper was chosen as the closest cellulose analogue of seed paper: both substrates are made on the basis of kraft cellulose without a surface coating, which allows isolating the influence of the seed inclusions themselves on the surface topography and matrix porosity. The microstructure of seed paper and kraft board samples was examined using a Primo Star optical microscope (Carl Zeiss) at ×100 magnification [4]. To facilitate the

investigation, cross-section specimens were prepared using a microtome with a slice thickness of 20 μm . The resulting 5 Mpx resolution images were processed in ImageJ 1.54 to estimate the porosity parameters of the substrate.

The structural composition of the seed paper is characterized by an irregular, highly porous fiber network with integrated seed bodies (diameter 0.8-1.2 mm for *M. piperita*) embedded at approximately 60-80% of the sheet thickness. Compared to unbleached kraft board, this material demonstrates a significantly higher level of open porosity, with a mean pore diameter of 85 μm versus 22 μm for the standard board (Fig. 1). This developed capillary-porous structure is the primary factor governing ink absorption behavior and necessitates the specific adaptation of technological printing parameters.

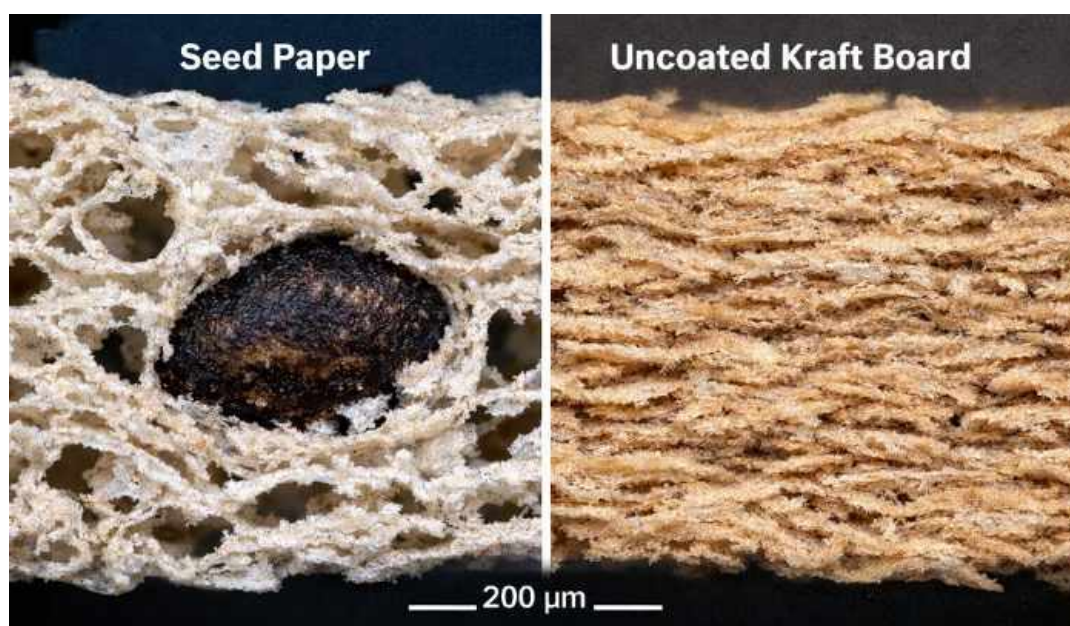


Figure 1 – Surface microstructure of seed paper (left) compared to uncoated kraft board (right); optical microscopy $\times 100$

The high surface porosity of seed paper promotes rapid ink vehicle absorption, which, while beneficial for fast setting, creates a risk of ink starvation at the surface and reduced optical density if standard offset viscosities are used. This finding directly motivates the investigation of screen and flexographic printing as alternatives.

3 Compatibility of Printing and Finishing Technologies with Seed Paper

The selection of an appropriate printing and finishing technology for seed paper is not merely a matter of print quality optimisation – it is a biological constraint. Each technological operation must be evaluated for its potential impact on seed viability, which depends on three key factors:

- mechanical pressure applied to the substrate;
- thermal exposure during printing or drying;
- chemical interaction of inks, varnishes, or coatings with the seed coat and micropyle.

Table 2 presents a structured classification of major printing and finishing technologies by their compatibility with seed paper substrates, based on the present experimental findings and published technical data [5-7].

Table 2 – Compatibility of printing and finishing technologies with seed paper

Technology	Compatibility	Key limiting factor	Recommendation
Screen printing (water-based ink)	✓ Optimal	None significant	Primary recommended process
Flexographic printing (water-based ink)	✓ Acceptable	Mechanical stress at anilox nip	Secondary option; requires ink-laydown control
Offset printing	✗ Not recommended	High nip pressure damages seeds	Avoid
Digital (inkjet, toner)	△ Limited	Fuser heat (toner); ink penetration (inkjet)	Only pigment inkjet at low temperature
Aqueous lamination	✗ Prohibited	Vapour-impermeable film blocks germination	Strictly excluded
Solvent-based varnish	✗ Prohibited	Solvents penetrate seed micropyles	Strictly excluded
UV curing / UV varnish	✗ Prohibited	Surface temp up to 90°C; thermal inactivation	Strictly excluded
Hot foil stamping	✗ Prohibited	Localised heat and pressure damage seeds	Strictly excluded
Blind embossing (congreve, no foil)	✓ Admissible	Depth must not exceed 0.3 mm	Permitted; only decorative enhancement allowed
Die-cutting (flatbed, rotary)	✓ Admissible	Sharp blades prevent fibre tearing	Permitted; use sharp precision blades

Screen printing is identified as the optimal printing process for seed paper. The fundamental advantage of screen printing lies in its near-zero impression pressure: ink is transferred through the mesh openings by a squeegee without direct contact between a hard printing element and the substrate. This eliminates the risk of mechanical damage to seeds embedded near the surface. The use of water-based UV-free inks additionally avoids any thermal or chemical hazard to the seed. The relatively high ink film thickness achievable by screen printing (8-15 µm) partially compensates for the elevated ink absorption of the porous substrate, maintaining acceptable optical density values.

Flexographic printing is conditionally acceptable. While flexography also uses water-based inks and operates at comparatively lower pressures than offset, the anilox roller nip zone introduces localised mechanical stress to the substrate surface. In areas where seeds are positioned near the upper surface of the sheet, this stress can cause microdeformation of the seed coat – the thin protective layer surrounding the embryo –

potentially compromising its integrity and reducing germination rates, as confirmed by the experimental data in section 3.4.

Digital printing technologies present a more nuanced case. Pigment-based inkjet printing, operating without impression pressure and at relatively low substrate temperatures, is theoretically compatible with seed paper; however, the fine ink droplets tend to penetrate deeply into the highly porous fibre matrix, resulting in pronounced ink spread and reduced optical density. Toner-based (electrophotographic) digital printing is contraindicated due to the fuser unit, which applies both heat (150-200°C) and pressure simultaneously to fix the toner to the substrate – conditions that are lethal to embedded seeds regardless of ink chemistry. For short-run or personalised applications where screen printing is impractical, pigment inkjet on seed paper may be considered as a limited option, provided that substrate pre-treatment (light surface sizing) is applied to reduce ink penetration, and that the drying system operates below 40°C.

Offset printing is contraindicated for seed paper. The impression pressure between the blanket cylinder and the impression cylinder, necessary to achieve adequate ink transfer on a porous substrate, consistently causes physical deformation of seed bodies within the sheet, resulting in germination rates below 50% in preliminary trials [6]. Furthermore, offset inks contain mineral oil-based vehicles that penetrate the seed coat and can chemically interfere with embryo respiration.

Among finishing operations, all film-forming processes – aqueous lamination, solvent-based overprint varnish, and UV varnish – are strictly prohibited. Aqueous lamination bonds a polymer film to the paper surface, creating a vapour-impermeable barrier that prevents the exchange of water and oxygen between the seed and its environment, making germination physically impossible. Solvent-based varnishes penetrate the porous structure and may occlude the micropyle – the small pore in the seed coat through which water absorption and gas exchange occur during germination. UV varnish curing generates surface temperatures of 80-90°C within seconds, which is lethal to most plant embryos. Hot foil stamping similarly combines high localised pressure with heat, rendering it incompatible with seed preservation.

The only admissible decorative enhancement identified in this study is blind embossing (congreve embossing without foil). This process creates a three-dimensional relief in the paper without applying any film or thermal treatment. The embossing depth must be limited to 0.3 mm to avoid direct mechanical contact with embedded seeds. At this depth, the deformation is confined to the cellulose fibre network between seeds and does not affect seed coat integrity. Die-cutting is also fully compatible, provided that sharp, precision-ground blades are used to avoid tearing the fibrous matrix in the vicinity of seeds.

4 Print Quality Assessment: Spectrodensitometric Study

Print quality was assessed using an X-Rite eXact spectrodensitometer [8] (measurement aperture 2 mm, D50 illuminant, 2° observer angle, ISO 13655). Test imprints were produced in four process configurations on two substrate types – uncoated kraft paper (300 g/m²) and seed paper (200 g/m²): flexographic printing using

water-based inks (anilox roller 180 l/cm, ink laydown 4 g/m²) and screen printing using UV-free water-based inks (120-mesh polyester screen, squeegee speed 150 mm/s) (Fig. 2). For each combination of process and substrate, 30 independent measurements were taken across three replicate print runs (10 measurements per run), and results are reported as mean $\pm$ standard deviation (SD). Results are consolidated in Table 3.

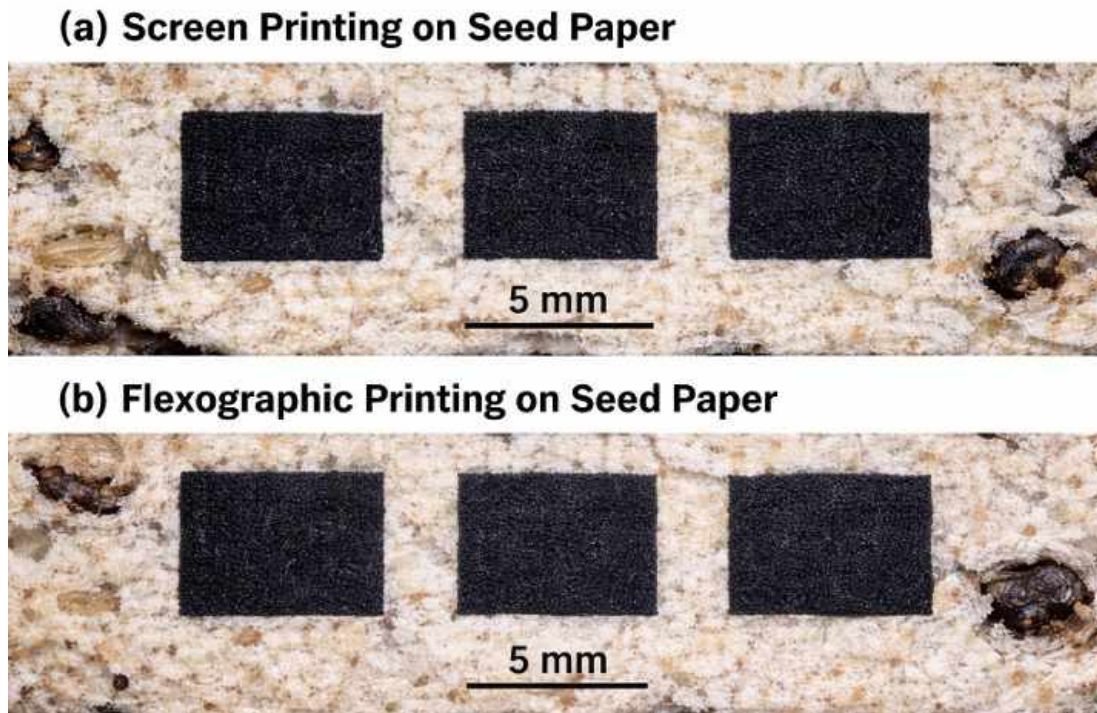


Figure 2 – Visual assessment of print quality on seed paper substrates:
(a) screen printing; (b) flexographic printing

Table 3 – Print quality metrics by process and substrate (n = 30 measurements per cell, mean $\pm$ SD)

Quality Indicator	Screen (kraft)	Flexo (kraft)	Screen (seed paper)	Flexo (seed paper)
Optical density D (black)	1.32 $\pm$ 0.03	1.38 $\pm$ 0.04	1.31 $\pm$ 0.05	1.27 $\pm$ 0.06
Dot gain at 50% raster (%)	18 $\pm$ 1	17 $\pm$ 2	22 $\pm$ 3	26 $\pm$ 4
Edge sharpness (μ m)	25 $\pm$ 2	24 $\pm$ 3	31 $\pm$ 4	38 $\pm$ 5
Δ E (colour deviation, CIELab)	1.8	2.2	3.1	3.7

The data confirm that screen printing on seed paper achieves the highest optical density among seed-paper configurations ($D = 1.31 \pm 0.05$), only marginally below the result obtained on kraft board ($D = 1.32 \pm 0.03$). Flexographic printing on seed paper yields a lower optical density ($D = 1.27 \pm 0.06$), which is attributable to the higher mechanical stress at the anilox nip zone causing localised compression of the porous fibre matrix and reducing effective ink transfer to the surface [9].

The elevated dot gain (22-26%) on seed paper relative to kraft board is consistent with the higher porosity data from section 3.2. This necessitates dot gain compensation curves in the pre-press workflow: a 50% nominal tonal value should be set to 28–30% in the printing plate to achieve the target midtone reproduction [10]. The Δ E colour

deviation values (3.1 and 3.7 for screen and flexographic printing on seed paper, respectively) are above the threshold of $\Delta E = 3.0$ considered acceptable for brand colour reproduction, indicating that seed paper is more suitable for graphic elements with broad tonal ranges than for precise spot colour matching.

5 Seed Germination Testing Methodology and Results

The germination rate of *Mentha piperita* seeds was determined according to the standard methodology for seed quality assessment. From each printed sample, seeds were carefully extracted by soaking the paper fragments in distilled water for 24 hours, then manually separated from the softened cellulose matrix using tweezers. Three experimental groups were established: unprinted seed paper (control), seed paper after screen printing, seed paper after flexographic printing. For each group, 200 seeds across four replicates of 50 seeds each were placed on moistened filter paper (Whatman No. 1) in sealed Petri dishes.

The germination chambers were maintained at a constant temperature of $22 \pm 1^\circ\text{C}$, relative humidity of 95-98%, and a 16/8-hour light/dark photoperiod – conditions consistent with ISTA (International Seed Testing Association) protocols for small-seeded aromatic herbs [11]. Germinated seeds were counted every 24 hours over a 14-day test period. A seed was considered germinated when a radicle of at least 2 mm in length was visible. The results of the germination test are presented in Table 4.

Table 4 – Germination test results for *Mentha piperita* seeds after printing (14-day test, n = 200 per group)

Sample group	Seeds tested (n)	Germinated (n)	Germination rate (%)	Notes
Control (unprinted seed paper)	200	182	91 ± 2	Baseline; no processing applied
Screen printing (water-based ink)	200	168	84 ± 3	Minimal mechanical impact on seeds
Flexographic printing (water-based ink)	200	142	71 ± 5	Anilox nip causes seed coat microdeformation

The germination rate of 91% in the unprinted control group confirms that the baseline seed paper used in this study contains seeds of high initial vigour, consistent with commercial seed lots for *M. piperita*. The reduction to 84% after screen printing represents a statistically modest but reproducible decrease of 7 percentage points, attributable primarily to the mechanical action of the squeegee during printing and the brief wetting of the seed surface by the water-based ink vehicle. The more pronounced reduction to 71% after flexographic printing reflects the additional mechanical stress introduced at the anilox nip zone. In practical terms, both screen-printed and flexographically printed seed paper inserts retain sufficient germination capacity for reliable consumer use, as agronomic standards for *M. piperita* generally accept germination rates above 65% for commercial planting material.

Results of the Study

The results of the experimental work demonstrate the viability of seed paper as a functional packaging insert material and provide a structured technological basis for its implementation in printing production.

The comparative material analysis (Table 1) positions seed paper as the ecologically superior alternative among evaluated insert materials, with the lowest carbon footprint (0.5-0.7 kg CO₂/kg) and the only substrate class offering post-consumer germination compatibility. The cost premium (1.5-2.0× relative to standard inserts) is the principal barrier to adoption and must be offset by demonstrable marketing and brand differentiation value.

The microstructural analysis (Figure 1) quantified the key substrate characteristics governing printing behaviour: the highly developed capillary-porous structure of seed paper, with a mean pore diameter of 85 µm versus 22 µm for kraft board, determines rapid and deep ink vehicle absorption into the fibre matrix. These parameters explain the elevated dot gain (22-26%) and reduced edge sharpness observed on seed paper across all printing processes, and directly inform the pre-press recommendations developed in this study.

The classification of printing and finishing technologies (Table 2) establishes a clear hierarchy of process compatibility. Screen printing is confirmed as the optimal process for seed paper, uniquely combining acceptable print quality ($D = 1.31$, $\Delta E = 3.1$) with a germination rate of $84 \pm 3\%$ – a reduction of only 7 percentage points relative to the unprinted control. Flexographic printing is a viable secondary option with a germination rate of $71 \pm 5\%$, suitable for applications where graphic complexity or production volume makes screen printing impractical. All film-forming finishing operations – lamination, solvent and UV varnishing, hot foil stamping – are incompatible with seed viability and must be excluded from the production workflow. Blind embossing without foil is the sole admissible decorative enhancement.

Conclusions

The present study demonstrates that seed paper inserts represent a technologically feasible and ecologically superior alternative to conventional PVC foam and corrugated board components in premium packaging. The transformation of a passive waste element into an active biosystem is achievable without loss of structural function, provided that screen printing is adopted as the primary decoration process and all lamination and UV-varnishing operations are excluded from the finishing workflow.

The experimental findings establish practical outputs for packaging designers and printing technologists. First, screen printing with UV-free water-based inks is the process of choice for seed paper, retaining 84% germination capacity – sufficient for reliable consumer planting outcomes with *M. piperita*. Second, a dot gain compensation of approximately –20% on midtone values in the pre-press workflow is

required to achieve target tonal reproduction on seed paper substrates, given the elevated porosity of the material.

A prospective enhancement of the concept involves the integration of a QR code printed on the insert surface, linking to an augmented reality (AR) planting guide. This creates a convergence of digital interaction (QR/AR layer) and physical ecology (seed paper substrate) into a unified, lifecycle-complete system in packaging design. Future research should address the durability of QR code printing on seed paper under standard retail humidity conditions (50-60% RH), and the agronomic optimisation of seed density for species beyond *M. piperita*.

References.

1. Geyer, R., Jambeck, J.R., & Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
2. Bousios, S., & Vergeldt, F.J. (2020). Seed paper as a sustainable packaging material: Germination performance and structural characterisation. *Packaging Technology and Science*, 33(11), 519-530. <https://doi.org/10.1002/pts.2527>.
3. Ellen MacArthur Foundation. (2016). The new plastics economy: Rethinking the future of plastics. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>.
4. Микроскоп Zeiss Primo Star. (n.d.). https://astroscope.com.ua/uk/mikroskop_zeiss_primo_star_komplektaciya_1/106304.htm.
5. What types of printing methods can be used for seed paper? (n.d.). <https://www.afterhourscreativestudio.com/faqs/production/what-types-of-printing-methods-can-be-used-for-seed-paper>.
6. Plantable Seed Paper: Printing compability. (n.d.). <https://www.afterhourscreativestudio.com/blog/post/print-compatibility-of-plantable-seed-paper-offset-digital-and-foil-blocking>.
7. Plantable Paper Printing Guidelines. (n.d.). <https://botanicalpaperworks.com/printing/>.
8. eXact™ Basic Reflection Densitometer. (n.d.). <https://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact-basic>.
9. Kipphan, H. (2001). *Handbook of print media: Technologies and production methods*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-29900-4>.
10. Romano, F., & Romano, R. (1998). *The GATF encyclopedia of graphic communications*. GATFPRESS.
11. ISTA. (2022). *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org>.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ПОЛІГРАФІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В CAD/CAE-СИСТЕМАХ

Трунова Т.О.

асистент, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0003-2689-2679

Табакова І.С.

к.т.н. професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0001-6629-4927

***Анотація.** У роботі розглянуто комп'ютерне моделювання механізмів поліграфічного обладнання на основі інтеграції CAD/CAE-технологій. Систематизовано теоретичні засади параметричного та асоціативного моделювання, а також методи інженерного аналізу. Запропоновано методологічний підхід до замкненого цифрового циклу проєктування, що поєднує моделювання, аналіз і оптимізацію конструкцій, підвищуючи ефективність інженерної розробки.*

***Ключові слова:** CAD-системи, CAE-аналіз, поліграфічне обладнання, параметричне моделювання, цифрове проєктування, інтегрований інженерний цикл.*

Вступ

Сучасний розвиток поліграфічного машинобудування визначається глибокою інтеграцією цифрових технологій у всі етапи життєвого циклу обладнання – від концептуального проєктування до експлуатації та модернізації. Зростання вимог до якості друкованої продукції, підвищення швидкодії поліграфічних машин, а також необхідність забезпечення стабільності технологічних процесів зумовлюють ускладнення кінематичних схем і конструктивних рішень механізмів.

У таких умовах традиційні методи інженерного проєктування, що базуються на спрощених аналітичних розрахунках та багатоетапному експериментальному доведенні, виявляються недостатньо ефективними. Вони не дозволяють у повному обсязі врахувати багатофакторний характер взаємодії елементів механічних систем, зокрема нелінійні ефекти, змінні навантаження, вібраційні процеси та контактні явища, які є характерними для високошвидкісного поліграфічного обладнання.

У зв'язку з цим особливого значення набуває застосування комп'ютерного моделювання механічних систем із використанням сучасних CAD/CAE-систем, які забезпечують можливість побудови точних цифрових моделей реальних механізмів та виконання їх комплексного інженерного аналізу. Такі системи дозволяють поєднувати геометричне моделювання, кінематичний і динамічний

аналіз, а також чисельне дослідження напружено-деформованого стану в межах єдиного інтегрованого середовища.

Важливою особливістю сучасного підходу є перехід до концепції цифрового двійника механізму, коли фізичний об'єкт відтворюється у вигляді параметричної моделі, що здатна імітувати його поведінку в різних режимах роботи. Це створює передумови для багатоваріантного аналізу конструктивних рішень, оптимізації параметрів механізмів та прогнозування їх довговічності ще на стадії проектування, без необхідності виготовлення дорогих експериментальних зразків.

Актуальність дослідження визначається необхідністю підвищення ефективності інженерної розробки поліграфічного обладнання шляхом скорочення часу проєктного циклу, зменшення матеріальних витрат на випробування та підвищення точності прийняття інженерних рішень. Використання CAD/CAE-технологій у цьому контексті виступає не лише як інструмент візуалізації конструкцій, але й як повноцінна аналітична платформа для дослідження складних механічних процесів.

Сучасний стан розвитку програмних комплексів CAD/CAE (таких як системи твердотілого моделювання, мультифізичного аналізу та інтегрованого інженерного моделювання) дозволяє здійснювати комплексне дослідження механізмів поліграфічного обладнання з урахуванням реальних умов їх експлуатації. Це включає врахування інерційних навантажень, змінних режимів роботи, зношування елементів та впливу технологічних факторів.

Мета та задачі дослідження

Метою даного розділу є систематизація науково-методичних підходів до комп'ютерного моделювання механізмів поліграфічного обладнання в CAD/CAE-середовищах, а також обґрунтування ефективності використання інтегрованих цифрових технологій у процесі інженерного проєктування.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- систематизація теоретичних основ комп'ютерного моделювання механічних систем поліграфічного обладнання з урахуванням сучасних тенденцій цифровізації інженерного проєктування;
- дослідження можливостей CAD-систем у формуванні параметричних та асоціативних тривимірних моделей механічних конструкцій як базового етапу цифрового проєктування;
- аналіз застосування CAE-інструментів для кінематичного, динамічного та міцнісного дослідження механічних систем у процесі чисельного моделювання;
- розробка та обґрунтування запропонованого методологічного підходу до інтеграції CAD- і CAE-середовищ у єдиний замкнений цифровий цикл проєктування.

Наукова новизна підходу полягає у системному розгляді механізмів поліграфічного обладнання як інтегрованих динамічних систем, що можуть бути адекватно описані лише в межах поєднання геометричного моделювання та чисельного інженерного аналізу. Це дозволяє перейти від локального аналізу окремих вузлів до комплексного дослідження функціонування всієї механічної системи.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих підходів для підвищення ефективності проєктування поліграфічного обладнання, скорочення термінів розробки нових машин, а також підвищення їх надійності та експлуатаційної довговічності.

Таким чином, комп'ютерне моделювання механізмів поліграфічного обладнання в CAD/CAE-системах розглядається як ключовий інструмент сучасного інженерного проєктування, що визначає якісно новий рівень розвитку поліграфічного машинобудування та відкриває перспективи подальшої цифровізації галузі.

Основна частина

1 Теоретичні основи комп'ютерного моделювання механізмів поліграфічного обладнання

Розвиток сучасного поліграфічного машинобудування супроводжується постійним ускладненням конструкцій механічних систем, підвищенням швидкості роботи обладнання та зростанням вимог до точності технологічних процесів. У таких умовах традиційні підходи до проєктування вже не забезпечують необхідного рівня ефективності, що обумовлює активне впровадження цифрових технологій у практику інженерного конструювання.

Комп'ютерне моделювання механізмів у CAD/CAE-середовищах дозволяє реалізувати комплексний підхід до створення та аналізу поліграфічного обладнання, поєднуючи геометричне проєктування, кінематичні дослідження, динамічний аналіз та оцінку міцності конструкцій у межах єдиного цифрового простору. Це забезпечує можливість прогнозування роботи механізмів ще на стадії проєктування [1], своєчасного виявлення конструктивних недоліків та оптимізації параметрів систем без необхідності виготовлення значної кількості фізичних прототипів.

У даному розділі розглянуто теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання механізмів поліграфічного обладнання, особливості застосування CAD/CAE-технологій у процесі проєктування, а також специфіку інженерного аналізу механічних систем поліграфічних машин [2]. Особливу увагу приділено питанням інтеграції цифрових інструментів у сучасний цикл інженерного проєктування та підвищення ефективності конструкторської підготовки виробництва.

1.1 Цифрові технології у сучасному проектуванні поліграфічних машин.

Сучасний розвиток поліграфічного машинобудування характеризується переходом від традиційних розрахунково-графічних методів до інтегрованих цифрових технологій проектування, у межах яких механічна система розглядається як єдина параметрично керована структура. Така трансформація змінює методологію інженерної діяльності, переходячи від дискретного аналізу окремих вузлів до системного опису виробу як багатовимірного об'єкта.

CAD/CAE-технології в цьому контексті слід трактувати як єдине інформаційно-обчислювальне середовище, що забезпечує формалізоване поєднання геометричного моделювання та інженерного аналізу. Геометрична модель виступає носієм параметричної інформації, тоді як CAE-інструменти забезпечують її фізичну інтерпретацію через кінематичний, динамічний і міцнісний аналіз. Поліграфічне обладнання як об'єкт проектування належить до класу складних багатовузлових механічних систем із суттєвою кінематичною та силовою взаємозалежністю елементів. Наявність високошвидкісних циклічних процесів, контактних взаємодій і нелінійних ефектів зумовлює необхідність застосування чисельних методів моделювання, здатних враховувати змінні експлуатаційні режими.

Інтеграція CAD і CAE формує замкнутий цикл цифрового проектування, у якому геометричні параметри, навантажувальні умови та результати аналізу взаємно узгоджуються в єдиній моделі [3]. Це забезпечує ітераційний характер уточнення конструкції та підвищує точність інженерних рішень. З позицій системного підходу цифрове проектування може бути представлене як процес багаторівневої трансформації інформації від функціональних вимог до параметричної, геометричної та фізичної моделей. Така структура забезпечує цілісність опису механічної системи та створює основу для її подальшої оптимізації. Отже, сучасні цифрові технології формують нову інженерну парадигму, в якій поліграфічне обладнання розглядається як адаптивна параметрична система, інтегрована в єдиний обчислювальний контур моделювання та аналізу.

1.2 Формування віртуальних моделей механізмів у CAD-середовищі.

Однією з ключових складових сучасного цифрового проектування є створення віртуальних моделей механічних систем у CAD-середовищі. Розвиток тривимірного моделювання суттєво змінив підходи до конструювання поліграфічного обладнання, забезпечивши можливість комплексного аналізу механізмів ще до виготовлення фізичних зразків. Сучасні CAD-системи виконують не лише функцію графічного представлення, а й виступають основою інтегрованого інженерного аналізу та оптимізації конструкцій [4].

Формування цифрової моделі передбачає просторове відтворення деталей, вузлів і їх взаємозв'язків із урахуванням геометричних та функціональних характеристик. Порівняно з двовимірним кресленням, тривимірне параметричне моделювання забезпечує більш точне відображення структури механізму та

створює основу для подальших інженерних розрахунків без перебудови геометрії. Ключовою особливістю CAD-систем є параметричний підхід, за якого геометрія формується через взаємопов'язані змінні. Це дозволяє автоматично оновлювати модель при зміні окремих параметрів і значно підвищує гнучкість проектування. Для поліграфічного обладнання це особливо важливо через велику кількість взаємозалежних елементів і необхідність швидкої модернізації конструкцій. Важливим етапом є створення складальних моделей, у яких визначаються кінематичні зв'язки та умови взаємодії між елементами. Це дозволяє моделювати реальну роботу механізму, перевіряти його рух та виявляти можливі конструктивні конфлікти ще на етапі проектування.

Особливе значення має формування цифрових прототипів, що дають змогу аналізувати працездатність системи, перевіряти траєкторії руху та оцінювати коректність конструктивних рішень. Це зменшує кількість помилок на етапі виробництва та скорочує витрати на доведення виробу. Сучасні CAD-системи інтегруються з CAE-інструментами, що забезпечує можливість безпосереднього використання геометричної моделі для інженерного аналізу. Це формує основу наскрізного цифрового проектування в єдиному інформаційному середовищі.

Для поліграфічного обладнання, що працює в умовах високошвидкісних циклічних навантажень, точність геометричного моделювання має критичне значення, оскільки навіть незначні відхилення можуть впливати на синхронізацію та якість роботи механізмів. Отже, CAD-моделювання є базовим етапом цифрового проектування поліграфічного обладнання, що забезпечує точність, гнучкість і ефективну інтеграцію з CAE-аналізом у межах єдиного інженерного циклу.

1.3 Інженерний аналіз механізмів у CAE-системах.

Рівень розвитку поліграфічного машинобудування вимагає не лише побудови геометрично коректних моделей механізмів, але й виконання комплексного інженерного аналізу їх функціонування в реальних умовах експлуатації. У цьому контексті CAE-системи виступають ключовим інструментом цифрового проектування, що забезпечує чисельне дослідження механічних процесів і прогнозування поведінки конструкцій на різних режимах роботи. CAE-технології дозволяють перейти від спрощених аналітичних підходів до багатофакторного моделювання складних механічних систем. Для поліграфічного обладнання це є особливо важливим через високі швидкості роботи, циклічний характер навантажень, наявність багатьох кінематичних зв'язків і вібраційних процесів, які суттєво впливають на точність і стабільність функціонування механізмів [5].

Одним із базових напрямів CAE-аналізу є кінематичне моделювання, що дозволяє визначати траєкторії руху робочих органів, швидкості та прискорення елементів, а також оцінювати синхронізацію роботи механічних систем. Для поліграфічних машин це безпосередньо пов'язано зі стабільністю подавання матеріалу та точністю технологічних операцій.

Динамічний аналіз враховує інерційні сили, змінні навантаження, тертя та пружні деформації, що дозволяє наблизити модель до реальних умов експлуатації. Його застосування є критичним для високошвидкісних систем, де можливі коливання та резонансні явища, що впливають на якість друку і довговічність обладнання. Ключовим інструментом CAE-аналізу є метод скінченних елементів, який забезпечує дискретизацію конструкції та чисельне визначення напружено-деформованого стану. Це дозволяє оцінювати міцність, жорсткість і виявляти критичні зони концентрації напружень, а також прогнозувати можливі відмови елементів.

Сучасні CAE-системи підтримують мультифізичне моделювання, що враховує одночасно механічні, теплові, вібраційні та контактні процеси. Такий підхід є принципово важливим для поліграфічного обладнання, де всі фізичні фактори взаємопов'язані в процесі роботи. Інтеграція CAE з CAD-середовищем забезпечує єдиний цифровий цикл проектування, у якому геометрична модель безпосередньо використовується для інженерного аналізу. Це підвищує узгодженість між конструкцією та розрахунками і дозволяє оперативно враховувати зміни проєктних рішень. Отже CAE-системи є невід'ємною складовою сучасного цифрового проєктування поліграфічного обладнання, забезпечуючи підвищення точності розрахунків, зниження обсягів експериментальних досліджень та оптимізацію конструктивних рішень.

1.4 Специфіка механізмів поліграфічного обладнання як об'єкта цифрового моделювання.

Механізми поліграфічного обладнання належать до складних багатокомпонентних технічних систем, для яких характерні висока швидкість робочих процесів, велика кількість кінематичних зв'язків і підвищені вимоги до точності взаємодії елементів. Це визначає специфіку їх цифрового моделювання та обумовлює необхідність застосування комплексних CAD/CAE-технологій у процесі проєктування.

На відміну від більшості машинобудівних систем, поліграфічні механізми працюють у режимі безперервних циклічних навантажень, що супроводжується високочастотними рухами, змінними динамічними зусиллями та накопиченням втомних пошкоджень у елементах конструкції. Критично важливою є точність синхронізації робочих органів, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до дефектів друку, порушення суміщення зображення або нестабільності подавання матеріалу. Це зумовлює необхідність врахування не лише геометричних, але й часових характеристик роботи системи. Додаткову складність створює наявність численних контактних взаємодій між елементами механізму, що супроводжуються силами тертя та локальними деформаціями. Такі процеси мають суттєво нелінійний характер і потребують застосування спеціалізованих чисельних методів аналізу.

Поліграфічне обладнання також характеризується поєднанням різнотипних механічних підсистем – транспортних, друкарських, приводних і допоміжних,

робота яких повинна бути взаємно узгодженою. Це обумовлює необхідність урахування передачі динамічних навантажень між вузлами та системного підходу до моделювання. Важливим є висока чутливість системи до пружних деформацій, оскільки навіть незначні переміщення елементів можуть впливати на точність технологічного процесу. Тому при цифровому моделюванні значна увага приділяється аналізу жорсткості та напружено-деформованого стану конструкцій. Окремо слід відзначити вплив технологічних параметрів друкарського процесу, зокрема властивостей матеріалів, швидкості подавання та умов взаємодії фарбових і друкарських систем. У сучасних підходах ці фактори інтегруються в загальну модель механічної системи.

1.5 Інтеграція CAD/CAE-технологій у цифровий цикл проєктування.

Сучасне проєктування поліграфічного обладнання характеризується переходом до інтегрованого цифрового середовища, у якому всі етапи інженерної підготовки є взаємопов'язаними. У цих умовах CAD/CAE-технології формують основу єдиного цифрового циклу, що забезпечує безперервність обробки даних і узгодженість інженерних рішень.

Традиційний послідовний підхід, за якого геометричне моделювання та інженерні розрахунки виконувалися незалежно, обмежував ефективність проєктування та ускладнював внесення змін. Інтеграція CAD і CAE дозволила перейти до використання єдиної цифрової моделі виробу, яка поєднує конструктивні та розрахункові дані. Основою такого підходу є параметрична тривимірна модель, що одночасно використовується для формування конструкторської документації та проведення інженерного аналізу. Будь-які зміни параметрів автоматично синхронізуються з усіма пов'язаними елементами, включаючи розрахункові моделі та складальні структури.

Інтеграція CAD/CAE суттєво підвищує ефективність проєктування, оскільки дозволяє оперативно оцінювати вплив конструктивних змін на кінематичні, динамічні та міцнісні характеристики без повторного формування моделей. Це скорочує тривалість проєктного циклу та забезпечує можливість багатоваріантного аналізу.

Для поліграфічного обладнання інтегрований підхід є особливо важливим через високу взаємозалежність механічних вузлів, де зміна параметрів одного елемента впливає на роботу всієї системи. Тому зв'язок між моделюванням і аналізом є критично необхідним для забезпечення стабільності функціонування. Перевагою цифрового середовища є також формування наскрізного інформаційного циклу, у межах якого результати CAD/CAE-аналізу використовуються на етапах технологічної підготовки виробництва, програмування обладнання та експлуатаційного моніторингу. Сучасні платформи підтримують автоматизовану оптимізацію конструкцій, що дозволяє зменшувати масу, підвищувати жорсткість і знижувати концентрації напружень на основі чисельного аналізу.

Перспективним напрямом є впровадження концепції цифрового двійника, який відтворює не лише геометрію, але й поведінку механічної системи в експлуатації.

2 Застосування CAD-систем у побудові геометричних моделей поліграфічного обладнання

Перехід до практичної реалізації цифрового проєктування вимагає розгляду інструментальних можливостей CAD-систем, які забезпечують формування геометричної основи механічних конструкцій. Саме на цьому етапі абстрактні інженерні уявлення про структуру та функціонування поліграфічного обладнання набувають конкретного просторового вигляду у вигляді тривимірних моделей деталей, вузлів і складальних одиниць.

У контексті поліграфічного машинобудування CAD-технології виконують не лише функцію графічного моделювання, але й виступають як середовище параметричного опису конструкцій, у якому закладаються базові геометричні, кінематичні та функціональні залежності майбутньої системи. Це створює передумови для подальшого інженерного аналізу та інтеграції з CAE-інструментами. Розгляд застосування CAD-систем у побудові геометричних моделей дозволяє деталізувати методологічні підходи до створення цифрових прототипів поліграфічного обладнання, а також визначити ключові принципи формування параметричних і асоціативних моделей складних механічних систем.

2.1 Формування та параметризація тривимірних моделей механічних систем.

Сучасні CAD-системи є базовим інструментом цифрового конструювання поліграфічного обладнання, оскільки забезпечують перехід від геометричного опису до повноцінного просторового математичного представлення механічних систем. На відміну від традиційних креслярських підходів, тривимірне моделювання дозволяє розглядати конструкцію як параметрично керовану систему з формалізованими функціональними та геометричними зв'язками [6].

Формування цифрової моделі здійснюється через послідовне створення ескізів і подальші операції побудови об'ємної геометрії (витягування, обертання, вирізання, булеві перетворення). У поліграфічному обладнанні це охоплює друкарські циліндри, валові системи, механізми подавання та просторові кінематичні пари [7]. Ключовою особливістю сучасного CAD-підходу є параметричний опис, за якого кожен елемент визначається набором змінних геометричних і логічних залежностей. Це дозволяє розглядати механізм як математично керовану систему, у якій зміна одного параметра автоматично призводить до перебудови всієї конструкції. Для поліграфічних машин це має критичне значення через високу щільність кінематичних зв'язків, де зміна одного вузла впливає на всю систему. Параметризація дозволяє формалізувати ці взаємозв'язки та забезпечити їх автоматичне врахування під час проєктування.

З наукової точки зору параметричне моделювання є переходом до функціонального опису геометрії, де форма конструкції визначається системою

обмежень і математичних залежностей. Це наближає CAD-модель до інженерної абстракції вищого рівня.

2.2 Асоціативні моделі та керування змінами конструкцій у CAD-середовищі.

Асоціативність у CAD-системах є ключовим принципом цифрового проектування, що забезпечує структурну та логічну узгодженість геометричної моделі. Вона передбачає взаємозв'язок елементів, за якого зміна одного параметра автоматично оновлює всі залежні компоненти, включаючи складальні вузли та конструкторську документацію.

Для поліграфічного обладнання це має особливе значення через високу взаємозалежність механічних вузлів. Зміна положення або параметрів одного елемента може впливати на кінематику всієї системи, включаючи траєкторії подавання матеріалу, синхронізацію друкарських циліндрів і умови контакту робочих поверхонь. Без асоціативності такі зміни потребували б ручного коригування значної кількості елементів, що підвищує ризик помилок. З інженерної точки зору асоціативна модель є графо-параметричною системою, у якій геометрія визначається через набір обмежень (constraints). Вони можуть бути геометричними (співвісність, паралельність, перпендикулярність) або функціональними (кінематичні та контактні залежності), що формує керовану структуру моделі.

Такий підхід реалізує принцип наскрізного цифрового проектування, коли будь-яка зміна конструкції автоматично поширюється на всі рівні моделі, включаючи 3D-геометрію, складальні зв'язки, креслення та, за інтеграції, САЕ-розрахунки. Важливим аспектом є керування змінами конструкції через механізми версіонування та історії побудови, що дозволяє відстежувати еволюцію проєкту, порівнювати варіанти та обґрунтовано обирати оптимальні рішення. Для поліграфічного обладнання це критично, оскільки навіть незначні конструктивні зміни можуть впливати на динаміку системи та якість друку через зміну жорсткості або кінематичних параметрів. Асоціативні моделі підвищують надійність проектування, зменшуючи обсяг ручних операцій і мінімізуючи вплив людського фактора, що особливо важливо для складних багатовузлових механічних систем.

3 Аналіз застосування САЕ-інструментів в поліграфії

Поглиблення цифровізації інженерного проектування зумовило перехід від окремих розрахункових процедур до комплексного САЕ-аналізу механічних систем, у межах якого поліграфічне обладнання розглядається як єдина багатofізична динамічна структура. Такий підхід ґрунтується на системному описі взаємодії всіх елементів механізму в умовах реальної експлуатації.

Механічні системи поліграфічних машин функціонують під дією комбінованих навантажень – інерційних, контактних, пружних і вібраційних – що визначають їх складну нелінійну поведінку. Це обумовлює необхідність застосування САЕ-методів, здатних формалізувати багатовимірні фізичні

процеси та реалізувати їх чисельне моделювання. Особливістю САЕ-аналізу є одночасне врахування геометричних, матеріальних і експлуатаційних факторів, що впливають на роботу механізмів. У результаті використовується інтегрований підхід, у якому кінематичні, динамічні та міцнісні характеристики розглядаються як взаємопов'язані складові єдиної системи. Методологічна основа САЕ-аналізу базується на системному підході, що передбачає послідовне дослідження кінематики, динаміки та напружено-деформованого стану елементів конструкції з використанням чисельних методів, насамперед скінченно-елементного аналізу.

Такий підхід дозволяє отримати цілісне уявлення про поведінку механічних систем у реальних умовах роботи та формує науково обґрунтовану основу для оптимізації конструкцій поліграфічного обладнання на етапі цифрового проектування.

3.1 Системний підхід до чисельного моделювання механічних процесів.

Системний підхід у САЕ-аналізі механізмів поліграфічного обладнання ґрунтується на представленні машини як багатовимірної динамічної системи з розподіленими параметрами, у якій усі елементи знаходяться у взаємозв'язку через кінематичні, силові та енергетичні взаємодії. Така постановка принципово відрізняється від класичних інженерних методів, де окремі вузли розглядаються ізольовано.

У межах сучасної інженерної практики системне моделювання розглядається як перехід від детермінованого опису окремих елементів до імовірісно-структурного уявлення про механічну систему. Це означає, що поліграфічне обладнання інтерпретується не як сукупність жорстко заданих вузлів, а як взаємодіючий комплекс підсистем, поведінка яких визначається як внутрішніми зв'язками, так і зовнішніми експлуатаційними умовами. Такий підхід дозволяє враховувати варіативність робочих режимів, що є характерним для високошвидкісних друкарських процесів. Механічна система поліграфічного обладнання в загальному випадку описується нелінійною системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$M(q)q'' + C(q, q')q' + K(q)q = F(t), \quad (1)$$

де q – вектор узагальнених координат механізму;

$M(q)$ – матриця інерційних характеристик;

$C(q, q')$ – матриця демпфування;

$K(q)$ – матриця жорсткості;

$F(t)$ – вектор зовнішніх навантажень, що включає технологічні сили, інерційні компоненти та контактні взаємодії.

Важливо підкреслити, що математична модель у САЕ-системах не є статичною конструкцією, а представляє собою адаптивну структуру, яка уточнюється в процесі чисельного розрахунку. Зокрема, матриці інерції, жорсткості та демпфування можуть змінювати свої значення залежно від

конфігурації механізму та режиму його роботи. Це особливо суттєво для поліграфічного обладнання, де контактні взаємодії та змінні навантаження призводять до суттєвої нелінійності системи.

У поліграфічних машинах ця система є суттєво нелінійною, що зумовлено наявністю змінних кінематичних пар, контактів ковзання та кочення, а також періодичним характером навантаження. Це виключає можливість отримання аналітичного розв'язку і обґрунтовує застосування чисельних методів САЕ-моделювання. Енергетична постановка задачі дозволяє перейти до варіаційного формулювання.

Загальна потенційна енергія системи визначається як:

$$\Pi = U - W, \quad (2)$$

де U – енергія пружної деформації;
 W – робота зовнішніх сил.

Умова рівноваги системи формулюється як принцип стаціонарності потенційної енергії:

$$\delta \Pi = 0, \quad (3)$$

Це співвідношення є базовим для побудови чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів, який використовується для дискретизації безперервної механічної системи. З інженерної точки зору варіаційний підхід дозволяє інтерпретувати механічну систему як енергетично узгоджену структуру, у якій рівновага досягається через мінімізацію потенційної енергії. Це є фундаментальним положенням для побудови чисельних алгоритмів, оскільки забезпечує стійкість розв'язку та фізичну коректність отриманих результатів. У поліграфічних механізмах це дозволяє адекватно моделювати роботу систем у режимах динамічної рівноваги, характерних для безперервного друкарського процесу.

Процес дискретизації передбачає заміну безперервного континууму набором скінченних елементів, для яких система рівнянь набуває вигляду:

$$[K]\{u\} = \{F\}, \quad (4)$$

де $[K]$ – глобальна матриця жорсткості;
 $\{u\}$ – вектор переміщень вузлів;
 $\{F\}$ – вектор зовнішніх навантажень.

У системному САЕ-аналізі важливим є також урахування часової залежності процесів. Механічна система поліграфічного обладнання розглядається як динамічна система:

$$x = x(t), \quad x' = \dot{x}, \quad x'' = \ddot{x}, \quad (5)$$

що дозволяє моделювати нестационарні режими роботи, включаючи пуск, зупинку та перехідні процеси.

Практична цінність системного підходу полягає у можливості інтеграції різнорівневих моделей – від локального аналізу окремих вузлів до глобального опису всієї механічної системи. Це створює основу для багатоступеневого САЕ-аналізу, у якому результати одного рівня моделювання використовуються як вхідні дані для наступного. Така ієрархічна структура дозволяє підвищити точність прогнозування поведінки поліграфічного обладнання без істотного збільшення обчислювальної складності. Такий системний підхід забезпечує цілісне математичне описання механічної системи, у якому геометричні, кінематичні та силові параметри розглядаються як взаємопов'язані елементи єдиної моделі.

3.2 Кінематико-динамічний аналіз як основа дослідження функціонування механізмів.

Кінематико-динамічний аналіз у САЕ-середовищі є базовим рівнем дослідження механічних систем поліграфічного обладнання, оскільки саме він визначає часову структуру руху всіх елементів та формує вихідні умови для подальшого міцнісного й контактного аналізу [8]. У науковому розумінні цей етап є формалізованим переходом від геометричного опису механізму до його фізико-математичної моделі руху.

Кінематична частина аналізу базується на описі просторового положення механічної системи через вектор узагальнених координат $q(t)$, який визначає конфігурацію всіх ланок механізму в кожен момент часу. Рух системи задається кінематичними зв'язками:

$$\Phi(q, t) = 0, \quad (6)$$

де Φ – вектор нелінійних обмежень, що визначає геометричну та кінематичну узгодженість елементів.

У поліграфічних механізмах ці обмеження мають складний характер через наявність багатоланкових кінематичних ланцюгів, змінних передавальних відношень та циклічних режимів роботи. У результаті кінематична модель набуває часової залежності, що дозволяє визначати не лише положення, але й швидкості та прискорення робочих органів:

$$v(t) = q'(t), \quad a(t) = q''(t), \quad (7)$$

Динамічний аналіз ґрунтується на застосуванні узагальненого рівняння руху Лагранжа другого роду [9], яке для багатоступневих механічних систем записується у матричній формі:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial q'_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \quad (8)$$

де $L = T - \Pi$ – функція Лагранжа, що визначається різницею між кінетичною та потенціальною енергіями системи

Q_i – узагальнені сили, які враховують дію зовнішніх навантажень і сил опору.

Інерційні, демпфуючі та пружні властивості системи формують динамічні характеристики механізму та змінюються залежно від конфігурації кінематичного ланцюга. Для поліграфічного обладнання характерною особливістю є часовий характер зміни навантажень, обумовлений контактною взаємодією робочих елементів і циклічністю технологічного процесу. Фізично це означає, що механічна система не є лінійною стаціонарною структурою. Навпаки, її динаміка визначається нелінійними ефектами, включаючи геометричну нелінійність, зміну жорсткості контактів та варіацію інерційних характеристик при русі.

З інженерної точки зору особливу цінність становить можливість поєднання кінематичного та динамічного аналізу в єдину модель, що дозволяє враховувати взаємний вплив геометрії руху та силових факторів. У поліграфічному обладнанні це забезпечує прогнозування реальної поведінки механізмів у робочих умовах, включаючи нерівномірність навантаження, мікроколивання та динамічні похибки.

3.3 Моделювання напружено-деформованого стану в умовах змінних навантажень.

Моделювання напружено-деформованого стану елементів поліграфічного обладнання є завершальним і найбільш відповідальним етапом САЕ-аналізу, оскільки саме на цьому рівні визначається реальна міцність, жорсткість і довговічність конструкцій у робочих умовах. Якщо кінематико-динамічний аналіз описує характер руху механізму, то дослідження НДС дозволяє встановити, як цей рух трансформується у внутрішні напруження матеріалу та які наслідки це має для експлуатаційної надійності системи.

Особливістю поліграфічного обладнання є робота в умовах складного багатокомпонентного навантаження, яке має змінний у часі характер. Навантаження формуються не лише прикладеними технологічними зусиллями, але й інерційними ефектами, що виникають при високошвидкісному русі вузлів, а також контактними взаємодіями між елементами механізму. У результаті напружено-деформований стан конструкції набуває суттєво нестационарного та просторово нерівномірного характеру.

У сучасних САЕ-системах аналіз НДС базується на чисельному представленні континуальної механіки твердого тіла, де реальна конструкція дискретизується на скінченні елементи з подальшим розв'язанням системи рівнянь рівноваги. Такий підхід дозволяє отримати детальний розподіл переміщень, деформацій і напружень у кожній точці моделі, що є критично важливим для складних просторових механізмів поліграфічних машин.

З наукової точки зору важливим є те, що матеріальна поведінка конструкції розглядається як функція не лише прикладених сил, але й історії навантаження. Це означає, що реакція системи залежить від попередніх станів, що особливо проявляється при циклічній роботі обладнання. Такий підхід дозволяє враховувати накопичення пошкоджень, зародження мікротріщин та поступову деградацію матеріалу [10]. Окрему увагу приділяють зонам концентрації

напружень, які виникають у місцях геометричних переходів, отворах, різбових з'єднаннях, опорних поверхнях та контактних парах. Саме ці області є критичними з точки зору ініціації втомного руйнування, оскільки в них локальні напруження суттєво перевищують середні значення по конструкції.

Для поліграфічного обладнання це має принципове значення, оскільки тривала робота в умовах високої циклічності навантажень призводить до накопичення структурних пошкоджень навіть при відсутності явного перевищення допустимих напружень. Тому сучасний САЕ-аналіз обов'язково включає оцінювання втомної довговічності та прогноз ресурсу елементів конструкції [11]. Методологічно важливо, що моделювання НДС у сучасних інженерних системах розглядається як ітераційний процес уточнення моделі. На кожному етапі враховуються уточнені граничні умови, контактні взаємодії та реальні характеристики матеріалів, що дозволяє поступово наближати чисельний результат до фізично достовірного стану конструкції.

Окремим напрямом є аналіз контактних взаємодій, які відіграють ключову роль у роботі поліграфічного обладнання. Контакт між циліндрами, валами та транспортними елементами супроводжується складним розподілом локальних напружень, що суттєво впливає на знос, стабільність руху та точність технологічного процесу. Такі задачі мають нелінійний характер і вимагають спеціальних чисельних алгоритмів, що враховують зміну площі контакту в процесі навантаження. У підсумку моделювання напружено-деформованого стану в умовах змінних навантажень дозволяє сформувати цілісне уявлення про міцнісну поведінку поліграфічного обладнання. Це забезпечує можливість не лише перевірки конструкції на міцність, але й її оптимізації з урахуванням реальних умов експлуатації, що є ключовим завданням сучасного цифрового інженерного проєктування.

Метод скінченних елементів у цьому контексті виступає базовим чисельним інструментом реалізації всього комплексу розглянутих підходів до аналізу механічних систем поліграфічного обладнання. Саме він забезпечує практичну реалізацію переходу від безперервної математичної моделі до дискретної обчислювальної постановки, придатної для інженерного розрахунку складних просторових конструкцій [12]. Завдяки FEM стає можливим узгоджене розв'язання задач кінематики, динаміки та міцності в єдиному обчислювальному середовищі, де геометрична модель, матеріальні властивості та навантажувальні режими інтегруються в єдину чисельну систему. Це забезпечує не лише високу точність отримуваних результатів, але й їх фізичну коректність у межах прийнятих припущень механіки деформівного твердого тіла.

У межах виконаного САЕ-аналізу механічних систем поліграфічного обладнання встановлено, що сучасне цифрове проєктування повинно базуватися на інтеграції кінематичних, динамічних і міцнісних підходів у межах єдиної математично узгодженої моделі. Такий підхід забезпечує не лише опис окремих фізичних процесів, але й їх системну взаємодію в умовах реальної експлуатації обладнання. Показано, що кінематико-динамічний аналіз є вихідним рівнем

дослідження, який визначає часову структуру руху механізмів та формує основу для подальшого оцінювання навантажень. Встановлено, що для поліграфічного обладнання характерними є суттєві нелінійності, зумовлені змінними режимами роботи, інерційними ефектами та складними кінематичними зв'язками між вузлами системи.

Моделювання напружено-деформованого стану є ключовим етапом оцінювання працездатності конструкцій, оскільки дозволяє виявити критичні зони концентрації напружень, оцінити вплив змінних навантажень та визначити потенційні області втомного руйнування. Особливе значення при цьому мають контактні взаємодії та циклічний характер навантаження, властивий поліграфічним машинам. Також метод скінченних елементів є базовою чисельною основою реалізації всіх розглянутих підходів САЕ-аналізу. Він забезпечує дискретизацію безперервних механічних систем та дозволяє отримувати узгоджені рішення задач кінематики, динаміки та міцності в єдиному обчислювальному середовищі.

Таким чином, проведене дослідження підтверджує, що ефективне проектування поліграфічного обладнання можливе лише за умови використання комплексного САЕ-підходу, який поєднує системне моделювання, динамічний аналіз та чисельні методи механіки деформівного твердого тіла. Це створює науково обґрунтовану основу для підвищення точності розрахунків, оптимізації конструкцій та прогнозування експлуатаційної надійності сучасних поліграфічних машин.

Результати досліджень

4 Інтеграція CAD/CAE у єдиний цикл проектування

Інтеграція CAD- та CAE-технологій у сучасному інженерному проектуванні відображає перехід до єдиного цифрового середовища, у межах якого геометричне моделювання, чисельний аналіз та параметрична оптимізація функціонують як взаємопов'язані компоненти єдиного інформаційно-обчислювального циклу. У такій постановці проектування розглядається не як послідовність окремих етапів, а як безперервний ітераційний процес трансформації інженерних даних.

У межах дослідження сформульовано методологічний підхід до інтегрованого цифрового CAD/CAE-циклу проектування поліграфічного обладнання, що ґрунтується на принципі контурної організації інженерного процесу та реалізації замкненого інформаційно-обчислювального циклу між синтезом, аналізом і параметричною оптимізацією конструкції. Запропонований підхід розглядає цифрове проектування як багатокomпонентну систему, у якій функції генерації геометрії, чисельного аналізу та інженерної корекції параметрів є взаємопов'язаними та реалізуються у безперервному ітераційному режимі.

1. Формалізація інженерно-технологічних вимог. На початковому етапі здійснюється систематизація та структуризація функціональних,

конструктивних, технологічних і експлуатаційних вимог до поліграфічного обладнання. Сукупність вихідних характеристик трансформується у параметризований простір обмежень, який визначає допустимі межі зміни конструктивних параметрів механічної системи. При цьому враховуються кінематичні схеми механізмів, вимоги до точності переміщення робочих органів, допустимі навантаження, режими функціонування та умови технологічної експлуатації. Формалізація вимог створює основу для подальшого математичного опису конструкції та забезпечує узгодження між геометричними й функціональними характеристиками виробу.

2. Параметричне CAD-моделювання геометричної структури. На етапі цифрового синтезу конструкції формується асоціативна тривимірна модель механічної системи, у якій геометричні елементи описуються через систему взаємопов'язаних параметрів, топологічних залежностей та логічних зв'язків між компонентами конструкції. Такий підхід забезпечує високий рівень структурної керованості цифрової моделі та дозволяє автоматично перебудовувати геометрію виробу при зміні вихідних параметрів або конструктивних обмежень. Параметричне моделювання створює передумови для реалізації адаптивного проектування, у межах якого конструкція може оперативно модифікуватися відповідно до результатів інженерного аналізу та критеріїв оптимізації.

3. Інтегрований CAE-аналіз механічної поведінки. Після формування цифрової геометричної моделі виконується комплексний чисельний аналіз механічної поведінки системи із застосуванням методів комп'ютерної інженерії. Аналіз охоплює дослідження кінематичних, динамічних, вібраційних та міцнісних характеристик конструкції з урахуванням геометричних нелінійностей, контактної взаємодії елементів, змінних інерційних навантажень та нестационарних режимів роботи, характерних для поліграфічного обладнання. Особлива увага приділяється оцінюванню напружено-деформованого стану деталей, динамічної стійкості механізмів, впливу вібраційних процесів на точність функціонування системи та прогнозуванню ресурсу експлуатаційної надійності конструкції.

4. Інженерна інтерпретація та критеріальна оцінка результатів. Результати чисельного моделювання трансформуються у систему узагальнених інженерних критеріїв, що характеризують ефективність функціонування механічної системи. До основних критеріїв належать точність реалізації кінематичних процесів, жорсткісні параметри конструкції, рівень динамічних навантажень, показники вібраційної стабільності, довговічність елементів та експлуатаційна надійність обладнання. Інженерна інтерпретація результатів дозволяє визначати критичні зони конструкції, оцінювати ступінь відповідності проектного рішення заданим технічним вимогам та формувати обґрунтовані рекомендації щодо подальшого вдосконалення конструкції.

5. Параметричний зворотний зв'язок та структурна оптимізація. Заключним етапом інтегрованого CAD/CAE-циклу є реалізація механізму

параметричного зворотного зв'язку між результатами чисельного аналізу та геометричною моделлю конструкції. Отримані результати CAE-моделювання автоматично інтегруються у CAD-середовище через систему параметричної корекції, що забезпечує формування замкненого ітераційного циклу оптимізації. У межах цього процесу здійснюється уточнення геометричних параметрів, перерозподіл масово-інерційних характеристик, оптимізація жорсткісних властивостей і корекція структурної конфігурації механізму з метою досягнення раціонального співвідношення між міцністю, точністю, динамічною стабільністю та технологічною ефективністю конструкції. Реалізація такого підходу забезпечує підвищення якості проєктних рішень, скорочення тривалості інженерного циклу та підвищення ефективності цифрового проєктування поліграфічного обладнання.

Висновки

У результаті виконаного дослідження розглянуто комплекс теоретичних і прикладних аспектів комп'ютерного моделювання механізмів поліграфічного обладнання в CAD/CAE-середовищах, що дозволило сформулювати цілісне уявлення про сучасну цифрову методологію інженерного проєктування.

Показано, що CAD-системи є базовим інструментом формування параметричних і асоціативних геометричних моделей, які забезпечують формалізований опис конструкцій у вигляді керованих систем взаємопов'язаних параметрів. Такий підхід створює основу для швидкої адаптації конструктивних рішень до змін технічних вимог без втрати структурної цілісності моделі. Встановлено, що CAE-методи відіграють ключову роль у переході від геометричного опису до фізичного аналізу поведінки механічних систем. Кінематико-динамічне моделювання дозволяє досліджувати закономірності руху елементів поліграфічного обладнання, тоді як аналіз напружено-деформованого стану забезпечує оцінювання міцності та експлуатаційної надійності конструкцій в умовах змінних навантажень.

Особливу роль у структурі цифрового інженерного аналізу відіграє метод скінченних елементів, який забезпечує дискретизацію безперервних механічних систем і є універсальним інструментом реалізації задач кінематики, динаміки та міцності в єдиному обчислювальному середовищі. Окремо підкреслено значення інтеграції CAD/CAE у єдиний цикл проєктування, що забезпечує безперервність цифрового інженерного процесу. Така інтеграція дозволяє зменшити кількість ітерацій проєктування, підвищити узгодженість між геометричною та розрахунковою моделлю, а також забезпечити оперативний аналіз альтернативних конструктивних рішень.

Проведений аналіз підтвердив, що цифрове моделювання створює передумови для переходу до концепції віртуального прототипування, у межах якої основні експлуатаційні характеристики обладнання можуть бути оцінені ще до етапу фізичного виготовлення дослідного зразка. Це сприяє зниженню

матеріальних витрат на розроблення конструкції, підвищенню точності інженерних рішень та забезпеченню більш високого рівня технічної надійності поліграфічних механізмів.

Як результат дослідження запропоновано методологічний підхід до інтегрованого CAD/CAE-циклу проєктування поліграфічного обладнання, який забезпечує узгоджену взаємодію етапів геометричного моделювання та інженерного аналізу. Реалізація даного підходу формує основу сучасної цифрової інженерії, у межах якої механічна система розглядається як параметрично керована динамічна структура, що дозволяє підвищити ефективність проєктування та забезпечити оптимізацію техніко-експлуатаційних характеристик ще на етапі віртуального моделювання.

Список літератури.

1. Кучеренко, Д., & Табакова, І. (2026). Кінематичний аналіз важільних механізмів засобами геометричних залежностей autocad. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 179).
2. Liu, X., Dodds, G., McCartney, J., & Hinds, B. (2005). Manipulation of CAD surface models and haptics based on shape control functions. *Computer-Aided Design*, 37(14), 1447-1458. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2005.02.015>.
3. Deng, Y.-M., Britton, G.A., Lam, Y.C., Tor, S.B., & Ma, Y.S. (2010). Feature-based CAD-CAE integration model for injection-moulded product design. *International Journal of Production Research*, 40(15), 3737-3750. <https://doi.org/10.1080/00207540210141643>.
4. Табакова, І.С., & Кучеренко, Д.В. (2025). Використання САПР в технічній механіці. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 239-240).
5. Yoo, S., Lee, S., Kim, S., Hwang, K.H., Park, J.H., & Kang, N. (2020). Integrating deep learning into CAD/CAE system: Generative design and evaluation of 3D conceptual wheel. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.02138>.
6. Табакова, І.С., & Кучеренко, Д.В. (2024). Особливості побудови 3D моделей. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 34-36).
7. Лихобаба, М., & Табакова, І. (2026). Автоматизація розрахунку та побудови зубчастих передач на прикладі поліграфічного обладнання. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 180).
8. Табакова, І.С., Трунова, Т.О., & Хламов, С.В. (2025). Застосування 3d-моделювання у створенні прототипів та оптимізації виробничих процесів на поліграфічних підприємствах. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 214-215).
9. Байда, Є. (2025). Особливості розв'язання електромеханічних задач за допомогою рівнянь Лагранжа. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика, 2 (14), 3-8.
10. Antonov, S., & Hristov, H. (2020). Increasing productivity with the combined use of CAD/CAM/CAE software platforms for collective work during design. *Knowledge-Based Organization*, 26(3), 1-7. <https://doi.org/10.2478/kbo-2020-0106>.
11. Kuipers, T., Doubrovski, E.L., Wu, J., & Wang, C.K.M. (2020). A framework for adaptive width control of dense contour-parallel toolpaths in fused deposition modeling. *Computer-Aided Design*, 128, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102907>.
12. Іванченко, Г., Максим'юк, Ю., Козак, А., & Мартинюк, І. (2021). Побудова розв'язувальних рівнянь напіваналітичного методу скінченних елементів для призматичних тіл складної форми. Управління розвитком складних систем, (46), 55-62.

МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В КЛАСИЧНІ ПРОЦЕСИ СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ

Дейнеко Ж.В.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0003-0175-4181

Криворучко М.О.

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

Морозова Л.Ю.

старший викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0001-5317-1813

***Анотація.** У дослідженні розглянуто трансформацію класичних процесів створення двовимірної анімаційної контенту під впливом сучасних технологій штучного інтелекту, визначено особливості інтеграції AI-інструментів у створення концепт-арту, візуальних концепцій, дизайну персонажів. У роботі здійснено порівняльний аналіз традиційних і AI-інтегрованих виробничих моделей, що дозволило виявити переваги штучного інтелекту – швидкість, масштабованість та оптимізацію рутинних процесів – і водночас окреслити його обмеження, зокрема недостатній художній контроль, стилістичну нестабільність і обмежену придатність до професійного виробництва. Доведено, що генеративний ШІ є найбільш ефективним як інструмент підтримки, прискорення та розширення творчого пошуку, а не як повна заміна класичних художніх методів. Особливу увагу приділено етичним, правовим та авторським аспектам використання ШІ, професійній трансформації ролі аніматора та розвитку гібридних виробничих моделей, у межах яких класичні принципи анімації поєднуються зі спеціалізованими AI-рішеннями.*

***Ключові слова:** генеративні моделі, системи штучного інтелекту, комп'ютерна анімація, анімаційний контент, концепт-арт, дизайн персонажів, пайплайн, візуальні концепції.*

Вступ

Сучасна анімаційна індустрія переживає етап глибокої технологічної трансформації, пов'язаної з активним розвитком систем штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання та генеративних моделей. На зміну трудомісткій лінійній архітектурі створення анімації приходить інтелектуальна автоматизація. Якщо раніше кожен етап – від концепт-арту до рендерингу потребував значних ресурсів, то нині використання ШІ дозволяє радикально прискорити та підсилити ці процеси через інтеграцію інтелектуальних рішень [1]. Штучний інтелект інтегрований у традиційні анімаційні процеси, зробив можливим створювати високоякісні анімаційні розваги швидше та доступніше. ШІ революціонізує світ 2D-анімації за допомогою функції перетворення тексту на відео. Існує безліч

генераторів 2D-анімації, які дозволяють створювати чудові відеоролики. Крім того, ці інструменти автоматизують такі трудомісткі завдання, як синхронізація рухів губ для персонажів та створення фону. Таким чином вони дозволяють аніматорам зосередитися на творчості, а розширені функції, такі як ротоскопування (ротоскопія) [2], також використовують штучний інтелект для відстеження відеоматеріалів у реальному часі. Ці творці відео зі штучним інтелектом аналізують величезні обсяги даних для створення виразної анімації. Більше того, функція генерації сценаріїв із використанням штучного інтелекту також інтегрована в деякі інструменти для створення захоплюючих історій [3].

Особливого значення набуває інтеграція генеративного штучного інтелекту (Generative AI), включаючи дифузійні моделі, GAN-архітектури у класичні виробничі пайплайни. Такі інструменти, як Midjourney, Stable Diffusion, Runway, Adobe Firefly, EbSynth, Cascadeur [1, 3] та інші, вже сьогодні змінюють підходи до створення концепт-арту, дизайну персонажів, автоматизації створення проміжних кадрів (фазування), генерації рухових послідовностей, узгодження міміки з мовленням, нейронної візуалізації та локалізації контенту.

Водночас широке впровадження ШІ не означає повної заміни класичних методів анімації. Найбільш перспективним напрямом є саме гібридна інтеграція, за якої штучний інтелект виступає інструментом оптимізації, прискорення та розширення творчих можливостей фахівця, а не його повною заміною. Це особливо важливо в контексті збереження художньої цінності, авторського контролю та стилістичної цілісності продукту.

Мета та задачі дослідження

Метою цього дослідження є вивчення впливу, який штучний інтелект мав на традиційні методи анімації, та дослідження наслідків, які це може мати в майбутньому. Це дослідження надасть уявлення про те, як штучний інтелект революціонізує процес створення сучасних анімацій. Актуальність теми дослідження зумовлена безпрецедентною швидкістю цифрової трансформації медіаіндустрії, де анімаційний контент посідає ключове місце як у розважальному, так і в освітньому та науковому секторах.

Стрімкий розвиток генеративних моделей штучного інтелекту протягом 2023-2025 радикально змінив підходи до оптимізації найбільш трудомістких етапів створення контенту, дозволивши інтегрувати інтелектуальні алгоритми в процеси автоматичного фабування, пошарової сегментації персонажів та генерації складних рухових послідовностей. Сучасний етап розвитку галузі характеризується гострим протиріччям: з одного боку, зростають вимоги глядача до візуальної складності та гіперреалізму, а з іншого – класичні методи виробництва залишаються надмірно ресурсозатратними та тривалими. У цьому

контексті штучний інтелект виступає не лише як інструмент автоматизації, а як каталізатор нової виробничої парадигми [1-5].

Об'єктом дослідження є технологічний процес створення анімаційного контенту в умовах цифровізації. Предметом дослідження є методи та алгоритми інтеграції інтелектуальних систем у традиційні етапи анімаційного виробництва.

Метою монографії є наукове обґрунтування та розробка гібридної моделі анімаційного пайплайну, що поєднує авторську креативність із потужністю обчислювальних нейромережових структур. Попри стрімке зростання популярності AI-інструментів, існує низка суперечностей:

- недостатній рівень точного контролю над генеративними результатами;
- проблеми авторського права та використання навчальних датасетів;
- ризик стандартизації художніх стилів;
- складність інтеграції нових технологій у традиційні виробничі цикли.

У зв'язку з цим особливо актуальним є системне дослідження методів інтеграції ШІ саме в класичні процеси виробництва анімації з урахуванням технічних, художніх та етичних аспектів [4, 5]. У дослідженні систематизовано актуальні підходи до впровадження ШІ в анімаційну індустрію не як сукупності автономних засобів генерації, а як фундаментальної складової модернізованого технологічного циклу. Такий підхід дозволяє інтерпретувати ШІ як невід'ємний компонент інноваційної моделі гібридного креативного виробництва.

Основна частина

Основні напрями розвитку анімації

Традиційний процес створення анімаційного продукту, відомий у професійному середовищі як «пайплайн» (pipeline), є строго лінійною та багатоетапною структурою. Його генезис сягає фундаментальних праць піонерів анімації, зокрема Френка Томаса та Оллі Джонстона, які у своїй праці «The Illusion of Life: Disney Animation» сформулювали 12 принципів, що стали стандартом оживлення статичних образів [6]. Попри перехід від целулоїдної анімації до комп'ютерної (CGI), логіка виробничого циклу залишилася майже незмінною, поділяючись на три макроетапи: препродакшн, продакшн та пост-продакшн.

На етапі препродакшну формується концептуальний фундамент: розробка сценарію, розкадровка (storyboard) та створення візуального стилю (concept art). Ключовим обмеженням тут є висока залежність від ручної праці художників, де будь-яка концептуальна зміна на кінцевих стадіях потребує повного перемальовування значних масивів даних. Як зазначає Річард Вільямс у «The Animator's Survival Kit» [7], саме на цьому етапі закладається «таймінг» та «спейсинг», які вимагають від спеціаліста не лише художнього хисту, а й глибокого розуміння фізики руху [8].

Попри стрімкий розвиток цифрових технологій, класичні принципи 2D-анімації – покадровість, ключова анімація, композиція кадру, стилізація руху та поетапна організація виробництва – залишаються визначальними як у традиційних, так і в цифрових процесах. Саме тому дослідження еволюції класичних методів створення двовимірної анімаційної контенту є необхідним для розуміння способів інтеграції штучного інтелекту в сучасне виробництво.

Одним із найскладніших та найбільш трудомістких процесів є фазування (in-betweening) – створення проміжних кадрів для досягнення плавності руху. На прикладі маятника можна зрозуміти, що крайні – це місця зміни напрямку руху, тобто кінці дуги, де напрямок руху змінюється [7, 8]. Оскільки довжина осі маятника під час гойдання не змінюється, то середня позиція в русі утворює дугу, і це демонструє наскільки ця середня позиція між двома крайніми положеннями маятника важлива у русі. І саме цю позицію називають «прохідною позицією між двома крайніми» або позицією брейкдауну (рис. 1).

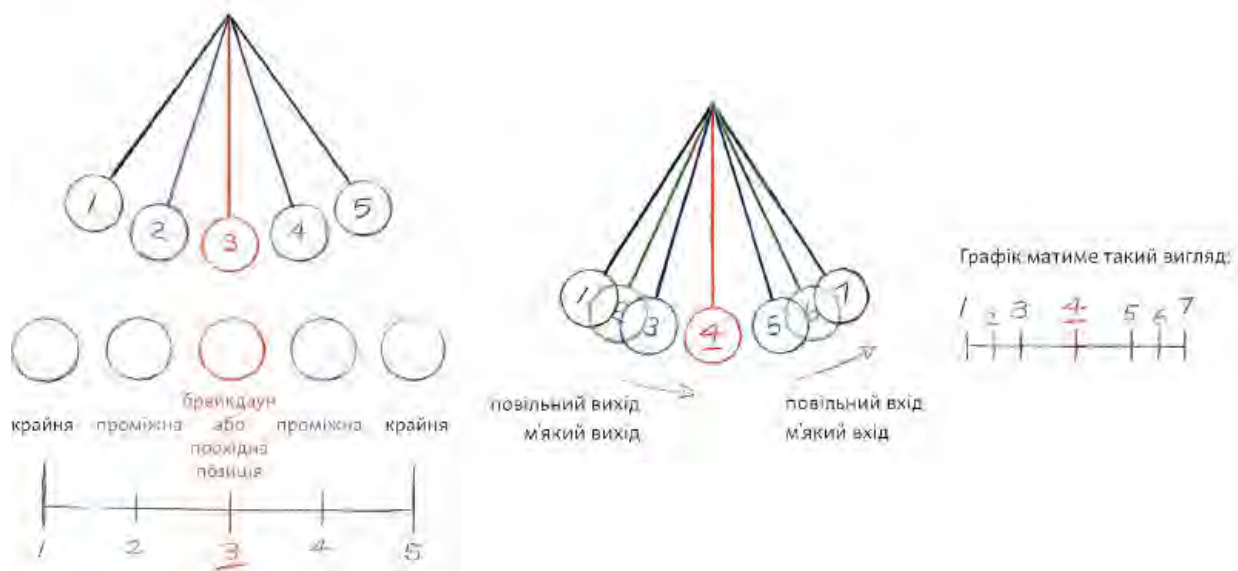


Рисунок 1 – Графік та основні позиції маятника при русі

І тому для прискорення або уповільнення, аніматори додають ще кілька проміжних кадрів на кінцях дуги, тим самим досягається плавність рухів, чого напевно, не створює жодна генеративна система штучного інтелекту. Геніальний аніматор Ерік Ларсон, наставник молодшого покоління аніматорів студії Диснея, казав, що анімація повинна бути зміною форми [8]. Сучасні аніматори створюють тільки ключові кадри, а проміжні домальовують комп'ютерні редактори (рис. 2).

У традиційних системах, навіть за умови використання комп'ютерної інтерполяції, аніматор змушений вручну коригувати «ключі», щоб уникнути механістичності руху. Додатковим технологічним бар'єром постає симуляція фізичних середовищ: волосся, тканин, рідин. Ці процеси потребують колосальних обчислювальних потужностей та багаторазових ітерацій для досягнення прийнятного результату.

Завершальний етап (постпродакшн) – фокусується на рендерингу, композитингу та корекції кольору. Рендеринг залишається «вузьким місцем» класичного виробництва. Попри розвиток апаратного забезпечення, прагнення до фотореалізму (обчислення трасування променів, глобального освітлення) змушує студії витрачати тижні на обробку фінальних кадрів.



Рисунок 2 – Плавність та реалістичність рухів

Таким чином, аналіз класичного анімаційного пайплайну виявляє низку критичних обмежень: висока собівартість, часова інертність та складність масштабування. Ці чинники створюють об'єктивну потребу у впровадженні інтелектуальних методів, здатних взяти на себе рутинні обчислювальні завдання, звільнивши простір для чистої візуальної творчості.

Трансформація традиційної рисованої анімації у цифрову форму не обмежилася простою заміною аналогових носіїв інформації, а призвела до повної деконструкції класичного виробничого циклу, відомого як «целулоїдна технологія» (cel-animation). У класичній парадигмі кожен кадр був результатом фізичного нашарування прозорих листів із графічними об'єктами, що потребувало складних процесів ручного контурування та заливки. Цифрова трансформація запропонувала перехід до віртуального багатошарового простору, де графічна сутність об'єкта визначається методами математичної дескрипції [].

Першим фундаментальним кроком у цій еволюції стала поява векторної графіки. Впровадження кривих Без'є як математичного базису для опису контурів персонажів дозволило подолати проблему роздільної здатності та забезпечило можливість неруйнівного редагування (non-destructive editing). Наукові розробки в галузі геометричного моделювання 2D-форм дали змогу аніматорам маніпулювати не окремими пікселями, а цілісними об'єктами, що мають власні атрибути (товщину лінії, градієнт, координати вузлів). Це стало фундаментом для автоматизації фазування. Алгоритм визначає траєкторію руху векторних вузлів між ключовими кадрами, що дозволяє системі самостійно вибудовувати візуальні перетворення малюнка. Другим етапом стало впровадження цифрового композитингу та віртуальних камер. Традиційне

використання багатоплощинних камер (multiplane cameras) для створення паралакс-ефекту було замінено програмними алгоритмами, що імітують тривимірний простір у межах двовимірної сцени. Це дозволило інтегрувати складні математичні моделі освітлення та затінення безпосередньо у 2D-макети.

Проте цифровізація 2D-анімації виявила специфічне технологічне протиріччя. З одного боку, інструменти скелетної деформації (2D rigging) дозволили значно прискорити анімацію шляхом прив'язки растрових або векторних елементів до ієрархічних «кісток». З іншого боку, така механізація часто призводить до втрати динамічної виразності, притаманної класичній школі.

Аналіз цього перехідного періоду свідчить, що цифрова трансформація забезпечила технічну базу для сучасної 2D-анімації, але водночас створила нові виклики, пов'язані з надмірною алгоритмічністю та втратою індивідуального художнього стилю. Це сформувало об'єктивний запит на інтелектуальні системи, які здатні не просто механічно деформувати об'єкт, а аналізувати його семантичну та художню структуру. Таким чином, цифрова еволюція 2D-анімації підготувала підґрунтя для переходу від «пасивного» цифрового інструменту до «активного» інтелектуального середовища, де ШІ виступає медіатором між математичним розрахунком та візуальною естетикою [11, 12].

Трансформація анімаційного виробництва з аналогової площини в цифрову парадигму не була лише зміною інструментарію, а призвела до фундаментальної зміни самого поняття «рухомого образу». На відміну від традиційної графіки, де кожен кадр є статичною фізичною одиницею, цифрова анімація базується на принципах математичного моделювання об'єктів у віртуальному тривимірному просторі. Цей перехід ознаменував початок епохи комп'ютерно-генерованих зображень (CGI), де візуалізація стала результатом обчислювальних процесів.

Першим етапом цифрової трансформації стала дискретизація зображення, що дозволило замінити традиційні графічні матеріали цифровим растром. Проте справжня революція відбулася з впровадженням методів геометричного моделювання. Наукові праці піонерів комп'ютерної графіки, таких як Айвен Сазерленд (Ivan Sutherland) та Едвін Кетмелл (Edwin Catmull), заклали основи алгоритмічного опису поверхонь [10-12].

Важливе місце в еволюції цифрового виробництва посідає впровадження методів фотометричного рендерингу. Поступовий перехід від спрощених моделей затінення (зокрема за алгоритмами Гуро чи Фонга) до вискоєфективних систем трасування променів (Ray Tracing) та глобального освітлення (Global Illumination) став амбітною спробою математично апроксимувати фізичну поведінку світла [10; 11]. Ці інновації дозволили анімації вийти за межі умовної візуалізації та наблизитися до фотореалістичного відтворення середовища.

Паралельно з розвитком візуалізації відбувалася еволюція методів керування рухом. Впровадження інверсної кінематики (IK) та процедурної

анімації дозволило частково автоматизувати розрахунок траєкторій кінцівок персонажів. Проте, попри високий рівень математизації, ці системи залишалися жорстко алгоритмізованими: вони могли розрахувати фізично коректне падіння об'єкта, але не могли імітувати складну біомеханіку живих істот без детального втручання аніматора. Це зумовило розвиток та широке впровадження технологій захоплення руху (Motion Capture), що фактично є методом оцифрування живої аналогової пластики для її подальшої аплікації на цифрову модель [13, 14]. Такий підхід став першим кроком до подолання «механістичності» руху, що згодом підготувало ґрунт для інтеграції інтелектуальних систем синтезу руху.

Дизайн персонажа – це не сама лише розробка зовнішнього вигляду персонажа, а й розгляд потенційних властивостей його тіла і здатності змінювати форму, зокрема визначення таких особливостей, як зріст, постава, жести, рухи й експресія. Одна з історично важливих технік, застосовуваних у анімації персонажів, – стиль «гумових шлангів», названий так тому, що в ньому рухам персонажів, зазвичай задля більшої ефектності, умисно надавали надмірної еластичності. Цей підхід було розроблено у Walt Disney Studios у 1930-х роках, коли індустрія анімації почала набирати обертів і нарощувати обсяги [4, 6-9].

Рішення Уолта Діснея залучати до анімації художників визначило її форму, і під їхнім впливом у масову практику індустрії впроваджувалися художні принципи анатомії та руху. Художники експериментували з анімаційними техніками, шукаючи нових способів утілити розмаїття і складність вираження людських форм. Такі підходи згодом привели до застосування в повнометражних фільмах так званої «повної анімації»: кожен кадр відмальовували від руки, прагнучи повного контролю над рухами персонажа, що забезпечувало плавність візуального сприйняття й давало більше простору для творчих рішень.

Науково-технологічні передумови впровадження інтелектуальних систем у 2D-анімацію

Еволюція двовимірної анімації в цифрові технології характеризується переходом від механічного копіювання аналогових методів до створення складних обчислювальних середовищ, що базуються на растровій та векторній графіці [5, 11]. Попри повну цифровізацію інструментарію, структура виробничого циклу в 2D-анімації залишається найбільш критичною до часових витрат через необхідність повної або часткової перемальовки кожного кадру. Ця технологічна інертність зумовила пошук інтелектуальних методів автоматизації, спрямованих на вирішення ключових проблем галузі.

Першою передумовою впровадження ІІІ стала проблема автоматизації фазування (in-betweening). У класичній 2D-анімації створення проміжних кадрів між «ключами» є найбільш трудомістким процесом, що потребує значних людських ресурсів для збереження пластичності та об'єму персонажа. Традиційні алгоритми лінійної та векторної інтерполяції, впроваджені в таких

програмних комплексах, як Adobe Animate або Adobe After Effects, часто виявляються неспроможними коректно обробляти складні ракурси та перекриття. Наукові дослідження в галузі комп'ютерного зору вказують на те, що лише нейромережеві структури, здатні до семантичного аналізу форми, можуть забезпечити немеханістичне «добудовування» відсутніх фаз руху, зберігаючи авторську стилістику лінії.

Другим чинником є сегментація та автоматичне розфарбовування (Auto-Colorization). Процес «заливки» замкнених контурів у 2D-анімації вимагає значної уваги до деталей, особливо при роботі з динамічними тінями та градієнтами. Традиційні методи обмежені неможливістю розпізнавання об'єктів як цілісних сутностей. Впровадження інтелектуальних агентів, що базуються на нейронних мережах, дозволяє ідентифікувати частини тіла персонажа або елементи фону незалежно від ступеня їх деформації, що радикально скорочує час на фінальну обробку кадру.

Економічний аспект також відіграє вирішальну роль. Висока собівартість ручної 2D-анімації призвела до домінування так званої скелетної анімації, де персонаж розбивається на окремі сегменти. Хоча це спрощує виробництво, воно суттєво обмежує художню виразність, роблячи рух «маріонетковим». Інтелектуальні технології обіцяють подолати цей розрив, дозволяючи поєднувати швидкість маніпуляції маріонеткою з естетикою класичного малюнка через алгоритми нейронного переносу стилю та автоматичну деформацію растра на основі глибокого навчання.

Аналіз актуальних публікацій свідчить про те, що інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в анімацію відбувається за трьома основними векторами: автоматизація рутинних процесів (in-betweening, розфарбовування), генерація контенту на основі текстових описів та підвищення контрольованості дифузійних моделей [1, 3]. Еволюція двовимірної анімації демонструє, що її розвиток відбувався не через заперечення попередніх методів, а через їх адаптацію до нових технологічних умов: від ручної покадрової праці до створення контрольованого, виразного та художньо цілісного руху.

Саме тому інтеграція штучного інтелекту в 2D-анімацію повинна розглядатися як продовження цієї еволюції: не як заміна художника, а як розширення інструментарію в межах уже сформованих класичних процесів. Найбільш перспективним є hybrid pipeline, де AI автоматизує технічні етапи, залишаючи стратегічний, художній і стилістичний контроль за автором.

Результати дослідження

Машинне навчання як інструмент трансформації класичного анімаційного pipeline

Впровадження методів машинного навчання (Machine Learning) у двовимірну анімацію виступає фундаментальним чинником реконфігурації сучасних технологій. На відміну від ранніх форм цифрової автоматизації, що

базувалися на жорсткій шаблонізації або процедурних алгоритмах, системи машинного навчання оперують аналізом великих масивів візуальних даних. Це дає змогу виявляти приховані закономірності та відтворювати складні патерни динаміки, стилістики й композиції, делегуючи інтелектуальним системам не лише рутинні операції, а й частину творчих завдань. У структурі 2D-анімації машинне навчання постає не як альтернатива класичному пайплайну, а як інтелектуальна надбудова, що інтегрується в окремі виробничі ланки задля їхньої стандартизації та системного масштабування.

Основні напрями застосування машинного навчання у 2D-анімації.

1. Автоматизація in-betweening (створення проміжних кадрів).

Одним із найбільш трудомістких класичних етапів є створення проміжних фаз руху між ключовими позами (Pose to Pose). Традиційно цей процес виконувався вручну або частково автоматизовано через інструменти інтерполяції. ML-моделі дозволяють:

- аналізувати ключові кадри;
- прогнозувати траєкторії руху;
- генерувати проміжні пози;
- адаптувати деформацію форми.

Це особливо ефективно для серійного виробництва, де необхідно підтримувати стабільність стилю за високих обсягів контенту. Но існує основне обмеження – ML-системи можуть помилятися у складних експресивних рухах, де художня стилізація переважає фізичну логіку.

2. Cleanup automation.

Cleanup automation – це процес фінального уточнення ліній, контурів об'єктів анімації, це один із найбільш трудомістких і водночас критично важливих етапів класичної анімації, процес фінального очищення, уточнення та стандартизації анімаційного рисунка. Сучасні ML-підходи використовують для:

- очищення ліній;
- стабілізації товщини контуру;
- усунення артефактів;
- підтримки послідовності між кадрами.

На стадії чорнової анімації художник зосереджується на пластиці руху, таймінгу, емоційній виразності та ключових фазах, тому первинні кадри часто містять допоміжні лінії, конструктивні побудови, нестабільну товщину контуру, неточності пропорцій або випадкові графічні артефакти. Cleanup передбачає переведення цього «живого», але технічно сирого матеріалу у фінальний виробничий формат, придатний для подальшого фарбування, композитингу та серійного використання. У класичній анімації cleanup виконувався фахівцями, які вручну перемальовували кожен кадр, зберігаючи стиль персонажа, стабільність лінії, пропорції та модельну цілісність.

Сучасні системи машинного навчання використовують методи перетворення зображення в зображення, моделі уточнення контурів та алгоритми стабілізації лінії для автоматизованого аналізу чорнових кадрів і перетворення їх

у технічно підготовлений до виробництва результат. Система здатна визначати основні контури персонажа, відокремлювати допоміжні конструктивні штрихи від фінального рисунка, стабілізувати товщину лінії, усувати небажане тремтіння між кадрами та підтримувати цілісність візуального дизайну персонажа впродовж усієї сцени (рис. 3).



Рисунок 3 – Створена III сцена рухів персонажу

Особливо важливим аспектом є часова узгодженість – здатність алгоритму не лише якісно очищувати окремий кадр, але й забезпечувати стабільність лінії у послідовності руху. За відсутності такого підходу автоматизований cleanup може створювати ефект «плаваючого» або нестабільного контуру, що негативно впливає на професійне сприйняття анімації та руйнує враження цілісності руху. Саме тому сучасні технології дедалі частіше поєднують комп'ютерний зір із нейронними архітектурами, орієнтованими на аналіз послідовностей, які враховують не окреме зображення, а серію взаємопов'язаних кадрів. Водночас повна автоматизація має низку суттєвих обмежень. У стилізованій анімації, де навмисна нерівність контуру, експресивна деформація форми або графічна нестандартність є свідомою частиною художньої мови, машинне навчання може надмірно стандартизувати або «нормалізувати» зображення, позбавляючи його авторської індивідуальності. У таких випадках система може технічно покращувати рисунок, але водночас знижувати його художню виразність. Саме тому ефективною вважається модель частково автоматизованою, за якої система

виконує первинне технічне очищення, тоді як художник зберігає фінальний контроль над стилем, характером лінії та естетичною цілісністю анімації.

3. Фарбування та колоризація (Colorization і style consistency).

Фарбування є не лише технічним, а й художньо стратегічним етапом 2D-анімації, оскільки колір визначає не тільки впізнаваність персонажа, але й емоційну атмосферу сцени, композиційний баланс, візуальну драматургію та брендову цілісність продукту. У традиційній анімації колоризація передбачає ручне заповнення кольором визначених зон. І навіть незначні колірні відхилення можуть призводити до втрати стилістичної єдності. Алгоритм аналізує структуру персонажа, розпізнає окремі зони (волосся, шкіра, одяг, аксесуари), співвідносить їх із заданою палітрою та автоматично застосовує кольорову модель до нових кадрів (рис. 4).



Рисунок 4 – Фарбування та колоризація в 2D-анімації

Особливого значення набуває збереження кольорової та стилістичної цілісності (style consistency) між різними сценами, епізодами або навіть сезонами. Наприклад, зміна освітлення, композиції або тону фону не повинна порушувати впізнаваність персонажа. ML-моделі можуть навчатися на style guides конкретного проєкту, підтримуючи:

- сталість кольорової температури;
- consistency shading;
- контроль локальних кольорів;
- адаптивне освітлення без втрати модельної точності.

У більш складних виробничих сценаріях ШІ може функціонувати не лише як інструмент автоматичного заповнення кольором, а як система стилістичної адаптації, здатна враховувати художні принципи, кольорові моделі та візуальні правила конкретного анімаційного проєкту. Це означає, що алгоритм може аналізувати не лише окремі кольорові зразки, але й загальну стилістику – характер освітлення, тональність сцени, колористичну драматургію та особливості художнього рішення. Завдяки цьому система здатна підтримувати не просто технічне фарбування, а цілісність стилю в межах усього виробництва.

Однак навіть за такого рівня розвитку існує ризик упередженості навчального набору даних, коли модель, спираючись на шаблонні

закономірності, переносить типові або статистично домінантні кольорові рішення на сцени, де насправді необхідне нестандартне режисерське чи художнє рішення. Наприклад, система може автоматично прагнути до «правильного» освітлення або типового колористичного балансу там, де автор свідомо використовує незвичні кольорові контрасти, драматичну стилізацію чи символічну палітру [14]. У такому випадку автоматизація може обмежувати художню свободу, підмінюючи творчий задум алгоритмічною стандартизацією.

Сучасні моделі автоматизованого фарбування дозволяють оптимізувати процес роботи з персонажами та сценами завдяки використанню таких технологічних підходів, як:

- опорні кадри (reference frames), що задають зразки кольорового рішення для наступних сцен;
- навчання палітри (palette learning), за якого система засвоює характерну кольорову модель конкретного персонажа або середовища;
- визначення окремих зон зображення (region detection), яке дозволяє алгоритму розпізнавати межі між елементами сцени;
- семантична сегментація (semantic segmentation), що забезпечує розподіл зображення за змістовими категоріями, наприклад волосся, шкіра, одяг, фон або об'єкти середовища.

Поєднання цих підходів дає змогу значно скоротити час на рутинне фарбування, особливо у серійному виробництві, де необхідно підтримувати високу швидкість роботи без втрати стилістичної цілісності. Проте ключовою умовою ефективності залишається збереження людського контролю над художнім результатом.

4. Lip-sync automation.

Одним із найбільш практично цінних напрямів є автоматизація синхронізації артикуляції з аудіо. ML systems аналізують:

- фонему;
- темп мовлення;
- емоційні характеристики голосу.

Автоматизація синхронізації мовлення з артикуляцією належить до найбільш практично значущих і комерційно затребуваних напрямів застосування машинного навчання у сфері двовимірної анімації. Особливо важливу роль вона відіграє у виробництві серіального контенту, дубляжі, локалізації та створенні багатомовних анімаційних проєктів, де великі обсяги діалогів потребують швидкої, точної та масштабованої обробки. У традиційному виробничому процесі синхронізація артикуляції здійснювалася вручну: аніматори співвідносили послідовність фонем із відповідними формами рота персонажа, покадрово підлаштовуючи артикуляційні переходи до звукового ряду. Такий підхід забезпечував високий рівень контролю, однак вимагав значних часових витрат, особливо у сценах із великою кількістю персонажів або складною мовленнєвою динамікою.

Сучасні системи lip-sync значно оптимізують цей процес завдяки автоматизованому аналізу аудіоматеріалу. Такі алгоритми здатні розпізнавати

фонетичну структуру мовлення, темп, інтонаційні особливості, тривалість пауз, ритмічний малюнок фрази та навіть окремі емоційні характеристики голосу. На основі цих даних система формує часову модель артикуляційних переходів, що дозволяє автоматично генерувати базову структуру рухів рота персонажа відповідно до мовлення. У межах сучасного виробництва це дає змогу автоматизувати кілька важливих компонентів:

- створення базової артикуляції персонажа;
- побудову часових переходів між артикуляційними фазами;
- генерацію вторинної міміки обличчя;
- адаптацію артикуляції до різних мовних версій.

Водночас надмірна автоматизація цього процесу має свої обмеження. Попри технічну точність, алгоритми часто не здатні повною мірою відтворити акторську переконливість, оскільки людське мовлення містить складні емоційні нюанси, асиметричні рухи, індивідуальні особливості дикції та ритмічні варіації, які важко повністю формалізувати. У результаті автоматично згенерована артикуляція може виглядати правильною з технічного погляду, але недостатньо живою або драматично виразною. Саме тому найбільш ефективним підходом вважається модель, за якої ШІ використовується як інструмент прискорення етапу синхронізації, тоді як фінальна художня корекція залишається за аніматором. Такий підхід дозволяє поєднати швидкість автоматизації з творчим контролем, забезпечуючи баланс між виробничою ефективністю та художньою якістю.

5. Rotoscoping та motion transfer.

Rotoscoping історично використовувався як техніка покадрового обведення відеоматеріалу для досягнення реалістичної пластики руху. У сучасній 2D-анімації ця практика трансформувалася завдяки машинному навчанню. Computer vision systems можуть автоматично визначати контури, сегментувати персонажа, відстежувати суглобові точки та реконструювати рухову структуру. Це значно скорочує час створення складних динамічних сцен і відкриває можливість перенесення рухових характеристик із одного джерела на інший персонаж. Наприклад, реальний танцювальний або бойовий рух може бути адаптований до двовимірного стилізованого героя зі збереженням таймінгу та основної кінематики. Також motion transfer дозволяє переносити характеристики руху з відеореференсу на 2D-персонажа, що відкриває нові можливості hybrid production.

6. Генеративні моделі у препродакшені.

На етапі препродакшену генеративні моделі демонструють найбільшу ефективність, оскільки саме тут пріоритетом є швидкість і варіативність, а не абсолютна технічна точність. У концептуальному виробництві важливо швидко тестувати художні напрями, стилі, середовища та персонажні рішення.

Генеративний ШІ може використовуватися для:

- створення візуальних концепцій (moodboards);
- пошуку та розробки первинних ідей дизайну персонажів;
- формування концепцій середовища та просторового оточення;

- розробки кольорових сценаріїв;
- стилістичне експериментування та пошуку художніх рішень.

Це дозволяє значно прискорити ранню фазу візуального пошуку та розширити спектр варіантів. Наприклад, художник може за короткий час отримати десятки композиційних чи стилістичних напрямів, які вручну потребували б значно більших ресурсів.

Висновки

У результаті дослідження методів інтеграції ШІ в класичні процеси створення анімаційного контенту було встановлено, що сучасний етап розвитку анімаційної індустрії характеризується переходом від ізольованого використання цифрових технологій до системної трансформації виробничих моделей на основі нових підходів, підсилених ШІ. Дослідження показало, що найбільш ефективна інтеграція ШІ реалізується на тих етапах, де виробничий процес містить значну частку повторюваних, технічно стандартизованих або часовитратних завдань. Водночас виявлено, що ефективність подібної автоматизації прямо залежить від рівня стилістичної стандартизації проєкту: чим вищий рівень художньої унікальності або експресивної деформації, тим нижчою є автономна продуктивність AI-систем без людського коригування.

На рівні препродакшену встановлено, що генеративні інструменти демонструють найбільшу результативність у сфері концептуального пошуку, візуальної концепції (moodboarding), варіативного тестування художніх напрямів та сценарно-візуальної розробки. Головна перевага полягає у прискоренні переходу від ідеї до первинної візуалізації. Проте результати дослідження підтверджують, що сучасні генеративні моделі мають фундаментальні обмеження щодо контрольованості, повторюваності, точного редагування та готовності до професійного виробничого використання. Це дозволяє зробити висновок, що на поточному етапі розвитку генеративний ШІ є найбільш доцільним як інструмент розширення творчого пошуку, але не як універсальна заміна класичних професійних методів.

Порівняльний аналіз традиційного та AI-інтегрованого pipeline дозволив сформулювати принципове положення: найбільш перспективною моделлю розвитку сучасної анімації є гібридна система, у якій класичні художні принципи, режисерський контроль і професійна експертиза поєднуються з автоматизаційним потенціалом ШІ. Повна автоматизація на сучасному етапі не здатна забезпечити необхідний рівень творчої глибини, стилістичної стабільності та авторської відповідальності. Інтеграція ШІ спричиняє не лише технологічну, але й професійну трансформацію ролі аніматора. Відбувається поступовий перехід від моделі художника-виконавця до моделі художника-куратора, де ключовими компетенціями стають стратегічне мислення, здатність до критичного аналізу AI-результатів, управління генеративними процесами та міждисциплінарна цифрова грамотність.

Таким чином, розвиток технологій повинен супроводжуватися не лише технічною модернізацією, але й правовою та культурною адаптацією індустрії.

Штучний інтелект у анімаційному виробництві слід розглядати не як альтернативу класичній анімаційній школі, а як інструмент еволюційного розширення її виробничих, концептуальних та технологічних можливостей. Його найбільша ефективність проявляється в умовах інтегрованої моделі, де автоматизація підтримує технічні аспекти виробництва, а людина зберігає визначальну роль у художній інтенції, драматургії, етиці та творчому контролі. Новизна дослідження полягає в обґрунтуванні концепції гібридної інтеграції ШІ як найбільш продуктивної моделі розвитку сучасного анімаційного контенту, де технологія не витісняє мистецтво, а трансформує інструментальну природу його створення.

Список літератури.

1. Abootorabi, M.M., Ghahroodi, O., Zahraei, P. S., et al. (2025). Generative AI for Character Animation: A Comprehensive Survey of Techniques, Applications, and Future Directions. Computer Engineering Department, Sharif University of Technology. arXiv preprint arXiv:2504.19056v1. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.19056>.
2. VIDIO. (2025). Що таке ротоскопінг? Визначення, історія та сучасні інструменти пояснені. <https://www.vidio.ai/uk-UA/blog/article/what-is-rotoscoping-explained>.
3. Sun, Q., Ni, Y., Yuan, T., Zhang, J., Yang, F., Yao, Z., & Mi, H. (2025). SPIRITUS: An AI-Assisted Tool for Creating 2D Characters and Animations. Tsinghua University & Nanyang Technological University. arXiv preprint arXiv:2503.09127v1.
4. Гвінн, К., & Генні, І.Ф. (2012). Основи анімації: Вступ до цифрового мультимедіа. Київ: Видавець.
5. Кульчицький, О. (2005). Теорія і практика анімації. Київ: Ніка-Центр.
6. Thomas, F., & Johnston, O. (1981) Illusion Of Life, The: Disney Animation. Disney Editions Deluxe.
7. Williams, R. (2009) The Animator's Survival Kit: a Manual of Methods, Principles and Formulas for Classical, Computer, Games, Stop Motion and Internet Animators. Richard Williams. Faber & Faber.
8. Вільямс, Р. (2019). Анімація: посібник по виживанню. Київ: ArtHuss.
9. Селбі, Е. (2019). Анімація. Київ: ArtHuss.
10. Sutherland, I.E. (2003). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. University of Cambridge. Computer Laboratory. <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>.
11. Foley, J.D., Van Dam, A., Feiner, S.K., & Hughes, J.F. (2013). Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley.
12. Catmull, E.A (1974). Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces: PhD thesis. University of Utah. <https://content.lib.utah.edu/digital/collection/uumain/id/52670>.
13. Дейнеко, Ж.В., Криворучко, М.О. (2022) Моушен-дизайн як анімаційне мистецтво. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 103-104).
14. Дейнеко, Ж.В., Зелений, О.П., & Криворучко, М.О. (2025). Технічні та творчі аспекти комп'ютерної анімації. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасні тренди: колективна монографія. Т. 2. (с. 71-94). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид». <https://doi.org/10.30837/PMW.2025.T2.071>.

ВРАХУВАННЯ СПЕЦИФІКИ МЕДІАГАЛУЗИ В НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОМУ КОНТЕНТІ ДИСЦИПЛІНИ «ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ ДИЗАЙНЕРІВ»

Супрун О.О.

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0001-8182-2599

Чеботарьова І.Б.

старший викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0003-0105-4484

***Анотація.** Навчальне наповнення дисциплін, пов'язаних із цифровими медіа та дизайном, має формуватися з урахуванням актуальних вимог ринку праці, особливостей розвитку креативних індустрій та цифрової економіки регіону. У роботі на прикладі дисципліни «Штучний інтелект для дизайнерів» кафедри МСТ ХНУРЕ обґрунтовано доцільність посилення вивчення окремих розділів, що безпосередньо пов'язані з практичним використанням AI-інструментів у дизайні, генеративною графікою, автоматизацією креативних процесів та створенням мультимедійного контенту.*

***Ключові слова:** штучний інтелект у дизайні, генеративна графіка, промпт-інжиніринг, AI-інструменти, цифровий контент.*

Вступ

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту докорінно змінює підходи до створення цифрового контенту, зокрема у сфері дизайну. Якщо раніше процес розробки візуальних матеріалів вимагав значних часових і людських ресурсів, то сьогодні AI-інструменти дозволяють автоматизувати значну частину креативних процесів, підвищити продуктивність і відкрити нові можливості для експериментів зі стилем, формою та змістом.

Сучасний дизайнер уже не обмежується лише традиційними графічними редакторами. Його діяльність все більше інтегрується з інструментами генеративного штучного інтелекту, що дозволяють створювати зображення, анімацію, відео, аудіо та інтерактивні елементи на основі текстових запитів. У цьому контексті ключовою компетенцією стає вміння формулювати ефективні промпти, аналізувати результати генерації та адаптувати їх під конкретні задачі.

Особливої актуальності набуває підготовка фахівців, здатних працювати в умовах швидкої трансформації медіасередовища. Ринок праці потребує дизайнерів, які володіють не лише художніми навичками, а й розумінням принципів роботи штучного інтелекту, здатні інтегрувати його у власні робочі процеси та створювати інноваційні цифрові продукти.

Водночас розвиток технологій супроводжується появою нових викликів, пов'язаних із етичними аспектами, авторським правом, достовірністю контенту та відповідальністю за результати генерації [1]. Це вимагає включення відповідних тем до навчальних програм і формування критичного мислення у студентів. З огляду на це, актуальною є проблема адаптації змісту дисциплін до сучасних умов, зокрема визначення тих напрямів навчання, які є найбільш затребуваними у професійній діяльності дизайнерів.

Мета роботи

Метою роботи є визначення ключових напрямів удосконалення навчальної дисципліни «Штучний інтелект для дизайнерів» кафедри Медіасистем та технологій Харківського національного університету радіоелектроніки, шляхом аналізу сучасних тенденцій розвитку креативних індустрій, цифрового контенту та вимог ринку праці. Особлива увага приділяється обґрунтуванню доцільності посилення тих розділів дисципліни, які пов'язані з практичним застосуванням AI-інструментів у дизайні, зокрема генерацією зображень, відео, аудіо, інтерактивних елементів та автоматизацією креативних процесів.

У межах роботи передбачається дослідити рівень відповідності існуючого навчального змісту актуальним професійним компетентностям дизайнерів, визначити найбільш затребувані навички у сфері генеративного дизайну, промпт-інжинірингу та мультимедійного виробництва, а також окреслити підходи до інтеграції цих компонентів у навчальний процес.

Крім того, необхідно сформулювати методичні рекомендації щодо оновлення структури дисципліни, зокрема посилення практичної складової, впровадження проектно-орієнтованого навчання, використання реальних кейсів із креативних індустрій та розвитку міждисциплінарних компетентностей. Роль штучного інтелекту при цьому розглядається як інструмент не лише автоматизації, а й співтворчості у дизайнерській діяльності, що передбачає розвиток у студентів навичок критичного аналізу результатів генерації, етичного використання AI та формування власного авторського стилю в умовах використання інтелектуальних систем. Важливим аспектом є також врахування регіональної специфіки працевлаштування випускників і орієнтація на потреби локального та глобального ринку цифрового дизайну.

Основна частина

1 Теоретичні засади інтеграції AI у дизайн-освіту

Сучасний етап розвитку цифрових технологій характеризується глибокою інтеграцією штучного інтелекту у всі сфери креативної діяльності, зокрема у дизайн. Формування нової парадигми створення візуального контенту обумовлює необхідність трансформації освітніх підходів до підготовки майбутніх дизайнерів. Якщо раніше акцент у навчанні робився на оволодінні

інструментами графічних редакторів та базових принципів композиції, то сьогодні ключового значення набуває здатність ефективно взаємодіяти з інтелектуальними системами, які виступають не лише як інструмент, а як повноцінний учасник творчого процесу.

У сучасному цифровому середовищі дизайн перестає бути виключно результатом індивідуальної творчості людини, натомість дедалі більше набуває рис колективного процесу, в якому поряд із дизайнером активно діють алгоритмічні системи. Це змінює саму природу творчості, переводячи її з площини ручного створення у площину керування, налаштування та інтерпретації результатів, згенерованих штучним інтелектом. Відповідно, змінюється і роль дизайнера: він стає не лише виконавцем, але й куратором, режисером та аналітиком творчого процесу, здатним визначати параметри генерації, оцінювати результати та приймати рішення щодо їх подальшого використання. На рис. 1 представлено циклічну модель безперервного оновлення дизайнерської освіти, що ілюструє послідовність етапів від аналізу ринкових трендів до впровадження інноваційних методик навчання (рис. 1) [2].



Рисунок 1 – Цикл трансформації дизайнерської освіти

Така трансформація обумовлена стрімким розвитком генеративних моделей, які базуються на складних алгоритмах машинного навчання та нейронних мережах. Ці системи здатні аналізувати великі обсяги даних,

виявляти закономірності та відтворювати їх у вигляді нових візуальних, текстових або аудіовізуальних об'єктів. Важливо підкреслити, що у контексті дизайнерської освіти акцент має зміщуватися з технічних деталей реалізації таких моделей на розуміння їх функціональних можливостей, меж застосування та потенційних ризиків.

У контексті дисципліни «Штучний інтелект для дизайнерів» важливим є переосмислення структури навчального контенту з орієнтацією на формування прикладних компетентностей. Однією з базових складових сучасного навчання стає розуміння принципів функціонування генеративних моделей, які лежать в основі створення зображень, відео, аудіо та текстів. При цьому не йдеться про глибоку математичну підготовку, а про формування інтуїтивного та прикладного розуміння можливостей і обмежень таких систем, що дозволяє майбутнім фахівцям ефективно інтегрувати їх у власну практику.

Таке розуміння передбачає, зокрема, усвідомлення того, що результати роботи штучного інтелекту не є абсолютно детермінованими. Генеративні системи працюють на основі ймовірнісних моделей, що означає варіативність отриманих результатів навіть при однакових вхідних даних. Для дизайнера це відкриває нові можливості для експериментування, однак водночас потребує розвитку навичок відбору та критичної оцінки. Студент повинен навчитися не лише отримувати результат, але й аналізувати його якість, релевантність та відповідність поставленому завданню [3].

Окрім цього, важливою складовою навчального процесу є формування розуміння структури взаємодії з AI-системами. У більшості випадків така взаємодія реалізується через текстові запити, які визначають параметри генерації. Саме тому особливого значення набуває розвиток навичок формулювання чітких, структурованих та змістовних інструкцій. Це вимагає від студента поєднання лінгвістичних, візуальних та аналітичних компетентностей, що робить процес навчання міждисциплінарним за своєю природою.

Слід також враховувати, що сучасні AI-інструменти активно використовуються у різних сегментах креативної індустрії, включаючи рекламу, маркетинг, ігрову індустрію, кіно, освіту та цифрові медіа (рис. 2). У кожному з цих напрямів існують свої специфічні вимоги до контенту, що, у свою чергу, впливає на особливості використання штучного інтелекту. Таким чином, навчальна дисципліна повинна враховувати різноманітність практичних сценаріїв застосування AI та забезпечувати студентів універсальними інструментами, які можуть бути адаптовані до різних професійних задач. Необхідно підкреслити, що інтеграція штучного інтелекту у дизайн не означає повної автоматизації творчого процесу. Навпаки, ефективне використання AI вимагає високого рівня залученості людини, її здатності до інтерпретації, оцінки та творчого переосмислення результатів. У цьому контексті важливим є формування у студентів навичок критичного мислення, які дозволяють не лише використовувати готові інструменти, але й усвідомлювати їх обмеження, потенційні помилки та вплив на кінцевий продукт.



Рисунок 2 – Використання AI в креативній індустрії

Додатковим аспектом є необхідність формування у майбутніх дизайнерів розуміння етичних та правових питань, пов'язаних із використанням штучного інтелекту. Зокрема, йдеться про питання авторського права, оригінальності контенту, використання навчальних даних та відповідальності за результати генерації. У сучасному інформаційному суспільстві ці аспекти набувають особливої ваги, оскільки вони безпосередньо впливають на довіру до створюваного контенту та репутацію його авторів.

Окремої уваги заслуговує питання адаптації освітніх програм до динамічного розвитку технологій. На відміну від традиційних дисциплін, зміст яких змінюється відносно повільно, сфера штучного інтелекту характеризується високою швидкістю оновлення інструментів та підходів. Це вимагає гнучкості навчальних програм, регулярного оновлення матеріалів та впровадження нових практик у навчальний процес. Важливим є також залучення студентів до самостійного дослідження нових інструментів та формування у них навичок безперервного навчання [4].

У цьому контексті доцільним є використання проєктно-орієнтованого підходу до навчання, який дозволяє студентам застосовувати отримані знання на практиці, працюючи над реальними або наближеними до реальних задачами. Такий підхід сприяє розвитку не лише професійних компетентностей, але й навичок командної роботи, комунікації та управління проєктами. Крім того, він дозволяє інтегрувати різні аспекти дисципліни в єдину систему знань і навичок.

Значну роль у формуванні сучасного дизайнера відіграє також розвиток візуальної культури та естетичного мислення. Незважаючи на широкі можливості автоматизації, саме людина визначає концепцію, стиль та емоційне наповнення створюваного контенту. Тому важливо забезпечити баланс між технологічною та художньою складовими навчання, що дозволить сформувати гармонійно розвиненого фахівця.

2 Промпт-інжиніринг як ключова компетентність сучасного дизайнера

Особливого значення у сучасних умовах цифрової трансформації набуває розвиток навичок промпт-інжинірингу як принципово нового типу професійної діяльності, що формується на перетині дизайну, інформаційних технологій та когнітивних наук. Формування текстових запитів до генеративних систем потребує не лише мовної точності, а й глибокого розуміння візуальних стилів, композиційних рішень, колористики, семантики образів і контексту використання створюваного контенту. У цьому сенсі промпт перестає бути просто текстовою інструкцією і трансформується в інструмент проєктування, який поєднує креативне мислення з технічною реалізацією. Відповідно, у навчальному процесі доцільно приділяти значну увагу практичним завданням, що передбачають створення, аналіз, порівняння та оптимізацію промптів для різних типів задач, від рекламної графіки та брендингу до концепт-арту, цифрових інсталяцій та інтерактивного медіаконтенту [1].

Промпт-інжиніринг як явище виникає у відповідь на потребу ефективного керування складними генеративними системами без необхідності втручання у їхню внутрішню архітектуру. Його сутність полягає у створенні, структуризації та оптимізації текстових інструкцій, які подаються моделям штучного інтелекту з метою отримання максимально точного, релевантного та якісного результату. У цьому процесі важливу роль відіграє не лише зміст запиту, а й його форма, логічна послідовність та чіткість формулювань, що безпосередньо впливає на кінцеву відповідь системи.

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій штучного інтелекту промпт-інжиніринг стає невід'ємною складовою взаємодії людини з цифровими інструментами. Він дозволяє користувачам різного рівня підготовки ефективно використовувати потенціал складних моделей без глибоких технічних знань. Завдяки цьому формується новий тип цифрової грамотності, де ключовим є вміння правильно формулювати запити, аналізувати відповіді та вдосконалювати інструкції для досягнення кращих результатів [5].

У контексті розвитку мультимодальних систем, здатних працювати одночасно з текстом, зображенням, відео та звуком, промпт-інжиніринг набуває ще більшої ваги, оскільки дозволяє координувати складні процеси генерації та досягати високого рівня узгодженості між різними типами контенту. Це відкриває широкі можливості для творчості, автоматизації та оптимізації робочих процесів у різних галузях. Водночас зростає значення системного підходу до формування

запитів, що враховує специфіку кожного медіаформату та забезпечує цілісність і якість кінцевого продукту.

З теоретичної точки зору промпт-інжиніринг доцільно розглядати як міждисциплінарну область, що інтегрує елементи лінгвістики, когнітивної психології, теорії комунікації, дизайну та інформатики (рис. 3). Він базується на розумінні того, як алгоритмічні системи інтерпретують текстові запити, яким чином формується контекст і як мовні конструкції впливають на результати генерації. У цьому аспекті промпт виступає як своєрідний інтерфейс між людським мисленням і машинною обробкою інформації, забезпечуючи трансляцію намірів, ідей та концептів у форму, доступну для алгоритмічного аналізу.



Рисунок 3 – Навички промпт-інжинірингу

Одним із ключових понять у промпт-інжинірингу є контекст, який визначає рамки інтерпретації запиту. Оскільки генеративні моделі функціонують на основі ймовірнісних розподілів, а не на основі семантичного розуміння у людському сенсі, саме контекст забезпечує точність і релевантність результату. Чітко сформульований контекст дозволяє зменшити рівень невизначеності, уникнути неоднозначності та спрямувати модель у потрібному напрямку. У дизайнерській практиці це означає, що опис стилю, атмосфери, композиції, освітлення, кольорової палітри та емоційного настрою є критично важливими елементами промпта. Основні характеристики ефективного промпта у генеративному дизайні представлено в табл. 1.

З позицій когнітивної науки промпт-інжиніринг можна трактувати як процес зовнішньої формалізації мислення. Студент або дизайнер трансформує внутрішні уявлення, ідеї та образи у текстову форму, яка повинна бути зрозумілою для алгоритмічної системи. Це вимагає розвитку абстрактного

мислення, здатності до структуризації інформації та чіткого формулювання намірів. У цьому контексті процес створення промптів наближається до когнітивного моделювання, де кожне слово виконує функцію точного відображення задуму [6,7].

Таблиця 1 – Характеристики ефективного промпта у генеративному дизайні

Характеристика	Опис	Вплив на результат генерації
Чіткість формулювання	Використання однозначних і конкретних мовних конструкцій	Зменшує неоднозначність, підвищує точність відповіді
Контекстуалізація	Додавання інформації про задачу, аудиторію, середовище	Забезпечує релевантність та відповідність очікуванням
Структурованість	Поділ запиту на логічні частини (інструкція, умови, формат)	Покращує інтерпретацію запиту моделлю
Візуальна деталізація	Опис стилю, композиції, кольору, освітлення	Підвищує якість і точність згенерованих зображень
Обмеження	Встановлення рамок (обсяг, стиль, формат)	Забезпечує контроль над результатом
Рольова специфікація	Задання ролі (дизайнер, художник, маркетолог тощо)	Впливає на стиль і характер відповіді
Ітеративність	Можливість уточнення та вдосконалення промпта	Дозволяє поступово покращувати результат
Приклади (few-shot)	Надання зразків бажаного результату	Підвищує передбачуваність і точність генерації
Формат відповіді	Вказівка структури результату (текст, список, опис тощо)	Полегшує подальше використання контенту

Ефективний промпт є результатом складного когнітивного процесу, що поєднує креативність і логіку. З одного боку, користувач має генерувати ідеї, передбачати можливі варіанти відповідей і мислити гнучко, а з іншого, дотримуватися чіткої структури та логічної послідовності викладу. Така подвійність вимагає розвитку метакогнітивних навичок, зокрема здатності оцінювати власне мислення, коригувати формулювання та вдосконалювати запити залежно від отриманого результату.

На рис. 4 представлено структурно-логічну схему комплексного підходу до промпт-інжинірингу, яка ілюструє взаємозв'язок між стратегіями проєктування запитів, ітеративним тестуванням та контекстною оптимізацією моделі. Такий підхід підкреслює важливість системності та поетапності у роботі з генеративними системами, де кожен елемент впливає на загальну якість результату. У підсумку промпт-інжиніринг постає як інтегративна практика, що поєднує когнітивні, технічні та творчі аспекти взаємодії людини з штучним інтелектом.

Особливу увагу слід приділити проблемі неоднозначності природної мови. Багатозначність слів і конструкцій може призводити до непередбачуваних результатів генерації. У цьому контексті важливо навчати студентів уникати нечітких формулювань, використовувати конкретні описи та уточнення, а також перевіряти отримані результати на відповідність очікуванням. Це формує критичне ставлення до роботи з AI та підвищує якість кінцевого продукту.

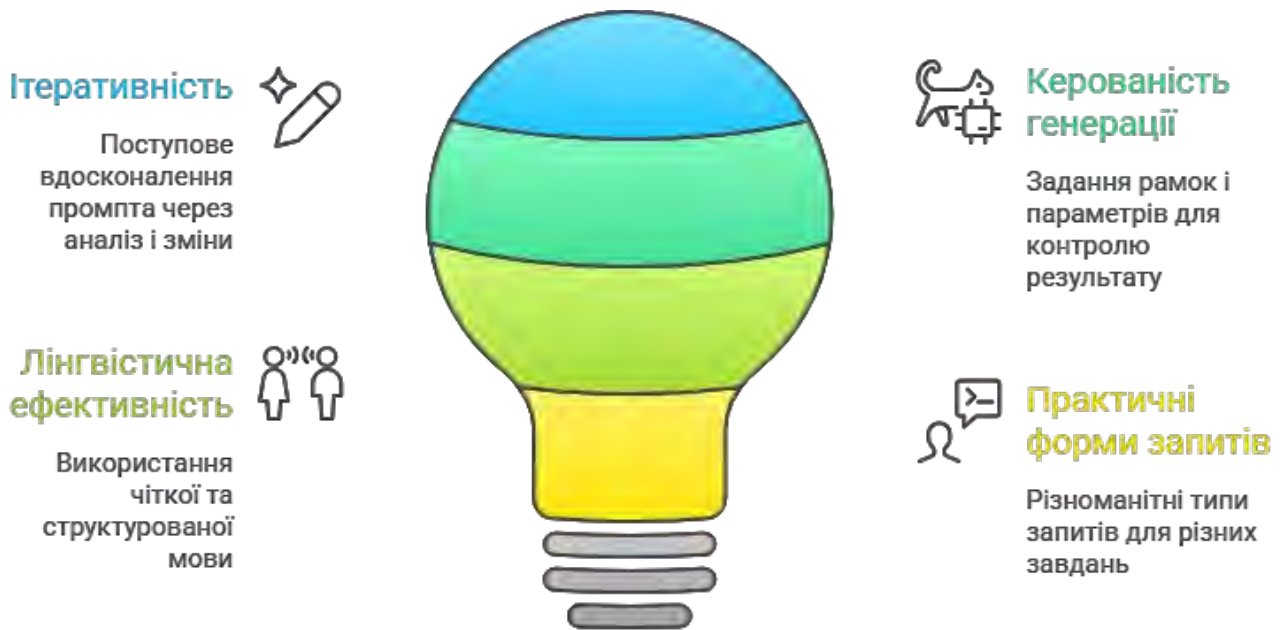


Рисунок 4 – Комплексний підхід до промпт-інжинірингу

Не менш важливим є принцип ітеративності, який передбачає поступове вдосконалення промпта через аналіз результатів і внесення змін. Процес взаємодії з AI стає діалоговим і нагадує співпрацю, у якій дизайнер виступає як режисер або куратор. Кожна ітерація дозволяє уточнити параметри, скоригувати стиль і наблизити результат до бажаного. У навчальному процесі це може реалізовуватися через серії практичних завдань, що передбачають послідовне покращення одного й того ж запиту [8].

Концепція керованості генерації є ще одним важливим аспектом. Промпт-інжиніринг дозволяє задавати рамки, обмеження та параметри, які визначають поведінку моделі. Це особливо актуально у професійних задачах, де важлива точність, відповідність бренду, стилю або технічним вимогам.

З лінгвістичної точки зору ефективні промпти характеризуються ясністю, логічністю, структурованістю та семантичною точністю. Важливу роль відіграє синтаксис, порядок слів, використання термінології та навіть ритм тексту. У дизайнерських задачах це доповнюється необхідністю опису візуальних характеристик, що робить промпт-інжиніринг унікальним поєднанням мовної та візуальної грамотності.

У практичному вимірі промпт-інжиніринг включає різноманітні форми запитів, серед яких можна виділити прості, контекстуальні, рольові та прикладні. Прості запити є швидкими, але менш точними, контекстуальні дозволяють враховувати специфіку задачі, рольові – адаптувати стиль і глибину, а запити з прикладами – забезпечують максимальну точність і передбачуваність. У навчанні важливо формувати вміння обирати відповідний тип промпта залежно від поставленої задачі.

Структурні формули промптів відіграють ключову роль у систематизації взаємодії з AI. Використання підходів на кшталт «інструкція + обмеження», «що + як + для кого» або «вхідні дані → результат» дозволяє значно підвищити

якість генерації. Вони допомагають студентам мислити структуровано, чітко формулювати завдання та контролювати результат. Стратегії побудови промптів виступають важливим доповненням до базових формул, оскільки саме вони визначають логіку та характер взаємодії з моделлю штучного інтелекту (рис. 5).

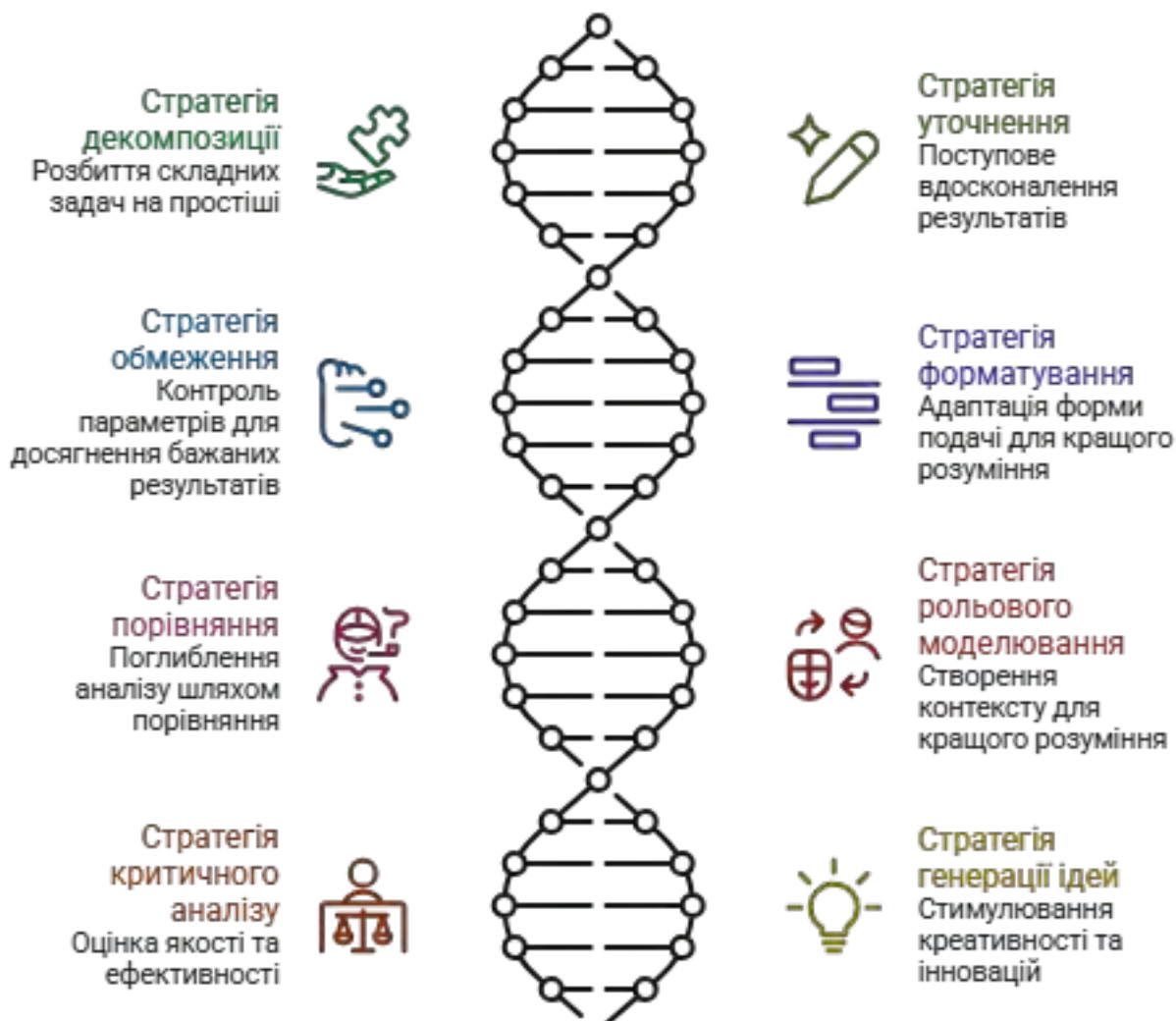


Рисунок 5 – Стратегії побудови промптів

Застосування стратегії декомпозиції дає змогу розділяти складні завдання на простіші й більш керовані етапи, що значно полегшує процес отримання точного результату. Водночас стратегія уточнення передбачає поступове вдосконалення відповіді через серію послідовних запитів, а стратегія обмеження допомагає контролювати параметри генерації, задаючи чіткі рамки для роботи моделі.

Не менш важливу роль відіграють стратегії, спрямовані на форму та глибину опрацювання інформації. Зокрема, стратегія форматування дозволяє адаптувати вигляд відповіді відповідно до потреб користувача, забезпечуючи її зручність і зрозумілість. Стратегія порівняння сприяє більш глибокому аналізу шляхом зіставлення різних підходів або варіантів, тоді як стратегія рольового моделювання створює необхідний контекст, задаючи певну «роль» для моделі та відповідний стиль мислення.

Окрім цього, важливими є стратегії, що стимулюють оцінювання та творчість. Стратегія критичного аналізу орієнтована на перевірку якості отриманого результату, виявлення можливих недоліків і шляхів їх усунення. Натомість стратегія генерації ідей спрямована на розширення спектра можливих рішень і активізацію креативного потенціалу. У комплексі поєднання цих стратегій формує цілісний підхід до промпт-інжинірингу, що забезпечує високий рівень ефективності та гнучкості у роботі з системами штучного інтелекту.

Особливо перспективним є використання метапромптів, які дозволяють створювати шаблони для автоматизації роботи. Вони сприяють стандартизації процесів, економії часу та масштабуванню використання AI у професійній діяльності. Адаптивні промпти, у свою чергу, забезпечують гнучкість і можливість реагування на результати в реальному часі, що є критично важливим у складних і творчих задачах.

У ширшому контексті промпт-інжиніринг можна розглядати як нову форму цифрової грамотності, яка поєднує технічні, когнітивні та креативні навички. Для дизайнерів це означає необхідність опанування нових інструментів мислення, що дозволяють ефективно взаємодіяти з інтелектуальними системами, керувати процесом генерації та створювати якісний, релевантний і конкурентоспроможний контент.

Таким чином, промпт-інжиніринг виступає не лише інструментом, а фундаментальною складовою сучасної дизайнерської освіти, що визначає нові підходи до формування професійних компетентностей і відкриває широкі можливості для інновацій у сфері креативних індустрій.

3 Приклади форм промптів, формулювання та стратегій

Промпт-інжиніринг передбачає використання різних типів запитів, структурних формул і стратегій, що дозволяють підвищити точність, керованість і якість результатів генерації. Ефективність взаємодії з ШІ залежить від правильного вибору типу промпта, його структури та логіки побудови. У цьому контексті промпт виступає не просто як засіб комунікації, а як інструмент управління поведінкою моделі, що визначає характер, глибину та релевантність отриманої відповіді.

Одним із ключових аспектів є відповідність між складністю завдання та типом обраного промпта. Прості запити є ефективними для отримання загальної інформації, однак у випадках, що потребують аналітики, аргументації або творчої генерації, необхідно використовувати більш складні, структуровані або комбіновані підходи. Таким чином, вибір форми промпта безпосередньо впливає на якість результату та кількість ітерацій, необхідних для його досягнення.

Важливу роль відіграє структурованість запиту. Чітко організований промпт із розподілом на логічні блоки (контекст, завдання, обмеження, формат, аудиторія) значно зменшує рівень невизначеності та забезпечує більш передбачувану відповідь. Це пов'язано з тим, що мовні моделі обробляють інформацію послідовно, і кожен елемент структури формує додатковий контекст

для інтерпретації. Відсутність структури, навпаки, призводить до узагальнених або менш релевантних результатів [9].

Не менш важливим є баланс між деталізацією та гнучкістю. Надмірно деталізований промпт може обмежити креативність моделі, тоді як занадто загальний – призвести до розмитих або поверхневих відповідей. Ефективний промпт повинен забезпечувати достатній рівень конкретики для точного розуміння завдання, але водночас залишати простір для генерації нових ідей або варіантів рішень. Це особливо актуально у творчих та інноваційних задачах, де важлива не лише точність, а й оригінальність.

Значний вплив на результат має також контекстуалізація. Надання додаткової інформації про мету, аудиторію, сферу застосування або стиль дозволяє моделі адаптувати відповідь до конкретних умов використання. Контекст виконує функцію рамки, в межах якої формується зміст відповіді, і визначає її релевантність та практичну цінність. У навчальному процесі це дозволяє створювати більш цільові та зрозумілі матеріали для різних груп користувачів.

Окрему увагу слід приділити керованості генерації, яка є ключовим аспектом ефективної взаємодії з моделями штучного інтелекту. Через використання обмежень, форматування та ролей користувач може суттєво впливати на структуру, стиль і зміст відповіді, спрямовуючи процес генерації у потрібне русло. Це дозволяє трансформувати модель із універсального генератора тексту у спеціалізований інструмент, адаптований до конкретних задач і професійних потреб. Завдяки цьому підвищується не лише якість результатів, але й їх відповідність очікуванням користувача.

Керованість є критично важливою у професійних сферах, де необхідна відповідність стандартам, точність формулювань і передбачуваність результатів. Особливо це актуально у галузях, що вимагають високого рівня відповідальності та чіткості, таких як освіта, наука, бізнес-аналітика чи технічна документація. Використання продуманих інструкцій дозволяє мінімізувати ризик неоднозначностей і забезпечити стабільність отриманих відповідей. Крім того, контроль над генерацією сприяє підвищенню довіри до результатів роботи моделі.

У табл. 2 представлено базові синтетичні моделі формування інструкцій для LLM, які ілюструють, як комбінація вхідних даних впливає на точність та релевантність генерації фінальної відповіді. Ці моделі демонструють залежність якості результату від структури запиту, рівня деталізації та контекстуалізації. Вони також підкреслюють важливість системного підходу до створення промптів, де кожен елемент інструкції має визначену функцію. Узагальнення таких підходів сприяє формуванню більш ефективних практик роботи з генеративними системами.

Стратегії побудови промптів є фундаментом ефективної взаємодії з великими мовними моделями (LLM). Якщо структурні формули (такі як роль чи контекст) визначають зовнішню «оболонку» запиту, то стратегії – це внутрішня

логіка, яка активує певні когнітивні патерни нейромережі. Вони відповідають за те, наскільки глибоко модель зануриться у проблему, чи зможе вона виявити приховані зв'язки та чи буде її відповідь достатньо аргументованою.

Таблиця 2 – Основні методи складання промптів

Метод	Формула / Структура	Переваги	Недоліки
Zero-shot (Простий)	[Запит / питання]	Найвища швидкість; мінімум зусиль.	Низька точність у складних або специфічних задачах.
Contextual (3 контекстом)	Контекст: [опис ситуації] Завдання: [що зробити]	Зменшує неоднозначність; підвищує релевантність відповіді.	Потребує більше часу на написання запиту.
Role-based (3 роллю)	Ти – [роль] Твоє завдання: [опис]	Контроль над стилем, тоном та глибиною експертизи.	Може призвести до надмірної «художності» там, де потрібні сухі факти.
Few-shot (3 прикладами)	Приклад 1: [вхід → вихід] Завдання: [новий запит]	Найвища точність та передбачуваність формату.	Потребує підготовки якісних прикладів; займає більше ліміту символів.

Замість того, щоб просто очікувати на випадково вдалу відповідь, промпт-інжиніринг через ці стратегії дозволяє буквально «програмувати» процес міркування моделі. Це перетворює штучний інтелект із пасивного довідника на активного інтелектуального партнера.

Застосування усвідомлених стратегій стає вирішальним чинником у ситуаціях, де ціна помилки висока або завдання має багаторівневий характер. Вони вирішують наступні завдання:

- навігація у складності: дозволяють розчленувати глобальні проблеми на операційні кроки, мінімізуючи ризик того, що модель «заплутається» у великому обсязі даних;

- керування якістю: специфічні стратегії, як-от критичний аналіз або декомпозиція, змушують модель перевіряти власні твердження, що значно знижує ймовірність появи фактичних помилок;

- контроль стилістики та формату: завдяки стратегіям обмеження та форматування, результат стає придатним для миттєвого використання у бізнес-процесах, медіа чи науці без додаткового редагування;

- стимулювання креативності: стратегії генерації ідей допомагають вийти за межі стандартних відповідей, спонукаючи модель використовувати більш віддалені асоціативні зв'язки.

Фактично, кожна обрана стратегія – це спосіб подолання «небажання» моделі, спрямування її обчислювальних ресурсів на виконання найбільш енергозатратних, але якісних типів аналізу. Нижче ми детально розберемо ключові стратегії, які складають інструментарій професійного користувача ШІ.

У табл. 3 представлені просунуті стратегії взаємодії, які дозволяють трансформувати роботу з ШІ з простого режиму «питання-відповідь» у

повноцінний процес спільного проектування та аналізу. Ці стратегії базуються на методах когнітивного стимулювання моделі, що змушує її використовувати складніші логічні ланцюжки та багаторівневу обробку інформації.

Таблиця 3 – Просунуті стратегії взаємодії з ШІ

Стратегія	Суть / формула	Найкраще підходить	Основні переваги
Декомпозиція	Розбиття великого завдання на кроки (1, 2, 3).	Наукових робіт, складних аналітичних звітів.	Виключає пропуски важливих деталей, забезпечує логіку.
Уточнення	Ітеративний підхід: <i>Напиши → Додай → Скороти</i>	Творчих завдань, де складно одразу дати ТЗ.	Дозволяє досягти ідеального результату через діалог.
Обмеження	Встановлення рамок (слів, символів, стилю).	Соцмереж, презентацій, стислих анотацій.	Підвищує чіткість, прибирає «воду» з відповідей.
Форматування	Визначення вигляду (таблиця, список, код, есе).	Звітів, навчальних планів, структурування даних.	Покращує читабельність та наочність матеріалу.
Порівняння	<i>Порівняй [A] і [B] за критеріями [X, Y].</i>	Прийняття рішень, вибору сервісів або теорій.	Допомагає системно побачити плюси та мінуси об'єктів.
Рольове моделювання	<i>Уяви, що ти [редактор/дизайнер/менеджер]</i>	Рецензування текстів, професійних консультацій.	Адаптує професійну лексику та глибину експертизи.
Критичний аналіз	<i>Знайди помилки та запропонуй покращення</i>	Редагування, перевірки логіки, бізнес-аналізу.	Виявляє слабкі місця та підвищує якість контенту.
Генерація ідей	<i>Згенеруй [число] ідей на тему....</i>	Маркетингу, мозкових штурмів, стартапів.	Стимулює креативність, дає багато варіантів «на вибір».

Використання цих стратегій дозволяє користувачу виступати в ролі архітектора смислів, який не просто споживає готовий контент, а задає вектор для критичного осмислення, структурування та оптимізації даних. Застосування стратегій, наведених у табл. 3, перетворює лінійну взаємодію з моделлю на багатовимірну. Кожна з них активує специфічні механізми обробки даних, що дозволяє обійти стандартні обмеження нейромереж.

Стратегія декомпозиції базується на принципі «ланцюжка думок» (Chain-of-Thought). Коли модель розв'язує задачу поетапно, вона використовує результати попереднього кроку як контекст для наступного. Це критично важливо для аналітичних звітів: замість того, щоб намагатися вгадати фінальну відповідь, ШІ вибудовує логічний шлях, що мінімізує ризик фактологічних помилок.

Це стратегія, що перетворює роботу в режим «скульптора». Велика мовна модель не завжди може вгадати ідеальну стилістику з першого разу. Поступове нашарування вимог (додавання прикладів, зміна тональності) дозволяє користувачу керувати вектором уваги моделі, відсікаючи зайві асоціації та концентруючись на суті.

Стратегії обмеження та форматування працюють як фільтри високих частот. Вони змушують модель пріоритезувати інформацію. Встановлюючи ліміт слів, ви змушуєте ШІ обирати лише найбільш вагомні лексеми, що автоматично підвищує щільність змісту. Форматування ж (наприклад, у таблиці чи код) структурує вихідні дані так, щоб вони були придатні для машинного аналізу або швидкого сканування людиною.

Рольове моделювання активує у прихованих шарах моделі специфічні пласти навчальних даних, пов'язані з певною професією. Це дозволяє отримати не просто текст, а експертну позицію. У поєднанні зі стратегією порівняння, це дає можливість проводити глибокий аудит ідей або продуктів, використовуючи професійні метрики та стандарти якості.

Критичний аналіз знімає з моделі «упередження підтвердження», коли ШІ намагається бути максимально приємним для користувача. Ця стратегія стимулює модель шукати логічні розриви. Натомість генерація ідей використовує механізм випадкових асоціацій у заданих рамках, що робить ШІ незамінним партнером під час творчих криз або пошуку інноваційних рішень у маркетингу та бізнесі.

Перехід від лінійних лінгвістичних конструкцій до багаторівневих системних стратегій знаменує фундаментальну трансформацію користувача: від пасивного реципієнта інформації до архітектора когнітивних процесів моделі. Цей процес вимагає глибокого розуміння семантичних механізмів, прагматики мовлення та алгоритмічної логіки.

Комбінований промпт як системне технічне завдання.

Комбінований промпт у контексті промпт-інжинірингу розглядається як інтегрована інтелектуальна структура, що здійснює синтез множини семантичних та прагматичних параметрів.

Основною метою такої стратегії є радикальна мінімізація ентропії, тобто інформаційної невизначеності відповіді штучного інтелекту [9]. У той час як елементарні запити часто призводять до девіацій та явища «інформаційної розмитості», комбінована стратегія конструює багатовимірний простір жорстких обмежень, що спрямовує обчислювальний ресурс моделі у чітко визначене русло. Таким чином комбінований промпт – це інструмент переходу від хаотичної генерації тексту до впорядкованого виробництва знань. Це дозволяє поєднати людський намір із обчислювальною потужністю нейромереж, гарантуючи відповідність фінального продукту найвищим критеріям прагматичної ефективності та наукової достовірності.

Системна детермінація результату базується на чотирьох фундаментальних компонентах. По-перше, рольова специфікація дозволяє активувати специфічні кластери навчальних даних, притаманні певній професійній галузі чи дискурсу. Це створює ефект занурення моделі у відповідну термінологічну систему. По-друге, контекстуальне заземлення формує систему референсних точок, що виступають запобіжником проти семантичних галюцинацій та нерелевантних асоціацій. По-третє, параметризація цільової аудиторії детермінує лексичну складність, синтаксичну структуру та когнітивне навантаження генерованого контенту. Нарешті, структурна формалізація визначає кінцеву синтаксичну організацію виводу, перетворюючи творчий процес на регламентоване виробництво даних у заданому форматі, будь то тезовий аналіз чи формалізований код.

Така багаторівнева конфігурація перетворює інтерфейс запиту на повноцінне технічне завдання. Кожен доданий параметр слугує вектором сили, що стабілізує вихідний сигнал моделі та гарантує його відповідність високим критеріям прагматичної ефективності.

Методологія створення інструментальних шаблонів вищого порядку – метапромптинг.

Метапромптинг являє собою рекурсивну методологію інтелектуальної праці, де об'єктом генерації виступає не кінцевий інформаційний продукт, а сам алгоритм майбутнього запиту. Це архітектура системного рівня, що дозволяє винести процес формулювання задач на вищий щабель абстракції. У цій парадигмі штучний інтелект використовується як інструмент для вдосконалення власних методів обробки інформації, що дозволяє масштабувати експертні знання без втрати якості.

Функціональне значення метапромптингу в професійній діяльності розкривається через декілька ключових аспектів. Абстрагування логіки дозволяє користувачу формулювати загальні принципи аналізу чи синтезу, які модель згодом самостійно інкапсулює у конкретні робочі шаблони. Це створює умови для стандартизації якості, особливо в умовах колективної роботи над складними проектами. Метапромптинг дозволяє нівелювати «людський фактор» та суб'єктивність індивідуального оператора, забезпечуючи узгодженість результатів незалежно від рівня підготовки конкретного співробітника.

Більше того, ця стратегія сприяє алгоритмізації творчості. Створюючи інтелектуальні «трафарети» для складних когнітивних операцій, таких як наукове редагування чи багатокритеріальний аналіз новин, користувач накопичує та систематизує досвід роботи з ШІ.

Таким чином, метапромптинг стає фундаментом для побудови внутрішніх експертних систем усередині організацій, перетворюючи розрізнені вдалі запити на системну методологічну базу.

Адаптивні стратегії.

Адаптивні промпти базуються на кібернетичних принципах зворотного зв'язку та концепції ітеративного вдосконалення системи. На відміну від статичних одноразових запитів, адаптивність розглядає процес комунікації з великою мовною моделлю як нелінійний, динамічний процес, де кожна наступна стадія детермінується якістю результатів попередньої. Це дозволяє здійснювати глибоку інтелектуальну настройку моделі на специфічні потреби користувача, які неможливо повноцінно формалізувати з першої спроби.

Механізм адаптивної взаємодії включає низку критично важливих етапів, які забезпечують поступове вдосконалення результату. Одним із ключових є ітеративна дедукція, відповідно до якої кожна наступна реплікація запиту формується на основі критичного осмислення попередньої відповіді. Користувач аналізує виявлені лакуни, логічні розриви чи стилістичні невідповідності та вносить необхідні корективи, поступово звужуючи пошуковий простір. Такий підхід дозволяє крок за кроком наближатися до оптимального рішення, зменшуючи рівень невизначеності.

Важливу роль у цьому процесі відіграє діалогова когерентність, яка забезпечує здатність моделі утримувати та враховувати контекст попередніх уточнень [10]. Завдяки цьому взаємодія набуває послідовності та глибини, що дозволяє поступово переходити від загальних формулювань до детального опрацювання окремих аспектів. Це особливо важливо у складних завданнях, де початкові відповіді можуть лише окреслювати проблему, залишаючи значну частину змісту поза межами первинного аналізу.

Синергетичне редагування в межах адаптивної стратегії змінює саму роль користувача у взаємодії з системою. Він перестає бути пасивним замовником і трансформується в «інтелектуального супервізора», який у реальному часі коригує траєкторію мислення моделі. Це передбачає активну участь, постійний контроль і здатність оперативно реагувати на отримані результати, спрямовуючи їх у потрібне русло.

Попри те, що такий підхід вимагає значних часових витрат і високого рівня когнітивної залученості, його ефективність є беззаперечною у складних і нестандартних ситуаціях. Адаптивний метод дозволяє працювати з задачами, що характеризуються високим ступенем невизначеності, де відсутні готові алгоритми чи шаблони. Він відкриває можливості для проведення глибоких досліджень, створення нових знань і розробки оригінальних концептуальних рішень.

У підсумку адаптивна взаємодія постає як універсальний і водночас гнучкий інструмент, що поєднує аналітичне мислення людини та обчислювальні можливості штучного інтелекту. Саме така синергія забезпечує досягнення якісно нового рівня результатів у тих сферах, де стандартні підходи виявляються недостатньо ефективними.

Вибір конкретної стратегії залежить від ієрархії цілей та наявних ресурсів (табл. 4). Комбінований промпт є оптимальним для вирішення конкретно-

прикладних завдань, де важлива миттєва точність та дотримання регламенту. Метапромптинг доцільно застосовувати на етапі стратегічного планування та розробки внутрішніх стандартів обробки даних. Адаптивні ж стратегії є незамінними в інноваційному пошуку та складній аналітичній діяльності.

Таблиця 4 – Порівняльна матриця та перспективи інтеграції системних підходів

Характеристика	Комбінований промпт	Метапромпт	Адаптивний промпт
Рівень абстракції	Конкретно-прикладний	Концептуально-системний	Процесуально-динамічний
Об'єкт управління	Якість контенту	Структура запиту	Логіка взаємодії
Основна перевага	Висока точність «тут і зараз»	Масштабованість і повторюваність	Гнучкість та глибина аналізу
Механізм контролю	Жорсткі обмеження	Універсальні шаблони	Зворотний зв'язок

4 Роль генеративного штучного інтелекту у розвитку творчих практик та підготовці дизайнерів

Окремо слід відзначити роль штучного інтелекту як потужного інструмента розширення творчих можливостей сучасного дизайнера. Використання генеративних моделей відкриває доступ до нових підходів у формоутворенні, композиції та стилістиці, що раніше вимагали значних часових і матеріальних ресурсів. Завдяки цьому дизайнери отримують можливість швидко прототипувати ідеї, експериментувати з різними візуальними концепціями та досліджувати альтернативні варіанти рішень. У результаті формується нова культура дизайну, де людина та штучний інтелект взаємодіють як партнери у спільному творчому процесі, доповнюючи сильні сторони один одного.

Особливої актуальності набуває напрям генерації візуального контенту, який сьогодні є одним із найдинамічніших у сфері застосування штучного інтелекту. Сучасні інструменти дозволяють створювати зображення високої якості, що відповідають професійним стандартам і можуть бути використані у веб-дизайні, рекламі, брендингу, ігровій індустрії та мультимедійних проєктах (рис. 6-7).

При цьому важливо розуміти, що ефективність використання таких інструментів залежить не лише від технічних можливостей моделей, а й від рівня підготовки користувача, його здатності формувати чіткі запити та оцінювати отримані результати.

Перетворення ескізів і контурних малюнків на фотореалістичне зображення за допомогою генеративного штучного інтелекту (рис. 8) є одним із найбільш наочних прикладів інтеграції творчості людини та обчислювальних можливостей сучасних моделей. Суть цього процесу полягає у використанні спрощеного візуального вводу – ескізу, створеного від руки або у графічному редакторі, як основи для подальшої інтерпретації та деталізації системою штучного інтелекту. Користувач може намалювати базову форму об'єкта, наприклад обличчя, аксесуар чи тварину, задаючи лише загальні контури, пропорції та ключові елементи композиції. На основі цього вхідного зображення

модель аналізує структуру, розпізнає об'єкт і генерує повноцінне фотореалістичне зображення з урахуванням текстур, освітлення, матеріалів та дрібних деталей.

Технологічно цей процес базується на поєднанні методів комп'ютерного зору та генеративних моделей, зокрема дифузійних алгоритмів, які поступово «уточнюють» зображення, додаючи нові рівні деталізації. Важливу роль відіграє також текстовий супровід (промпт), який може уточнювати стиль, настрій, середовище або інші характеристики майбутнього зображення. Таким чином, навіть простий ескіз може бути трансформований у складну візуальну композицію, що відповідає професійним стандартам якості.



Рисунок 6 – Згенеровані ШІ фотографії обличчя людини

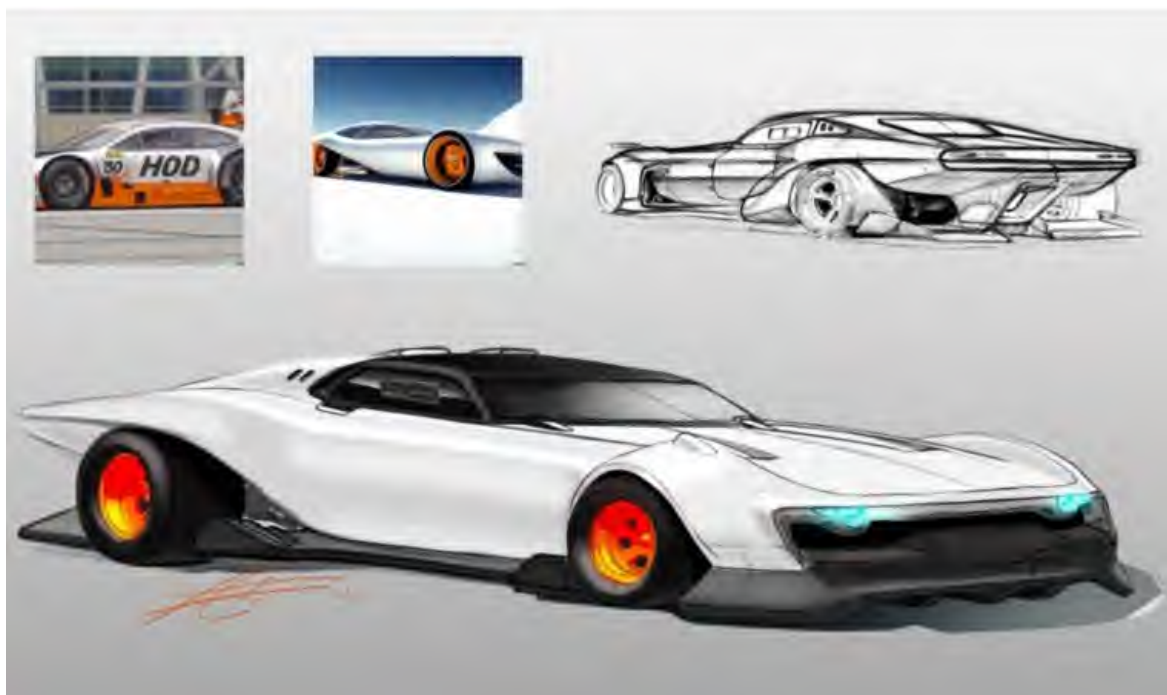


Рисунок 7 – Згенерована ШІ 3D модель автомобіля

edges2cats

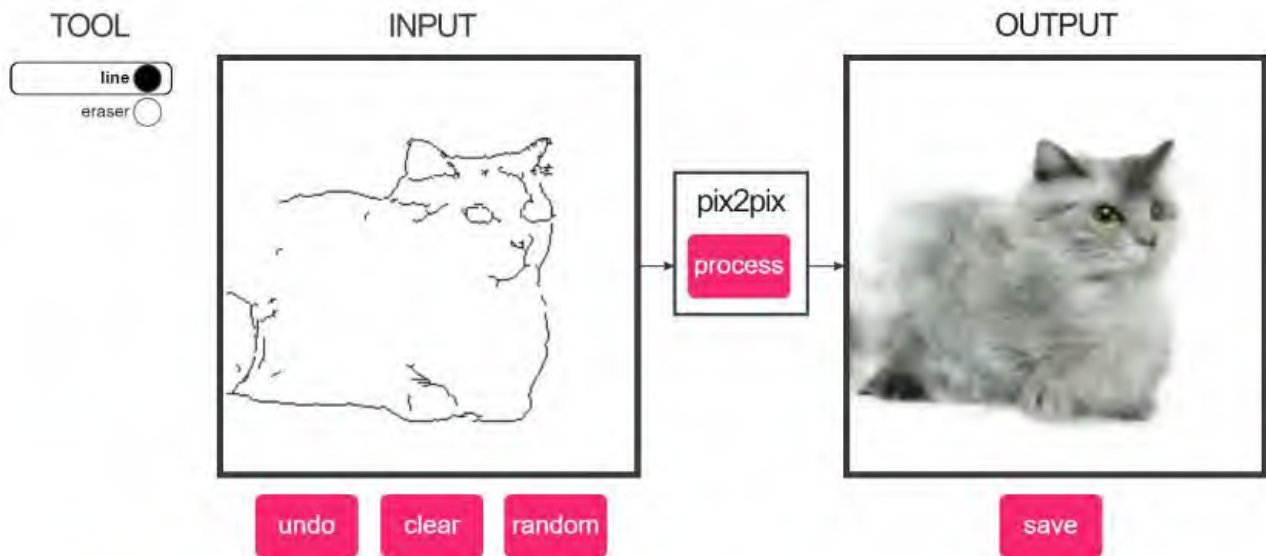


Рисунок 8 – Перетворення ескізів і контурних малюнків на фотореалістичне зображення за допомогою ШІ

З практичної точки зору, така технологія значно спрощує процес створення візуального контенту. Вона дозволяє швидко переходити від ідеї до готового результату, мінімізуючи потребу у тривалому ручному опрацюванні деталей. Це особливо актуально для дизайнерів, ілюстраторів та розробників, які працюють у сферах, де важлива швидкість прототипування та візуалізації концепцій. Крім того, використання генеративного підходу відкриває можливості для експериментування: змінюючи ескіз або текстовий опис, користувач може отримувати різні варіації одного й того ж об'єкта.

Водночас ефективність такого підходу значною мірою залежить від якості початкового ескізу та точності сформульованого запиту. Чіткі контури, логічна композиція та продумане розташування елементів сприяють кращому розпізнаванню об'єкта моделлю та підвищують якість фінального результату.

Таким чином, навіть у контексті автоматизованої генерації зображень зберігається важлива роль людського фактору, зокрема творчого мислення та вміння формулювати візуальні ідеї.

У навчальному процесі необхідно приділяти увагу не тільки ознайомленню з інструментами генерації, але й формуванню критичного мислення щодо результатів їх роботи. Студенти повинні навчитися оцінювати якість зображень, їх відповідність поставленій задачі, композиційну цілісність, кольорову гармонію та стилістичну узгодженість. Важливим аспектом є також здатність виявляти артефакти генерації або неточності, які можуть виникати під час роботи моделей, та ефективно їх усувати [11].

Крім того, невід'ємною складовою підготовки є опанування навичок постобробки згенерованого контенту. Використання традиційних графічних редакторів, таких як Adobe Photoshop або Adobe Illustrator, дозволяє вдосконалювати отримані зображення, адаптувати їх до конкретних завдань і

забезпечувати відповідність професійним стандартам. Таким чином, штучний інтелект виступає не як заміна дизайнера, а як інструмент, що розширює його можливості та підвищує продуктивність.

Серед основних моделей і платформ генерації візуального контенту варто виділити низку найбільш поширених і впливових рішень. До них належать DALL·E, який спеціалізується на створенні зображень за текстовими описами та демонструє високу точність у відтворенні концептуальних ідей; Midjourney, відомий своєю художньою виразністю, естетичною глибиною та здатністю генерувати атмосферні композиції; Stable Diffusion, що надає широкі можливості кастомізації, інтеграції та локального використання; а також Adobe Firefly, інтегрований у професійні дизайнерські середовища та орієнтований на комерційне застосування. Кожна з цих моделей має свої особливості, переваги та обмеження, що визначає доцільність їх використання залежно від конкретного завдання, рівня складності проєкту та вимог до кінцевого результату.

Розглядаючи детальніше функціональні можливості зазначених моделей, варто відзначити, що вони базуються на різних підходах до генерації зображень, зокрема дифузійних процесах, трансформерних архітектурах та комбінованих методах. Це зумовлює відмінності у швидкості генерації, якості деталізації, здатності до стилізації та інтерпретації складних текстових описів. Наприклад, одні моделі краще працюють із фотореалістичними сценами, тоді як інші демонструють перевагу у створенні концептуального або ілюстративного контенту. Таким чином, вибір інструменту стає стратегічним рішенням, що впливає на ефективність усього творчого процесу (табл. 5).

Таблиця 5 – Порівняльна характеристика моделей генерації зображень

Параметр	DALL·E (OpenAI)	Midjourney	Stable Diffusion	Adobe Firefly
Якість та естетика	Висока точність композиції; «мультиплікаційний» або чистий цифровий стиль.	Найвища художність; неперевершена робота з текстурами, світлом та атмосферою.	Залежить від моделі (від фотореалізму до аніме); вимагає тонкого налаштування.	Висока, орієнтована на комерційний дизайн та реалізм.
Швидкість генерації	Дуже висока (3–10 сек); інтегрована у потік ChatGPT.	Середня (20–50 сек); залежить від завантаження серверів та режиму (Relax/Fast).	Миттєва (при наявності потужного GPU) або середня в хмарі.	Висока; оптимізована для професійного робочого процесу в Photoshop.
Гнучкість налаштувань	Низька; керування переважно через природну мову в діалозі.	Середня; використання параметрів (--ar, --stylize, --chaos, --sref).	Максимальна; контроль над сид-кодами, вагами, негативними промптами, ControlNet.	Висока в межах інтерфейсу (стилі, ракурси, освітлення, палітри).

Продовження таблиці 5

Параметр	DALL·E (OpenAI)	Midjourney	Stable Diffusion	Adobe Firefly
Робота з текстом	Відмінна; найкраще інтегрує складні написи в зображення.	Посередня (покращена в v7-v8, але часто з помилками).	Хороша в останніх версіях (SD 3+), але залежить від довжини тексту.	Висока; спеціальні інструменти для текстових ефектів.
Етичність та авторське право	Суворі фільтри на контент; права належать користувачу.	Мінімальні фільтри; спірні питання щодо навчальних даних.	Повна свобода (open-source); відповідальність цілком на користувачеві.	Commercially Safe ; навчена лише на ліцензійному контенті Adobe Stock.

Важливо підкреслити, що ефективне застосування таких інструментів передбачає не лише технічні навички, але й глибоке розуміння їх концептуальних можливостей і обмежень. Дизайнер повинен усвідомлювати, як саме модель інтерпретує текстовий запит, які фактори впливають на результат генерації та як можна оптимізувати процес взаємодії. Це включає експериментування з різними формулюваннями промптів, варіювання параметрів, використання додаткових інструкцій та аналіз отриманих варіантів.

Наприклад, для генерації якісних зображень продуктів необхідно знати принципи дизайну та основи фотографії.

На рис. 9-10 показано приклад результатів запиту: «фотографія продукту, освіжаючий знімок гострого лимонаду, поданого в баночці зі смачними скибочками лимона, на тлі ефірного боке пастельного світло-блакитного кольору» моделі DALL·E [12].



Рисунок 9 – Результат генерації запиту DALL-E (Chat GPT)



Рисунок 10 – Результат генерації запиту DALL-E (Copilot)

Дизайнер може за допомогою текстових запитів змінювати стиль зображення, окремі об'єкти, фонове оформлення та навіть сюжетні елементи, які генеруються AI-сервісами. Таким чином, сучасні технології надають широкий спектр інструментів для візуалізації творчих ідей та художніх образів. Крім того, використовуючи відомі мистецькі роботи як стилістичний орієнтир, штучний інтелект здатний створювати нові зображення, у яких враховуються характерні особливості авторського стилю та специфіка відтворення образів.

Крім того, важливим аспектом є ітеративний характер взаємодії з генеративними моделями (рис. 11).



Рисунок 11 – Ітеративний процес вдосконалення генерації зображення

Отриманий результат рідко є остаточним, тому процес передбачає багаторазове уточнення запитів, внесення коректив і поступове вдосконалення зображення. Такий підхід дозволяє досягати високого рівня відповідності між задумом і фінальним результатом.

Не менш важливим є питання інтеграції генеративних моделей у професійні робочі процеси. Використання таких інструментів у поєднанні з традиційними графічними редакторами відкриває нові можливості для оптимізації роботи, підвищення продуктивності та скорочення часу на створення візуального контенту. Це особливо актуально у сферах, де швидкість і якість мають критичне значення (рис. 12).



Рисунок 12 – Інтеграція AI-генерації у дизайн-процес

У ширшому контексті застосування генеративних моделей сприяє трансформації підходів до створення візуального контенту. Дизайнер переходить від ролі виконавця до ролі куратора та координатора творчого процесу, де ключовим є не лише створення, але й відбір, оцінка та доопрацювання результатів. Це змінює саму природу професійної діяльності, роблячи її більш аналітичною, стратегічною та водночас експериментальною. Таким чином, сучасні моделі генерації зображень формують нову екосистему творчості, у якій поєднуються технологічні інновації та людська креативність. Їх ефективне використання вимагає комплексного підходу, що включає технічні знання, критичне мислення та здатність до адаптації. Саме ці фактори визначають успішність застосування генеративного штучного інтелекту у професійній діяльності дизайнера.

5 Автоматизація креативних процесів у дизайні засобами штучного інтелекту

Окремої уваги у сучасному цифровому дизайні потребує автоматизація креативних процесів, яка поступово стає одним із ключових факторів підвищення ефективності професійної діяльності дизайнера. Використання штучного інтелекту в цьому контексті вже не обмежується лише функцією генерації окремих елементів контенту, а трансформується у комплексну систему підтримки всього циклу створення цифрового продукту, від початкової ідеї до фінальної адаптації матеріалів під різні платформи та формати.

Сучасні AI-інструменти дозволяють суттєво оптимізувати виконання рутинних та повторюваних операцій, які традиційно займали значну частину робочого часу дизайнера. Йдеться, зокрема, про автоматизований підбір кольорових палітр на основі заданого настрою або брендової ідентичності, генерацію варіативних композицій дизайну, створення альтернативних версій одного й того ж візуального рішення, а також швидку адаптацію контенту під різні цифрові середовища: соціальні мережі, вебплатформи, мобільні додатки чи рекламні носії. Це дозволяє суттєво зменшити час виробничого циклу та водночас підвищити кількість і якість ітерацій у процесі розробки.

Важливим аспектом автоматизації є перехід від ручного виконання окремих операцій до побудови цілісних креативних пайплайнів. Такий підхід передбачає інтеграцію різних інструментів штучного інтелекту в єдину логічну систему, де кожен етап взаємопов'язаний і автоматично передає результат наступному. Наприклад, текстовий опис ідеї може автоматично перетворюватися на візуальний концепт, який далі адаптується під різні формати, після чого проходить етап постобробки та фінальної оптимізації [13].

У навчальному контексті це означає необхідність формування у студентів не лише навичок роботи з окремими AI-інструментами, але й системного мислення, що дозволяє проєктувати повноцінні цифрові виробничі процеси. Студент повинен розуміти, як поєднувати генеративні моделі, графічні редактори, інструменти автоматизації та аналітичні системи в єдиний робочий ланцюг. Такий підхід сприяє розвитку компетентностей рівня «digital producer», коли дизайнер виступає не лише як творець візуального контенту, але і як архітектор процесу його створення.

Особливу роль у цьому процесі відіграє концепція «людина–AI співпраця», яка передбачає розподіл функцій між творчим мисленням людини та обчислювальними можливостями штучного інтелекту. Людина визначає концепцію, стиль, емоційний контекст та стратегічні параметри проєкту, тоді як AI виконує генеративну, варіативну та адаптаційну частини роботи. Така модель дозволяє досягти значного підвищення продуктивності без втрати креативної унікальності кінцевого результату.

У межах автоматизації креативних процесів особливої уваги потребує також питання стандартизації робочих потоків. Використання шаблонів промптів, автоматизованих сценаріїв генерації та структурованих пайплайнів

дозволяє забезпечити повторюваність якісного результату та зменшити залежність від індивідуального досвіду виконавця. Це є критично важливим у командних проєктах, де необхідно забезпечити узгодженість стилю та єдині стандарти виробництва контенту.

Додатково слід підкреслити, що автоматизація не зменшує роль дизайнера, а навпаки – підвищує вимоги до його кваліфікації. Замість виконання рутинних операцій фахівець зосереджується на стратегічних завданнях: аналізі, відборі, редагуванні та концептуалізації результатів генерації. Це змінює саму структуру професійної діяльності, зміщуючи акцент у бік креативного менеджменту та системного проєктування.

У навчальному процесі доцільно впроваджувати практичні завдання, пов’язані з побудовою автоматизованих дизайн-пайплайнів. Це можуть бути проєкти, в яких студенти створюють повний цикл генерації контенту: від текстового опису ідеї до готового мультимедійного продукту з адаптацією під різні платформи. Такий підхід дозволяє сформувати у них розуміння логіки сучасного цифрового виробництва та навчити працювати в умовах багаторівневої автоматизації. Важливо також враховувати, що автоматизація креативних процесів пов’язана з певними викликами. Серед них, ризик надмірної стандартизації контенту, зниження рівня унікальності дизайнерських рішень та залежність від алгоритмічних систем. Тому особливого значення набуває баланс між автоматизацією та творчою свободою, який повинен свідомо підтримуватися як у професійній діяльності, так і в освітньому процесі.

Узагальнена модель автоматизації креативного виробництва з використанням штучного інтелекту може бути представлена у вигляді інтегрованого пайплайну, який поєднує етапи ідеації, генерації, варіативності, відбору та фінальної адаптації контенту (рис. 13).



Рисунок 13 – Схема автоматизації креативного процесу з використанням ШІ

Таким чином, автоматизація креативних процесів на основі штучного інтелекту формує нову модель дизайнерської діяльності, у якій ключовим стає не виконання окремих операцій, а управління цілісною системою створення контенту. Це потребує від студентів опанування нових компетентностей, пов'язаних із системним мисленням, проєктуванням цифрових процесів та ефективною взаємодією з інтелектуальними інструментами.

Результати дослідження

У результаті проведеного аналізу сучасного стану розвитку креативних індустрій, ринку цифрового дизайну та практик застосування генеративного штучного інтелекту встановлено, що освітній контент дисципліни «Штучний інтелект для дизайнерів» потребує системної трансформації з орієнтацією на практико-орієнтовану підготовку та інтеграцію актуальних технологічних інструментів. Отримані результати дозволяють стверджувати, що традиційна модель підготовки дизайнерів, яка базується переважно на вивченні класичних графічних редакторів та базових принципів композиції, вже не відповідає повною мірою сучасним вимогам професійного середовища.

Аналіз професійних компетентностей, які сьогодні є затребуваними у сфері дизайну, показав суттєве зміщення акцентів у бік роботи з інтелектуальними системами, генеративними моделями та мультимодальними платформами створення контенту. Зокрема, ключовими компетентностями стають здатність до формулювання ефективних промптів, управління генеративними процесами, критичний аналіз результатів роботи AI-систем, а також інтеграція штучного інтелекту у комплексні дизайн-процеси.

Отримані результати також демонструють, що впровадження промпт-інжинірингу як окремого навчального модуля є критично важливим для формування сучасного фахівця у сфері дизайну. Було встановлено, що якість взаємодії з генеративними моделями безпосередньо залежить від рівня сформованості навичок структурування запитів, контекстуалізації завдань та використання стратегій керування генерацією. Студенти, які опановують структуровані підходи до створення промптів, демонструють значно вищу ефективність у досягненні бажаних результатів та скорочення кількості ітерацій у процесі роботи з AI-системами.

Узагальнення результатів дослідження дозволяє зробити висновок, що сучасна підготовка дизайнерів повинна базуватися на інтеграції трьох ключових компонентів: технологічного (AI-інструменти та платформи), когнітивного (промпт-інжиніринг, аналітичне мислення) та креативного (дизайн, композиція, візуальна культура). Саме така інтеграція забезпечує формування конкурентоспроможного фахівця, здатного ефективно працювати в умовах динамічного розвитку цифрових технологій.

Висновки

Проведене дослідження дозволяє сформулювати комплексні висновки щодо ролі штучного інтелекту у трансформації дизайнерської освіти та необхідності адаптації навчально-методичного контенту дисципліни «Штучний інтелект для дизайнерів» до сучасних вимог цифрової економіки та креативних індустрій [14-23]. Отримані результати підтверджують, що розвиток генеративних моделей, мультимодальних систем та інструментів автоматизації креативних процесів суттєво змінює як професійну діяльність дизайнера, так і підходи до його підготовки у закладах вищої освіти.

Передусім встановлено, що традиційна модель дизайнерської освіти, яка базується переважно на освоєнні графічних редакторів та класичних принципів візуальної композиції, поступово втрачає свою достатність у сучасних умовах. Швидке впровадження інструментів штучного інтелекту в усі етапи створення цифрового контенту вимагає формування нових компетентностей, серед яких ключовими стають здатність до взаємодії з генеративними системами, розуміння принципів їх роботи, а також уміння інтерпретувати та критично оцінювати отримані результати. Таким чином, відбувається зміщення акценту з техніки виконання на управління процесом створення контенту.

Важливим результатом дослідження є підтвердження того, що штучний інтелект у сфері дизайну виконує не заміщувальну, а трансформаційну функцію [24-28]. Він не усуває потребу у дизайнері як фахівцеві, а змінює його роль у креативному процесі. Сучасний дизайнер поступово переходить від позиції виконавця до позиції куратора, режисера та аналітика, який визначає концепцію продукту, формує параметри генерації, здійснює відбір результатів і відповідає за їх якість та відповідність поставленим завданням. Це означає, що у структурі професійних компетентностей зростає значення критичного мислення, стратегічного планування та здатності до міждисциплінарної інтеграції знань.

Окремо слід підкреслити, що впровадження промпт-інжинірингу як базової компетентності сучасного дизайнера є одним із ключових результатів дослідження. Було встановлено, що якість взаємодії з генеративними моделями безпосередньо залежить від рівня сформованості навичок структурування запитів, використання контексту, рольового моделювання та застосування стратегій керування генерацією. Промпт-інжиніринг фактично виступає новою формою цифрової грамотності, яка об'єднує мовні, аналітичні та візуальні компетентності в єдину систему професійних навичок. Його включення до навчальних програм є необхідною умовою підготовки конкурентоспроможних фахівців у сфері дизайну.

Важливим аспектом є також те, що інтеграція генеративних моделей у навчальний процес сприяє розвитку творчого потенціалу студентів. Використання інструментів штучного інтелекту дозволяє значно розширити можливості експериментування з формою, стилем і змістом цифрового контенту, забезпечуючи швидке прототипування ідей та дослідження альтернативних

варіантів рішень. У результаті формується нова культура дизайну, у якій поєднуються людська креативність і обчислювальні можливості інтелектуальних систем.

Це дозволяє зробити висновок, що дисципліна «Штучний інтелект для дизайнерів» потребує оновлення змісту з урахуванням сучасних технологічних тенденцій. Її структура повинна включати як теоретичні основи роботи генеративних моделей, так і практичні модулі, спрямовані на формування навичок роботи з конкретними AI-інструментами, розвитку промпт-інжинірингу та реалізації комплексних проєктів.

Таким чином, інтеграція штучного інтелекту у дизайнерську освіту є не просто технологічним оновленням, а глибокою трансформацією самої освітньої парадигми. Вона змінює підходи до навчання, роль викладача, характер студентської діяльності та зміст професійних компетентностей. У цих умовах успішність підготовки фахівців визначається здатністю освітньої системи швидко адаптуватися до змін і забезпечувати формування гнучких, креативних та технологічно обізнаних спеціалістів.

Список літератури.

1. Maeda, J. (2024). Design in Tech Report 2024: Design and Artificial Intelligence. <https://designintech.report/>.
2. Mollick, E.R., & Mollick, L. (2024). New Rules for the New World of AI. Harvard Business Review. <https://hbr.org/podcast/2024/01/azeems-2024-trends-ai-energy-and-decentralization>.
3. Горошко, А.І., Грицаков, І.А., Супрун, О.О., & Супрун, Т.С. (2022). Інноваційні інструменти просування у соціальних мережах. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 35-38).
4. Дранник, А., & Супрун, О.О. (2025). Застосування генеративних моделей AI для обробки медіа в реальному часі. Автоматизація та приладобудування. (с. 134-138).
5. Горбачев, К.С., & Супрун, О.О. (2025). Інтеграція штучного інтелекту в медіаіндустрію. Автоматизація та приладобудування. (с. 121-124).
6. Дранник, А.В., & Супрун, О.О. (2025). ШІ для аналізу великих обсягів даних з соціальних мереж. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 125-128).
7. Чеботарьова, І.Б., & Бойко, А.О. (2018). Підвищення ефективності оперативного управління поліграфічним підприємством за допомогою АСУП. Structural transformations and problems of information economy formation: Collective monograph. (с. 268-280). Ascona Publishing. New York, USA.
8. Chebotarova, I., & Silchenko, V. (2024). Intelligent text recognition when creating audio books for blind people. Jóvenes en la ciencia, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4232/3713>.
9. Khlynyna, S., Vovk, O., & Chebotarova, I. (2024). Prospects for using artificial intelligence for book layout. Jóvenes en la ciencia, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4236/3717>.
10. Ткаченко, В.П., Чеботарьова, І.Б., Киричок, П.О., & Григорова, З.В. (2008). Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник. Х.: ХНУРЕ.
11. Бізюк, А.В., Вовк, О.В., & Ткаченко, В.П. (2018). Основи наукових досліджень: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ.
12. Каук, В.І. (2024). Перетини технологій: штучний інтелект, як каталізатор змін у UX/UI дизайні. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Інновації та розвиток: монографія. (с. 226-242). ТОВ «Друкарня Мадрид».

13. Deineko, Z., et al. (2021). Color space image as a factor in the choice of its processing technology. Problems of modern science and practice. (p. 389-394).
14. Borovynska, Y., & Vovk, O. (2024). Investigating the vision of AI driven website builder in user interface components. Jóvenes en la ciencia, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4233/3714>.
15. Borovynska, Y., & Vovk, O. (2024). Exploring the influence of artificial intelligence on the complexity of landing page anatomy. Memorias de SYNTOPIA. (p. 26-27).
16. Chebotarova, I., & Khovanets, A. (2026). The digital palette of the future: the evolution of the artist's role in the era of neural networks. Memorias de SYNTOPIA. (p. 38-39).
17. Kaluhin, N., Vovk, O., & Chebotarova, I. (2024). The impact of artificial intelligence on future of humanity. Jóvenes en la ciencia, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4235/3716>.
18. Kaluhin, N., & Vovk, O. (2024). Artificial intelligence and digital art. Memorias de SYNTOPIA. (p. 30-31).
19. Khlynyna, S., & Vovk, O. (2024). Artificial intelligence for layout of gift book editions. Memorias de SYNTOPIA. (p. 32-33).
20. Vovk, O., & Borovynska, Y. (2024). Assessing the efficacy of artificial intelligence in transforming wireframes into designs: current limitations and future prospect. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 227-228).
21. Магіліна, В.О., & Чеботарьова, І.Б. (2026). Особливості проєктування Indoor-реклами в освітньому середовищі. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 181).
22. Хованец, А.О., & Чеботарьова, І.Б. (2026). Використання технологій доповненої та віртуальної реальності (AR/VR) у створенні інтерактивних поліграфічних продуктів. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених. (с. 196).
23. Чеботарьова, І.Б., Гуріна, К.В., & Чеботарьов, Р.І. (2022). AR-технології в сучасній рекламі. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 34-36).
24. Chebotarova, I., & Cherkashyna, H. (2025). Font management with artificial intelligence. Memorias de SYNTOPIA. (p. 32-33).
25. Вовк, О.В., & Ольховик, О.І. (2025). AI-інструменти для створення ефективної реклами в соціальних мережах. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 252-253).
26. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Сушкова, А.С. (2025). Дослідження впливу штучного інтелекту на процеси дизайну та верстки друкованої продукції. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 2. (с. 173-174).
27. Ольховик, О.І., & Вовк, О.В. (2025). Використання нейромереж для створення текстів, зображень і відео в рекламі. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. Т. 6. (с. 596-597).
28. Сурженко, А.С., Вовк, О.В., & Манаков, В.П. (2026). Застосування інструментів генеративного штучного інтелекту при розробці візуальних новел. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. Т. 2. (с. 237-238).

ВИКОРИСТАННЯ ШРИФТІВ В ОЗДОБЛЕННІ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Челомбітько В.Ф.

к.т.н., доцент, кафедра Медіасистем та технологій,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0002-6677-5883

***Анотація.** Метою роботи є дослідження можливостей застосування рукописних шрифтів, розгляд з графічної точки зору їх використання та спрямованості, а також застосування шрифтів в оздобленні поліграфічної продукції.*

У роботі наведено визначення, історію виникнення шрифту, способи побудови і класифікацію шрифтів, приклади використання шрифтів в оздобленні поліграфічної продукції.

***Ключові слова:** шрифти, основні види шрифтів, оздоблення поліграфічної продукції, геометрична побудова шрифтів.*

Вступ

Видавнича справа, поліграфічне виробництво, архітектура й графіка, що розвиваються, ставлять перед художниками щоденно нові задачі, які потребують створення нових шрифтів, або змушують кожного разу, по іншому, творче змінювати вже існуючі класичні зразки. Типографські шрифти призначені для використання їх в друкарстві, являють собою основну групу шрифтів, які в найбільшому ступені повинні задовольняти комплексним нормативам функціонального естетичного та технологічного порядку. Створення типографського шрифту потребує від художника високої культури, тонкої графічної майстерності й відмінного знання технології виготовлення шрифтів й поліграфічної продукції.

Особливу групу складають, так звані, «мальовані шрифти», які відрізняються індивідуальністю й багатим різноманіттям своїх форм. Такі шрифти широко використовуються для оздоблення титульних аркушів й палітурок книг.

Важливу роль грають написи на кресленнях у будь-якій області техніки. До написів на архітектурних кресленнях пред'являють особливо високі вимоги. Написи є також одним з найважливіших елементів оформлення топографічних карт, для яких існують суворі правила застосування спеціальних шрифтів.

У плакатах написи часто є головним елементом всієї композиції й шрифт, яким вона виконана, повинен відповідати особливим «плакатним» вимогам.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що без шрифтів на сьогоднішній день важко уявити сучасне життя: книги, документи різного рівня, газети, рекламні тексти – все це відображається через той чи інший шрифт.

Інформатизоване суспільство не може обходитися без графічного відображення слова.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження можливостей застосування рукописних шрифтів, розгляд з графічної точки зору їх використання та спрямованості, а також застосування шрифтів в оздобленні поліграфічної продукції.

У роботі наведено визначення, історію виникнення шрифту, способи побудови і класифікацію шрифтів, приклади використання шрифтів в оздобленні поліграфічної продукції.

Основна частина

1 Історія виникнення шрифтів

Шрифт з'явився як магічний засіб на шляху людства з непізаного до отримання знань. Використання рисунків з метою фіксування і передавання інформації сягає у часи розквіту первісного суспільства. Зачатки піктографії (рисункового письма) більшість фахівців пов'язує з мистецтвом палеоліту, надаючи їм пізнавальні, естетичні та художні функції.

Вищі форми розвитку піктографії можна відшукати в рукописах ацтеків. Це серії багатоколірних малюнків, майстерно виконаних на оленячій шкірі або на тканині з лубу агави. Малюнки передавали поняття, а не звуки мови, причому важливу роль відігравали дати та інші чисельні позначення. Велике значення мала символіка кольорів, які застосовувалися для створення піктограм.

Наступним кроком у розвитку писемності стало використання ієрогліфів. Ієрогліфічний шрифт виник через прагнення людини через рисунок передати інформацію. Правда, в ієрогліфах відсутня точність, тому їх потрібно тлумачити. З поглибленням і уточненням людських знань росла необхідність кодувати мову ясніше, більш універсально і більш правильно. Піктографічне (знакове) письмо виникло після того, як утворилися окремі слова, які виражають поняття в повсякденній мові і часто проголошувані вголос. Кожне слово володіло власним знаком, і чим виразнішою і розвиненішою була мова, тим більше в ній було знаків. Досить розвинені системи письма були в Китаї, Індії, Єгипті та Месопотамії. Близько 3000 років до н.е. шумери розробили клинопис, тобто складове письмо, що складається з літер, знаки позначали не предмети, а склади, звуки та графічно передавали окремі звукові позначення. Перше алфавітне письмо винайшли фінікійці. Фінікійське письмо було покладено в основу давньогрецького, а також арамейського письма, від якого пізніше виникли індійська, перська, арабська системи писемності.

До переваг алфавітного письма можна віднести: компактність алфавіту (до 100 знаків); абстрактність рисунка літер; літери прості за графікою і легко розпізнаються; можна зменшувати розмір літер, економлячи місце; знаки

позначають певний звук (або поєднання звуків). Писемність як можливість зберігання, нагромадження і передавання знань стала найважливішим стимулом для прискорення розвитку духовної культури та визначальною передумовою становлення науки.

Однією з причин стрімкого розповсюдження знань у XV–XVI ст. став розвиток промисловості та винайдення друкарського верстата, що привело до появи друкованих книг. Книгодрукування виникло в середині XV ст. (1440 р.); засновником вважається Йоганн Гутенберг, який винайшов не тільки спосіб друкування. Серед його доробку є: спосіб виготовлення друкарської форми за допомогою набору тексту окремими літерами; словолитний станок, за допомогою якого окремі літери відливалися з металу; друкарський верстат (або, як його ще називали, друкарський прес), на якому відтискався текст із набору, складеного з окремих літер, намащених фарбою; друкарська фарба, що мала суттєві відмінності від використовуваної для гравюр і ксилографічних книг як за кольором, так і за складом.

Спочатку старі шрифти були просто переплавленими літерами зі свинцю, але незабаром з'явилися і спеціальні друкарські шрифти, які не втратили до цих пір свою привабливість за формою і виконанням. Значний внесок у дизайн шрифтів внесли Клод Гарамон (1480-1561), Ніколас Йенсон (1420-1480) і Альдо Мануцій (1459-1515). Після відкриття Гутенберга існували паралельно дві різні концепції: римські шрифти, типу Антиква і Курсив, і ломані шрифти, типу Фрактура, Готика і Швабський шрифт. З форм, отриманих з рукописного шрифту, створювалося багато типографських шрифтів, що відрізняються істотними нюансами. Технічні нововведення й естетичні пошуки дозволили з'явитися в подальшому іншим варіантам.

Ніколас Йенсен, який навчався у місті Майн у Й. Гутенберга, згодом створив зовсім нові шрифти за прикладом давньоримських написів, що отримали загальну назву "старовинна антиква" (Old Style). Винахідник надав друкованій римській малій літері пропорції та форми. Шрифти замість імітації рукописного почерку почали створювати у стилі, що використовуватиметься протягом наступних століть розвитку друкування.

У 1494 р. відомий венеціанський друкар і видавець Альдо Мануцій створив книжкове видання із зразками друкованих шрифтів. Він перший в своїй галузі застосував і задав у обіг курсивний шрифт. Водночас А. Мануцій запровадив малий формат (1/8 і 1/12 аркуша) для книжкових видань, тобто створив перші у світі кишенькові видання.

Серед майстрів шрифту виділявся К. Гарамон, творець знаменитої ренесансної антикви. У середині XVIII ст. яскравою подією типографіки стала діяльність француза П'єра Фурньє, який у 1773 р. видав "Типографське керівництво", яке пропонувало єдину систему визначення розмірів шрифтів за допомогою кеглів. Фурньє зробив першу спробу систематизації типорозмірів і почав випускати каталоги шрифтових зразків.

Приблизно в цей же час у Франції для Королівської друкарні був розроблений із застосуванням математичних методів, а потім нарізаний пуансоністом Ф. Гранжаном, перший шрифт перехідного стилю – "Королівська антиква". З нею типографіка ще далі відійшла від рукописного прототипу; з'явився більш виражений контраст між основними та сполучними штрихами, жорсткішим стали сполучення зарубок і вертикалей. Прикладами перехідної антикви є шрифти Caslon, Times New Roman, Bookman.

Великий внесок у типографіку, книгодрукарство та розроблення нових шрифтів у стилі перехідної антикви вніс Джон Баскервіль, який працював в Англії в 1750-1770 рр. Відмовившись від застосування книжкового орнаменту, Баскервіль став основоположником «чистої» типографіки, заснованої тільки на шрифтовому оформленні.

Безперечні заслуги в галузі типографіки італійця Дж. Бодоні, який працював у 1760-1800 рр. у Пармі. Бодоні був художником-шрифтовиком і гравером, видавцем і друкарем. Він міг різати шрифти найдрібніших кеглів з різницею у півпункту, враховуючи зміни контрасту і пропорцій залежно від розміру літер. Бодоні створив понад 400 шрифтів; серед них безліч латинських шрифтів, 80 прямих і курсивних кирилических шрифтів, велику кількість рукописних шрифтів, а також грецьких, єврейських, арабських, індійських та інших східних шрифтів. Бодоні видав книгу "Oratio Dominica" ("Отче наш") на 155 мовах. Бодоні розробив шрифти стилю нової антикви, призначені насамперед для акцентування, оформлення заголовків, використання у рекламі тощо.

У 1845 році був розроблений перший з шрифтів типу Кларендон, характеризується товстими прямокутними зарубками, поєднуючись, з основним штрихом невеликим заокругленням, і невеликим контрастом товщини штрихів. Взявши від нової антикви загальні пропорції і принципи побудови букв і позбувшись від сильного контрасту і незграбності, ці шрифти виглядають строго, але сучасно (Schoolbook, Bookman).

Промислова революція розширила сферу типографіки, відкривши їй велике поле діяльності в рекламі і періодиці. Потреба в акцидентних і заголовних шрифтах сприяла інтенсивному розробленню нових видів і різновидів шрифтового рисунка. У першій половині XIX ст. зусиллями англійських розробників вводяться в обіг шрифти жирних накреслень (Р. Торі), єгипетські шрифти (В. Фігінс), гротески (У. Кеслон), шрифти типу Кларендон (У. Тароугуд) та ін. Активно розвивається книжковий орнамент, помітно зростає значення ілюстрації. Разом з тим книга все більше втрачає типографічну строгість і цілісність, її характерними рисами стають перевантаженість декором з елементами різних історичних стилів.

У XIX столітті розвиток капіталізму, немислимого без реклами, викликав широке розповсюдження акцидентних гарнітур. Інша тенденція цього часу пов'язана з появою малокоонтрастних шрифтів, що отримали назву гротесків.

Приблизно до того ж періоду відносять появу експресивної типографіки, котра прагнула відтворити образність авторської мови шляхом зміни шрифтових кеглів і накреслень, активізації незадрукованого фону, а часом і уподібнення складальної смуги якомусь зображенню. Помітним внеском у царину експресивної типографіки відзначено творчість представників конструктивізму 1920 – 30-х рр. (П. Зварт, Х. Байєр, Я. Чихольд, Е. Лисицький, А. Родченко, В. Степанова, С. Телінгтер та ін.). Їх основні досягнення належать до сфери рекламної типографіки, акциденції, а також до типографіки ділових і періодичних видань.

Наприкінці 20х років в Німеччині розробляються принципово нові, підкреслено спрощені, геометризовані, рубані шрифти, типу гротеск (Futura, Helvetica). Це лаконічні шрифти, які не мають зарубок і контрасту. «Такому шрифту можна відмовити в єдності і певному своєрідності, хоча він досить обтяжливий у великих обсягах і навряд чи здатний викликати у читача посправжньому теплі почуття. На сучасний погляд «новим рубаним» безумовно не вистачає м'якості, людяності, гуманізму»

У 1930 р. розвивалася і типографіка неокласичного стилю, головними рисами якої є легкість читання знака та тексту в цілому, простота та звичність шрифтового рисунка, врівноваженість пропорцій шрифту та складальної шпальти, відсутність виклику й екстравагантності. Лідерами неокласичної типографіки були: Я. Чихольд, який з середини 1930-х рр. працював у Швейцарії і Великобританії; С. Морисон (Англія); Г. Цапф (Німеччина).

У 1940 – 1960 рр. провідну роль у світовій типографіці посіла Швейцарія, де склалася строго функціональна система художнього проєктування творів друку. На відміну від конструктивізму, типографіка післявоєнної швейцарської школи має підкреслено діловий характер.

У швейцарській школі переважає використання шрифтів-гротесків (особливо Гельветики, спроектованої М. Мідингер у 1956 р.), фотографій.

Значна роль у розробленні шрифтів і в об'єднанні їх проєктувальників належить Міжнародній шрифтовій корпорації (ІТС), заснованій в 1970 р. у Нью-Йорку Х. Любаліном і А. Бернсом.

На початку XIX ст. відбулася промислова революція, що викликала появу нових технологій та різноманітних нових товарів і послуг. Усі вони потребували реклами у вигляді плакатів та у періодичних виданнях. Гостра потреба в незвичайних шрифтах, на які звертають увагу, привела до розроблення шрифтів без зарубок – рубаних (або гротесків). Одним із перших шрифтів-гротесків став Caslon, який з'явився в 1816 р. і позиціонувався як акцидентний – той, що звертає на себе увагу та сильно відрізняється від класичних шрифтів. Для рубаних шрифтів, окрім відсутності зарубок (sans serif), характерною ознакою є мінімальний контраст рисок або навіть повна його відсутність.

На початку XX ст. з'явився модернізм – напрям дизайну, за якого застаріле відкидалось, а найцікавіші ідеї отримували додатковий поштовх до розвитку. Рубані шрифти вже були досить звичними, вийшовши за межі акцидентності,

стали робочим інструментом для всіх, хто займався текстами. Вектор розвитку змістився до простоти, що відрізнялося від старих ідей прикрашання та важких форм.

Шрифтовий дизайн почав поширюватися швидше, і рубані шрифти призначались для відображення на екрані й Інтернет-рекламі – Roboto, Inter, Open Sans були розроблені саме для цього. Шрифти без зарубок стали переважати у кількості, серед них багато шрифтів із схожими пропорціями та характером, тому важко помітити різницю, скажімо, між шрифтами Helvetica та San Francisco.

Зараз найбільш популярними шрифтами без зарубок є Helvetica, Roboto, Futura, Arial.

У друкованій та Інтернет-рекламі текстове повідомлення має бути розміщене й оформлене таким чином, щоб гарно сприймалося читачами. Часова обмеженість рекламної демонстрації, незначний формат рекламного об'єкта, жорстка конкуренція у сфері реклами потребують дієвих форм оформлення продукту.

У виборі шрифтового рішення для реклами необхідно враховувати відповідність шрифту або набору шрифтів поставленим завданням і способам розміщення і використання реклами. Ефектне шрифтове оформлення Інтернет-реклами значно впливає на зростання конверсії реклами в Інтернеті та збільшує лояльність споживачів реклами.

На відміну від підбору шрифтів для друку вуличної реклами та реклами у газетних і журнальних виданнях, для Інтернет-реклами необхідно враховувати її читанність на малій площі рекламного об'єкта. Обране шрифтове оформлення має привертати увагу своєю виразністю, водночас сприяючи сприйняттю інформації. Інтернет-реклама – один із рушійних інструментів маркетингу, покликаний переконувати й інформувати Інтернет-аудиторію.

Рекламна діяльність в Інтернеті активно поширюється, однак сьогодні залишається відкритим питання щодо шрифтових рішень для її оформлення. Грамотний підхід до шрифтового оформлення реклами позначається не тільки на сприйнятті та засвоюваності інформації, що доносить рекламодавець, але крім того вносить вклад у формування образу компанії чи продукту.

Терміном «гуманізація» зручно позначати ту міру свободи, гнучкості і навіть недбалості форм, то прагнення до зручного читання і пріоритет графічного самовираження кожної букви над загальними принципами побудови шрифту». Зараз основні шрифти із зарубками - це «відроджені» шрифти і варіації шрифтів минулих епох. Поступовий відступ від нової антикви до витоків шрифтової історії, до класичної гуманістичної антикви виразилося в перехідних шрифтах, пік популярності яких припав на 30-і роки. Саме тоді був відтворений за зразками англійських типографів XVIII століття шрифт Times Roman. Не уникли спільного прагнення до пом'якшення та гуманізації й рубані шрифти. На зміну шрифту Futura прийшов Helvetica (Arial), створений в 1957-му У 1976-му був створений шрифт Frutiger (FreeSet), Який став більш легким для читання,

більш вільним. У 1984 році був створений шрифт Meta. Він і зараз дуже популярний в сфері дизайну. Відмова від дуг окружності і заміна їх лініями зі зміною кривизни, звуження літер, заокруглені кути, характерні відгини вертикальних штрихів додає шрифту м'якість. Можна сказати, що цей шрифт є гібридом традиційних форм рубаних шрифтів з деякими рисами шрифтів із зарубками.

2 Геометричні побудови в шрифтах

Робота зі створення шрифтів вимагає від графіка знання ряду мінімальних відомостей по геометричному кресленню. Це необхідно як для правильної побудови окремих літер з їх малювання ескізами, так і для побудови цілих написів і алфавітів в єдиній геометричній системі. Розглянемо основні завдання з області геометричного креслення, які найчастіше зустрічаються при побудові шрифтів.

1. Розподіл відрізка прямої лінії в заданому відношенні (рис. 1). Ця задача відноситься головним чином до членування літер по вертикалі.

Розподіл відрізка АВ на будь-яку кількість частин з будь-яким відношенням їх виконується на основі властивостей подібних трикутників.

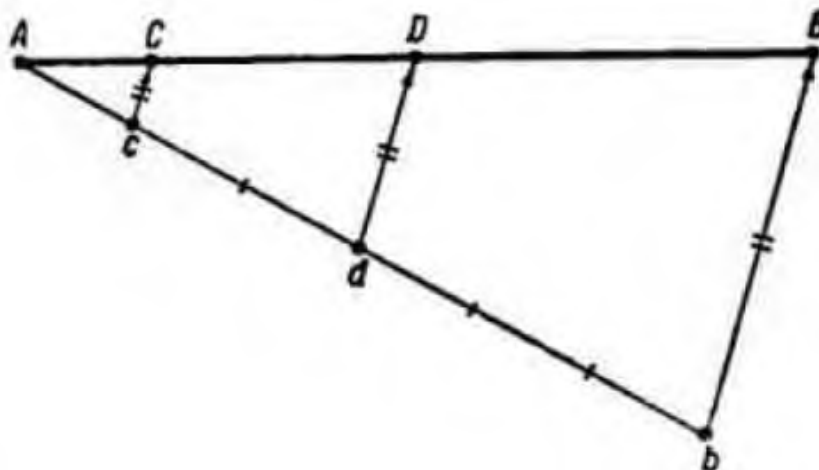


Рисунок 1 – Розподіл відрізка прямої лінії

З точки А заданого відрізка прямої в довільному напрямку проводимо пряму. На цій допоміжній прямій в довільному масштабі відкладаємо відрізки заданих відносин Ас, Сd, Db. Точка б на допоміжній прямій з'єднується з точкою В. Через точки с і d будуються прямі, паралельні прямій Вb, які в точках С і D перетину їх відрізком АВ ділять його в заданому відношенні. У прикладі відрізок прямої АВ розділений на три частини у відношенні 1: 2: 3.

2. Розподіл відрізка прямої в золотому перетині (рис. 2).

У точці В відрізка АВ відновлюється перпендикуляр. На перпендикулярі відкладається відрізок ВС, рівний половині відрізка АВ. Точка А відрізка з'єднується прямою з точкою С. На прямій АС з точки С радіусом ВС робиться зарубка (точка D). З точки А радіусом AD робиться зарубка на прямій АВ, що дає точку Е. Відрізок АВ в точці Е ділиться в золотому перетині. Цю побудову

можна не повторювати в кожному випадку, а користуватися способом пропорційного розподілу відрізка.

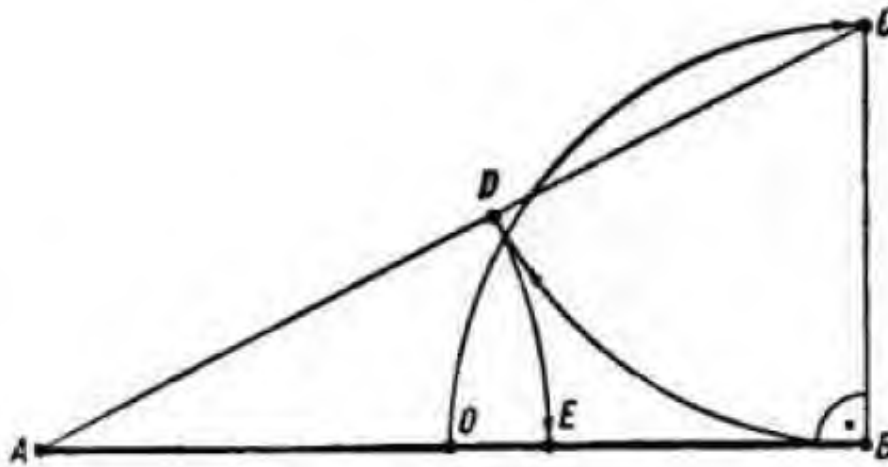


Рисунок 2 – Розподіл відрізка прямої в золотому перетині

3. Побудова прямокутника в пропорціях золотого перетину (рис. 3).

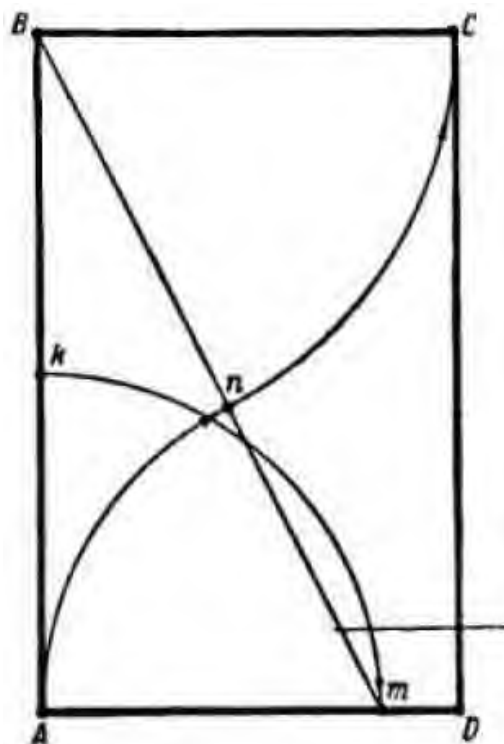


Рисунок 3 – Прямокутник в пропорціях золотого перетину

Задана висота прямокутника AB ділиться навпіл (точка K), відрізок AK відкладається на перпендикулярі AD (точка m). Точки B і m з'єднуються прямою, на якій радіусом mA з центру m засікається точка n . Відрізок Bn переноситься на верхню підставу і визначає точку C . Прямокутник $ABCD$ буде побудований в пропорціях золотого перетину.

4. Побудова чотирьохцентрового овалу, найбільш близького за пропорціями до еліпса (рис. 4.) Викреслювання лекальних кривих представляє значні труднощі.

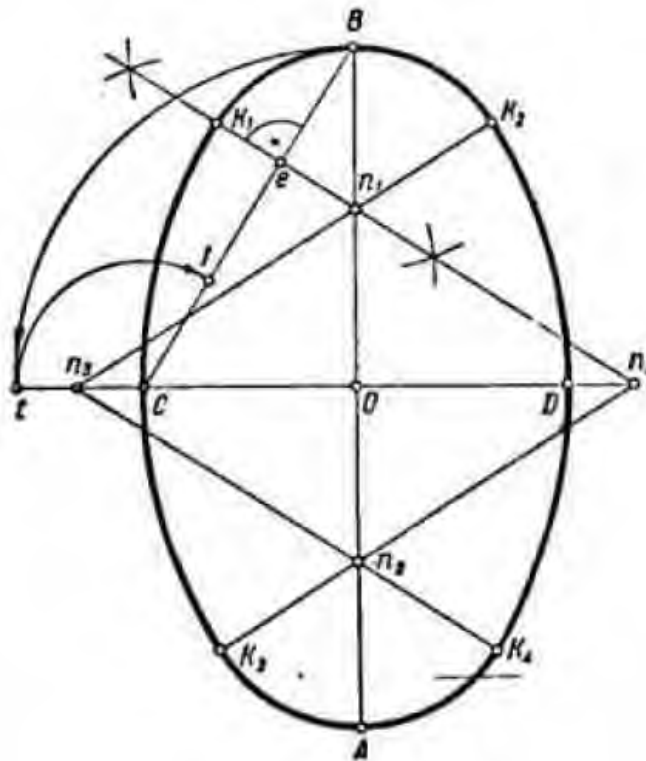


Рисунок 4 – Чотирьохцентровий овал, найбільш близький за пропорціями до еліпса

Геометричні характеристики таких кривих вельми дуже невизначені і ускладнюють графічне закріплення їх форми. Ці обставини зумовили широке застосування в шрифтах циркульних кривих, вельми добре відтворюють форми лекальних кривих і дають, як правило просту і чітку геометричну основу побудови. До такого роду замкнутих кривих відноситься чотирьохцентровий замкнутий овал, найбільш близький за формою до еліпса. Його пропорції визначаються двома осями AB і CD.

Точку C на малій і точку B на великій півосі з'єднують прямою BC. На цій допоміжній прямій з точки C в напрямку від малої осі відкладають відрізок, рівний різниці довжин великої і малої півосей, і знаходять точку f. Відрізок fB ділять навпіл і з точки f проводять перпендикуляр до CB. Точка перетину цього перпендикуляра з великою віссю визначить центр дуги вершини овалу p_1 , а перетин його з продовженням малої осі дасть центр дуги середній частині овалу p_2 . Точки p_3 і p_4 знаходять простим переносом. Точки K_1, K_2, K_3, K_4 сполучення дуг лежать на прямих, що з'єднують відповідні центри овалу.

5. Побудова еліпса вписаного в паралелограм (рис. 5).

При побудові похилих або курсивних шрифтів букви вписуються в паралелограм. Побудова еліпса, вписаного в паралелограм, проводиться по зв'язаних діаметрах. У паралелограмі $eijh$ проводять середні лінії AB і CD, які є сполученими діаметрами еліпса, перетин яких зі сторонами паралелограма визначає точки дотику еліпса. Половина будь-якої сторони паралелограма ділиться на кілька рівних частин (наприклад ділиться на чотири відрізка f-1, 1-2, 2-3, 3-C). Точки 1,2,3 з'єднуються прямими з серединою найближчої непаралельної сторони паралелограма (B). Половину середньої лінії OC ділять

на таку ж, як і в попередньому випадку, кількість частин: $O-1'$, $1-2'$, $2'-3'$, $3'-C'$, і через точки $1'$, $2'$, $3'$ з точки A проводять промені $A1'$, $A2'$, $A3'$, які на перетині з раніше проведеними прямими $B1$, $B2$, $B3$ дають точки шуканого еліпса. Інші три чверті еліпса будуються аналогічно.

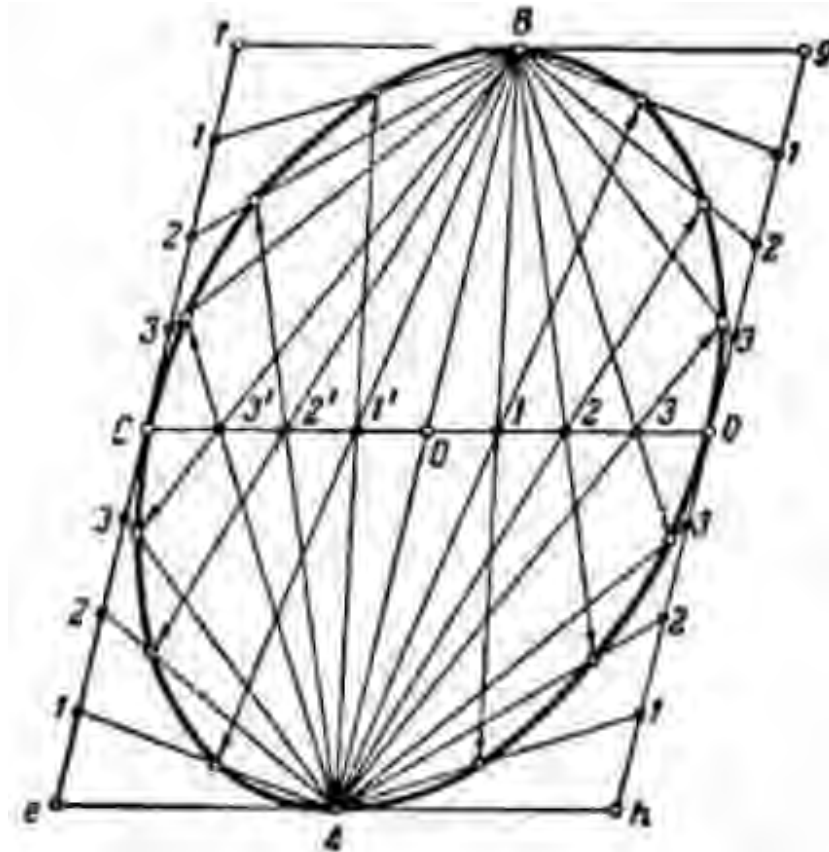


Рисунок 5 – Еліпс вписаний в паралелограм

3 Загальні правила використання шрифтів

Розрізняють такі основні графічні ознаки шрифту: характер контуру букви (округлий або прямолінійний) щільність шрифту (пропорції сторін) контраст штрихів (відношення між основним і з'єднувальним штрихом) наявність і форма зарубок, внутрішньолітерний просвіт (фон, укладений в контур літери) міжлітерний пробіл (розмір просвіту між літерами). Залежно від техніки виконання шрифту розрізняють його наступні основні види: рукописний шрифт (виконується на м'яких матеріалах, таких як папір), мальований шрифт (виконуються написи на палітурках, обкладинках, титульних аркушах), гравірувальний шрифт (виконуються написи на дереві, металі, камені), набірний шрифт (слова складаються з окремих літер механізованим способом). У цьому розділі будуть розглядатися рукописний і мальований шрифти.

Стійкістю і рівновагою характеризуються літери, в побудові яких переважає симетрія. До симетричних відносяться літери А, Д, Ж, Л, М, Н, О, П, Т, Ф, Х, Щ. Але залежно від малюнка елементів симетричні літери можуть втрачати стійкість. Стійкістю і рівновагою характеризуються і асиметричні

літери. В округлих літерах ці ознаки залежать від розташування осі симетрії і характеру напливів.

В оздобленні поліграфічної продукції можливо використовувати як симетричні так і асиметричні шрифти. Другий варіант може передавати безліч творчих задумок і утворювати шрифтові композиції з подвоєним змістом.

Статика і динаміка різних літер проявляються по-різному. Асиметричні літери динамічніші і поділяються на такі, що мають рух вправо або вліво. Симетричні букви виглядають більш статичними. Однак зміна положення з'єднувальних штрихів в буквах Н, І, М, округлих напливів в О, Ф може порушити статику і додати їм певний ілюзорний рух.

Важливу роль у побудові мальованого або рукописного шрифту має середня лінія шрифту. Вона утворюється завдяки наявності в рядку таких букв, як А, Б, В, У, Р, Я й ін. Ця лінія розташовується приблизно на геометричній середині висоти букв, хоча залежно від характеру шрифту в окремих літерах вона може проходити трохи нижче (А, Р, У, Я) або трохи вище (Б, В, Е, Х та ін.). Прагнення до чіткого вислову середньої лінії призводить до монотонності шрифту, втрати естетичних якостей багатьох літер. Місцезнаходження і прив'язка літер до середньої лінії визначаються художником.

Елементи оформлення для конкретного видання вибираються за правилами, що складаються з декількох взаємопов'язаних частин, причому, ці правила не мають «жорсткої» регламентованості. Тут багато чого залежить від досвіду, смаку і пристрастей дизайнера, які з часом трансформуються і іноді радикально. Але існують загальні правила використання шрифтів, для кращого сприйняття інформації. На думку одного дослідника шрифту, А. Капра, у "прекрасному і конгеніальному шрифті", тобто в шрифті, що "перетворює належно оформлений твір друкарства у твір мистецтва", мають зливатися "у чудовій формі" три якості: краса, зручність читання і промовистість. Звичайно, зазначає А. Капр, це не різні властивості, а різні боки однієї медалі.

Для суцільного тексту звичайно застосовують старовинну і перехідну антикви: шрифти із зарубками і зменшеною контрастністю між тонкими і товстими штрихами. Новою антиквою великий матеріал, призначений для читання, звичайно не набирають. Зазвичай використовуються гарнітури Times New Roman (газетна антиква) і Helvetica (гротеск).

Для оформлення заголовків і титулів частіше використовують гротескові шрифти, що не мають зарубок і з основними і сполучними штрихами однієї (або майже однакової) товщини без контрастності. Також заголовки часто виділяють курсивом та напівжирним шрифтом, а кегль використовується у 1,5-2 рази більший ніж основний шрифт.

Основні прийоми набору текстів докорінно не змінювалися з моменту винаходу Гутенберга, а тільки знову і знову удосконалювалися.

Висновки

Зараз видів шрифтів величезна різноманітність, яка надає необмежені можливості для розроблення поліграфічних продуктів. Поліграфічна фірма має можливість здійснити всі найвимогливіші і складні побажання замовників, що стосуються зовнішнього вигляду друкованих видань. Однак, не варто забувати про те, що насамперед продукт поліграфії покликаний викликати інтерес у потенційних покупців.

Тривалий час вважалося, що шрифти із зарубками читати легше, ніж без зарубок. Прямі шрифти вважалися більш легкими для читання, ніж курсивні. Зараз вважається, що швидкість читання залежить від звички читача до того або іншого типу шрифту. Масовий дизайн і практика друкарні використовують і для книг, і для газет, і для журналів прямі шрифти із зарубками, тому, читачі краще сприймають саме їх. Якщо узагальнити сучасні уявлення про гармонійний і легкий для читання набір, то це – прямокутник, що сприймається на деякому віддаленні по тону рівномірно сірим. Абзацні, міжрядкові і міжлітерні пропуски не настільки малі, щоб не виконувати свою функцію, і не настільки великі, щоб зупиняти на собі увагу. В дуже дрібних кеглях пробіли повинні збільшуватися. Коли літери з'єднуються в слово, гармонія досягається за рахунок оптичного балансу внутрішньолітерних просвітів і міжлітерних пропусків, особливо, коли слово стоїть окремо від тексту, в заголовках, в акцидентних написах. Тоді класична типографіка використовує великі букви і набирає їх в розрядку, яка візуально врівноважує між собою внутрішньолітерні і міжлітерні пропуски.

Список літератури.

1. Йордан, Г. (2007) Основи поліграфії: навч. посібник. Тернопіль: Підручники і посібники.
2. Скорікова, Д.В. (2007). Психологічний аспект тексту. <http://journlib.univ.kiev.ua/index.php?act=article&article=1992>.
3. Тимошик, М.С. (2005). Книга для автора, редактора, видавця: практичний посібник. К.: Наша культура і наука.
4. Felici, J. (2018). Complete Manual of Typography: A Guide to Setting Perfect Type. Pearson Education, Limited. (Типографіка: шрифт, верстка, дизайн).
5. Черниш, Н. (2008). Основи бібліології. Львів : Українська академія друкарства.
6. Шевченко, В. (2007). Художньо-технічне оформлення видань різних видів. Наукові записки Інституту журналістики, (27), 97-112.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЧИТАЦЬКОГО ПОПИТУ

Сеньківський В.М.

д.т.н, професор,

кафедра «Комп'ютерні технології у видавничо-поліграфічних процесах»,

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-4510-540X

Піх І.В.

д.т.н, професор, кафедра «Системи віртуальної реальності»,

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-9909-8444

Кудряшова А.В.

д.т.н, доцент, кафедра «Системи віртуальної реальності»,

Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-0496-1381

***Анотація.** У роботі досліджено методи та засоби для формування рівня читачького попиту та розроблено модель їх пріоритетного впливу. Побудовано семантичну мережу взаємозв'язків між факторами та застосовано методи математичного моделювання ієрархій, ранжування і попарних порівнянь для визначення їх вагомості. У результаті отримано оптимізовану модель формування читачького попиту.*

***Ключові слова:** читачький попит, фактори впливу, семантична мережа, математичне моделювання ієрархій, метод, ранжування.*

Вступ

Формування читачького попиту є складним багатфакторним процесом, що залежить від соціальних, економічних, культурних та індивідуальних характеристик особистості. В умовах цифровізації та трансформації інформаційного середовища змінюються як способи доступу до літератури, так і читачькі вподобання, що потребує більш глибокого аналізу чинників, які визначають рівень читачький попит.

Сучасні підходи до дослідження читачького попиту передбачають використання формалізованих моделей, які дозволяють врахувати взаємозв'язки між факторами та оцінити їх відносну важливість. Особливого значення набуває застосування методів математичного моделювання, зокрема ієрархічних структур та семантичних мереж, що дають змогу систематизувати фактори впливу та визначити їх пріоритетність.

У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення узагальненої моделі, яка б відображала структуру впливу факторів на формування читачького попиту та дозволяла здійснювати його подальший аналіз і оптимізацію.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є комплексне дослідження методів факторного аналізу, що впливають на рівень читацького попиту, їх формалізація та побудова моделі пріоритетного впливу з використанням методів математичного моделювання, що дозволяє кількісно оцінити вагомість кожного фактора та встановити їх ієрархію.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено такі задачі:

- ідентифікувати та систематизувати сукупність факторів, що визначають рівень читацького попиту, з урахуванням соціальних, економічних та індивідуальних характеристик;
- здійснити змістовний аналіз кожного фактора та обґрунтувати його вплив на формування читацький попит;
- сформувати множину факторів та формалізувати їх взаємозв'язки;
- побудувати семантичну мережу, яка відображає структуру взаємодії факторів;
- застосувати метод математичного моделювання ієрархій для визначення рівнів пріоритетності факторів;
- провести уточнення отриманих результатів за допомогою методів ранжування та попарних порівнянь;
- визначити вагові коефіцієнти факторів та перевірити узгодженість отриманих оцінок;
- розробити та оптимізувати модель пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту;
- проаналізувати отриману модель з метою її подальшого використання для підтримки управлінських рішень у видавничо-поліграфічній галузі.

Основна частина

У межах даного дослідження основну увагу зосереджено на аналізі та формалізації факторів, що впливають на рівень читацького попиту. З огляду на складність та багатофакторність цього процесу, доцільним є використання системного підходу, який дозволяє врахувати взаємозв'язки між окремими чинниками та оцінити їхній сукупний вплив. Реалізуємо виокремлення ключових факторів, їх змістовний аналіз, а також побудову моделей, що відображають структуру та пріоритетність їх впливу на рівень читацького попиту.

Сформуємо перелік факторів впливу на рівень читацького попиту: X_1 – місце проживання; X_2 – рівень освіченості; X_3 – професія (рід занять); X_4 – контент, тематика книги; X_5 – наявність (доступність) літератури; X_6 – сім'я (роль сім'ї); X_7 – читацькі традиції; X_8 – соціальне становище [1, 2].

Місце проживання. Згідно з дослідженнями місце проживання здійснює неабиякий вплив на кількість прочитаних книжкових видань, та значно меншою – на обсяг читання періодичних видань. Розвиток онлайн торгівлі, мережі Інтернет

та цифрової грамотності сприятиме зменшенню впливу даного фактора на культуру читання, зокрема у невеликих населених пунктах. Згідно з даними іншого опитування важливим є не лише розмір населеного пункту, але й його географічне розташування з огляду на традиції читання. З розвитком глобалізації та цифровізації такий фактор як «місце проживання» може бути майже повністю нівельованим, що свідчитиме про позитивні зміни у суспільстві, однак зараз він все ще залишається актуальним не лише для України.

Розглянемо класифікацію населених пунктів в Україні згідно, де виокремлюють п'ять основних груп поділу міст за кількістю населення: найзначніші (крупніші) міста, в яких проживає більше 800 тис.; значніші (крупні) міста із населенням від 500 тис. до 800 тис.; великі – кількість мешканців від 250 до 500 тис.; середні – проживає від 50 до 250 тис.; малі – менше 50 тис. Схожим є поділ сільських населених пунктів: у найкрупніших проживає більше 5 тис.; у значніших (крупніших) кількість населення варіюється від 3 тис. до 5 тис.; у великих проживає від 0,5 до 3 тис.; у середніх – від 0,2 до 0,5 тис.; у малих – менше 0,2 тис. Група малих міст також включає селища міського типу.

Рівень освіченості. Книга є надзвичайно важливою при формуванні рівня освіти у суспільстві, тобто вона необхідна для отримання нових знань. З іншого боку, чим більше людей здобувають освіту впродовж життя, тим вищим є читацький попит. Згідно з Національною рамкою кваліфікації (НРК) виділено вісім кваліфікаційних рівнів освіти, що відображають навчання впродовж життя і співставлені із європейськими стандартами.

В процесі навчання впродовж усього життя, виникає необхідність читання задля отримання нових знань. В таких випадках, як правило, джерелом знань будуть не лише статті в мережі Інтернет, але й друковані чи електронні книжки. Таким чином, чим більша кількість населення здобуває освіту, тим вищим буде рівень зацікавленості книжковою продукцією. Крім того, здобування освіти, особливо вищої, формує сприятливе середовище спілкування, допомагає в пошуку однодумців, прививає читацькі традиції, що позитивно впливає на читацький попит. Не варто забувати і про рівень освіти батьків, які прививатимуть читацькі традиції своїм дітям. Отже, можна припустити, що фактор рівень освіченості, за сприятливих умов, здійснюватиме накопичувальний вплив на читацький попит. Згідно з кількістю людей із вищою освітою, що купують книги є більшою, ніж людей із нищим рівнем освіти. Слід також зазначити, що люди із вищою освітою намагаються більш раціонально підходити до купівлі книжок, а саме використовувати різноманітні акційні пропозиції. Зазвичай вони купують книги у мережевих книжкових магазинах, у інтернет-магазинах та на книжкових виставках [3, 5].

Професія (рід занять). Професією є вид діяльності, яку здійснює людина, застосовуючи спеціальні навички та знання, отримані в процесі навчання та завдяки досвіду. Протягом професійної діяльності з'являється потреба у нових знаннях, яку можна задовільнити завдяки читання. Така необхідність безперечно залежить від типу професії.

Існує чимало класифікацій професій. Однією з відомих є класифікація за ступенем самостійності людини. Інший підхід до класифікації професій полягає у диференціації за переважаючими професійними цінностями: цінностями спілкування, інтелектуальної, практико-технічної, художньої, соматичної, матеріальної (економічної) активностями. Дж. Голланд розрізняв професії за професійним середовищем і вбачав основну мету класифікації у допомозі правильно обрати професію, опираючись на виявленні основних складових спрямованості особистості. Таким чином, він виокремлював такі типи особистості: реалістичний, інтелектуальний, соціальний, конвенційний, підприємливий, артистичний. За наступною методикою здійснюється поділ професій на п'ять типів, залежно від предметів праці: «людина – природа», «людина – техніка», «людина – людина», «людина – знакова система», «людина – художній образ» та за метою праці: гностична, перетворююча, пошукова (дослідницька). Розглянемо цю класифікацію детальніше, адже, на нашу думку, вона найбільше відповідає меті дослідження [4, 5].

Гностичні професії передбачають дослідження, визначення, перевірку, оцінювання, розуміння складних явищ, сортування тощо. Перетворюючі професії пов'язані з перетворенням предмету праці, зокрема із його опрацюванням, обслуговуванням, переміщенням тощо. При чому перетворююча діяльність може бути як прямою (під час безпосередньої дії на об'єкт праці), так і опосередкованою (діяльність спрямована на види енергії, інформацію та ін.). До пошукових (дослідницьких) професій відносяться професії практичної праці. Метою праці при цьому може бути здійснення винаходу, знаходження нового варіанту, конструювання чогось тощо. До цього класу відноситься найменша кількість професій [2, 6, 7].

Згідно із соціологічним дослідженням [1, 7], українці вважають що приймають важливі рішення не лише у юності, а й впродовж життя. Зокрема ці рішення стосуються вибору чи зміни професії. При цьому із художньої літератури люди отримують важливі життєві уроки, які згодом так чи інакше впливають на їхні рішення. Хоча із значним впливом художньої літератури на життя погоджуються далеко не усі. Натомість майже усі опитані відзначають роль психологічної, прикладної та історичної літератури у самореалізації, самовдосконаленні та самоідентифікації [2, 10].

Контент, тематика книги. Згідно з дослідженнями [10] основними критеріями вибору книги для читання для дорослих читачів є рекомендації друзів (34%), автор (24%), анотація до книжки (18%), мова книжки (12%), огляди на книжкових сайтах та відгуки (по 11%), що підтверджує важливість виокремленого фактору [4, 11].

Розглянемо вікові особливості надання переваги певним літературним жанрам серед дітей. Розділимо дітей-читачів на три вікові групи: 6-9 років, 10-13 років, 14-17 років. Наймолодша вікова група надає перевагу книжкам для дітей (80%), що значно переважає інші жанри, в тому числі і підручники. У віці 10-13 років зацікавлення дитячими книжками стрімко падає (31%), натомість

з'являється цікавість до літератури для підлітків (39%), фантастики та фентезі (32%). Діти старшої вікової групи не проявляють особливої цікавості до літератури для підлітків (25%), однак читають фантастику та фентезі (38%), класику (22%), детективи (21%), книжки із саморозвитку та психології (17%), науково-популярну літературу, любовні та сучасні романи (по 14%).

Згідно з даними, оприлюдненими Книжковою палатою України [4] у 2022 році було видано 9691 друк. од. книг та брошур, 858 друк. од. образотворчих видань, 65 друк. од. картографічних видань, 111 друк. од. нотних видань. Книги та брошури становлять 90% від усієї випущеної продукції, образотворчі видання – 8%, картографічні та нотні видання – по 1% [4, 5].

Найчисельнішими за випуском є такі тематичні розділи книжкових видань: політичні та соціально-економічні науки (23%), художня література/фольклор (21%), література з освіти та культури (14%), технічна література (14%) та література для дітей (11%). На решту тематичних розділів в сумі припадає приблизно 17% [4, 6].

Проаналізуємо також випуск книг і брошур за цільовим призначенням: навчальні та методичні видання – 25% від загальної кількості видань, літературно-художні видання – 21%, наукові видання – 18%, видання для дітей та юнацтва – 11%, офіційні видання – 10%, науково-популярні видання – 9%. Інші видання у сумі становлять майже 6% [4, 8].

Наявність (доступність) літератури. Доступність книг забезпечується наявністю книгарень, бібліотек, мережі Інтернет та електронного примірника певної книги, наявністю україномовного перекладу для іноземних видань тощо [4]. Міське населення зазвичай купує книги у книгарнях чи книжкових відділах у супермаркетах. Сільське населення купує книжки коли їде до міста або ж робить це через Інтернет. Одразу бачимо неабиякий зв'язок із наявністю мережі Інтернет у сільській місцевості та доступності книжкової продукції, а також нестачу книгарень. Велика кількість людей як у містах, так і у селах є членами книжкового клубу, який передбачає передплату [4, 10]. Окрім купівлі, отримання книжок може здійснюватися шляхом обміну із друзями чи знайомими, використання домашньої чи публічної бібліотеки [11], за допомогою буккросингу [13, 14]. При цьому, публічні бібліотеки найчастіше згадуються читачами з сільської місцевості. Позитивним явищем з точки зору доступності книг у сільській місцевості є функціонування нестационарних (пересувних) бібліотек, бібліотечних пунктів тощо та наявності комп'ютерів із доступом до Інтернету в публічних бібліотеках [11].

Слід зазначити, що популяризація електронних книг сприяє доступності літератури, адже потребує лише доступу до мережі Інтернет для читання чи завантаження на певний пристрій. Ще кілька років тому, із появою електронних видань, багато експертів пророкували стрімке падіння випуску друкованих книг.

Цього не відбулося у значних масштабах. Однак це явище справді має деякий негативний вплив на видавничо-поліграфічну галузь з точки зору саме друкування книг. Існують прихильники обох форматів. Слід зазначити, що

друкованим виданням надають перевагу більше людей, ніж електронним. Серед переваг паперових книжок називають приємність на дотик, можливість гортати сторінки та відчувати запах паперу. Тобто така книга створює певну атмосферу читання і є чимось більш значущим і вартим уваги, ніж той самий текст на електронному пристрої. До переваг електронних книжок можна віднести те, що такі книги не займають багато місця і вони завжди під руками. Найкращим варіантом з точки зору доступності є наявність як друкованих книг, та і їх електронних варіантів [2, 4].

Згідно дослідження [9] від 1 до 5 друкованих книг прочитали 39% опитаних, а купували – лише 23%, від 6 до 10 прочитали 12% (купували 7%) і 38% не прочитало жодної (66% не купувало жодної). 17% респондентів читали від 1 до 5 електронних книжок протягом року, 5% – від 6 до 10 і 73% не прочитали жодної. Всього 2% здійснювали купівлю електронних книжок [17].

Важливим чинником доступності є також мова видання. Знання читачами інших мов (англійської, німецької та ін.) лише підвищує ступінь доступності, адже дозволяє читати книги мовою оригіналу, не чекаючи на вихід українського перекладу (тут зазвичай мова йде про електронні книги). Таким чином, бачимо пряму залежність рівня освіти читачів та доступності книг для читання [9, 13].

Сім'я (роль сім'ї). Завдяки родині ще на ранніх етапах життя у людини може сформуватися звичка до читання [14, 15]. Професія та рівень освіти батьків здійснюють неопосередкований вплив на зацікавленість книгами. Згідно з дослідженням [3] одним з основних факторів читання є вплив сім'ї. Опитування учнів п'ятого класу показало, що добровільне читання переважно зустрічається серед тих дітей, чиї батьки читали їм вголос, використовували читання задля розваги, обговорювали прочитані книги [3].

Читацькі традиції. Читацькі традиції в Україні варто оцінювати в контексті двох-трьох поколінь. Сьогодні можемо спостерігати зменшення кількості бібліотек та книжок у володінні сімей. Якщо аналізувати рівень споживання лише друкованих видань, то можна було б стверджувати про послаблення нетривких читацьких традицій. Однак, не слід забувати про читання електронних книжок та інших текстів у мережі Інтернет, поява та розповсюдження яких здійснює неабиякий вплив на зменшення кількості паперових примірників. Наприклад, у 2018 році 42,5% видавництв займалися випуском не лише книжкових, а й електронних видань. Майже для 5% видавництв електронні книги становили понад 75% асортименту. Схожа тенденція відслідковується при аналізі продажів книг на Amazon: у США 42% від загального обсягу продажів 2016 року припало на електронні видання. Отже, розвиток читацьких традицій не припиняється, попри скорочення накладів книжкових видань, однак читання залишається однією з стратегічних проблем видавничої галузі [2, 10].

Соціальне становище. Безперечно, купівля книжкової продукції потребує необхідних коштів, які не призначалися для задоволення основних потреб, таких як їжа, ліки, оплата комунальних послуг тощо. Втім, не варто забувати про існування можливості безоплатного читання за допомогою бібліотек чи мережі

Інтернет. У термін «соціальне становище» варто вкладати не лише фінансову складову. Соціальне становище можна описати за певним статутним набором. Основним вважається статус, який характеризує стиль життя людини, поведінку, коло спілкування і т. ін. [18,19].

Розроблення семантичної мережі та моделей пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту

Представимо множину факторів впливу на рівень читацького попиту [2]:

$$X = \left\{ \begin{array}{l} x_1 - \text{місце проживання;} \\ x_2 - \text{рівень освіченості;} \\ x_3 - \text{професія (рід занять);} \\ x_4 - \text{контент, тематика книги;} \\ x_5 - \text{наявність (доступність) літератури;} \\ x_6 - \text{сім'я (роль сім'ї);} \\ x_7 - \text{читацькі традиції;} \\ x_8 - \text{соціальне становище.} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Враховуючи (1) та результати експертного опитування, розробимо семантичну мережу, що демонструє взаємозв'язки між виокремленими факторами (рис. 1).

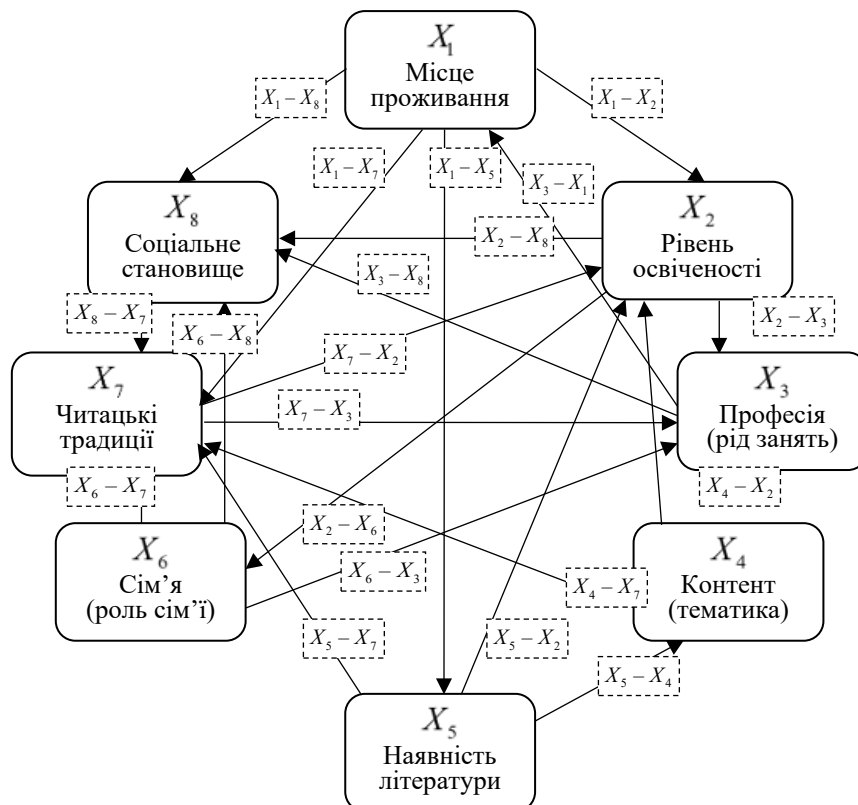


Рисунок 1 – Семантична мережа факторів впливу на рівень читацького попиту

Означимо впливи кожного фактора: $X_1 - X_2$ – формує; $X_1 - X_5$ – створює передумови; $X_1 - X_7$ – формує; $X_1 - X_8$ – обумовлює; $X_2 - X_3$ – визначає;

$X_2 - X_6$ – формує; $X_2 - X_8$ – обумовлює; $X_3 - X_1$ – обумовлює; $X_3 - X_8$ – визначає; $X_4 - X_2$ – формує; $X_4 - X_7$ – формує; $X_5 - X_2$ – створює передумови; $X_5 - X_4$ – визначає; $X_5 - X_7$ – обумовлює; $X_6 - X_3$ – впливає на вибір; $X_6 - X_7$ – формує; $X_6 - X_8$ – визначає; $X_7 - X_2$ – обумовлює; $X_7 - X_3$ – впливає на вибір; $X_8 - X_7$ – створює передумови [2, 10, 13, 15].

На рис. 1. подано запроєктовану семантичну мережу факторів впливу на рівень читацького попиту.

Для формалізованого представлення взаємозв'язків між факторами використано конструкції мови предикатів:

$(\forall X_i) [\exists (X_1, \text{місце проживання}) \leftarrow \text{формує } (X_1, X_2) \wedge \text{створює передумови } (X_1, X_5) \wedge \text{формує } (X_1, X_7) \wedge \text{обумовлює } (X_1, X_8) \wedge \text{обумовлюється } (X_1, X_3)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_2, \text{рівень освіченості}) \leftarrow \text{визначає } (X_2, X_3) \wedge \text{формує } (X_2, X_6) \wedge \text{обумовлює } (X_2, X_8) \wedge \text{формується } (X_2, X_1) \wedge \text{формується } (X_2, X_4) \wedge \text{створюється } (X_2, X_5) \wedge \text{обумовлюється } (X_2, X_7)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_3, \text{професія (рід занять)}) \leftarrow \text{обумовлює } (X_3, X_1) \wedge \text{визначає } (X_3, X_8) \wedge \text{визначається } (X_3, X_2) \wedge \text{обирається залежно від } (X_3, X_6) \wedge \text{обирається залежно від } (X_3, X_7)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_4, \text{контент, тематика}) \leftarrow \text{формує } (X_4, X_2) \wedge \text{формує } (X_4, X_7) \wedge \text{визначається } (X_4, X_5)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_5, \text{наявність (доступність) літератури}) \leftarrow \text{створює передумови } (X_5, X_2) \wedge \text{визначає } (X_5, X_4) \wedge \text{обумовлює } (X_5, X_7) \wedge \text{створюється } (X_5, X_1)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_6, \text{сім'я (роль сім'ї)}) \leftarrow \text{впливає на вибір } (X_6, X_3) \wedge \text{формує } (X_6, X_7) \wedge \text{визначає } (X_6, X_8) \wedge \text{формується } (X_6, X_2)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_7, \text{читацькі традиції}) \leftarrow \text{обумовлює } (X_7, X_2) \wedge \text{впливає на вибір } (X_7, X_3) \wedge \text{формується } (X_7, X_1) \wedge \text{формується } (X_7, X_4) \wedge \text{обумовлюється } (X_7, X_5) \wedge \text{формується } (X_7, X_6) \wedge \text{створюється } (X_7, X_8)]$;

$(\forall X_i) [\exists (X_8, \text{соціальне становище}) \leftarrow \text{створює передумови } (X_8, X_7) \wedge \text{обумовлюється } (X_8, X_1) \wedge \text{обумовлюється } (X_8, X_2) \wedge \text{визначається } (X_8, X_3) \wedge \text{визначається } (X_8, X_6)]$ [2, 6].

Для встановлення рівнів пріоритетності факторів на основі семантичної мережі використаємо метод математичного моделювання ієрархій. На основі синтезованої семантичної мережі побудуємо матрицю досяжності табл. 1.

Результати першої ітерації продемонструємо у табл. 2.

Внаслідок виконання першого кроку ітерації бачимо, що фактору X_1 (місце проживання) належить перший рівень пріоритетності. Відобразимо подальші ітераційні процеси у табл. 3 і табл. 4.

Таблиця 1– Матриця досяжності

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1	1	1	1	1	1	1	1
X_2	1	1	1	0	0	1	1	1
X_3	1	1	1	0	1	0	1	1
X_4	0	1	1	1	0	1	1	1
X_5	0	1	1	1	1	1	1	1
X_6	1	1	1	1	0	1	1	1
X_7	1	1	1	0	0	1	1	1
X_8	0	1	1	0	0	0	1	1

Таблиця 2 – Перша ітерація

i	$K(X_i)$	$L(X_i)$	$K(X_i) \cap L(X_i)$
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 6, 7	1, 2, 3, 6, 7 ←
2	1, 2, 3, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 6, 7, 8
3	1, 2, 3, 5, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 5, 7, 8
4	2, 3, 4, 6, 7, 8	1, 4, 5	4
5	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 3, 5	3, 5
6	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8	1, 2, 4, 5, 6, 7	1, 2, 6, 7
7	1, 2, 3, 6, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 2, 3, 6, 7, 8
8	2, 3, 7, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	2, 3, 7, 8

Таблиця 3– Рівні ітерації

i	$K(X_i)$	$L(X_i)$	$K(X_i) \cap L(X_i)$
2	8	4, 5, 8	8
3	5, 8	4, 5, 8	5, 8
4	4, 8	4, 5	4
5	4, 5, 8	5	5 ←
6	4, 8	4, 5	0
7	8	4, 5, 8	8
8	8	4, 5, 8	8

Внаслідок виконання другого рівня ітерації бачимо, що другий рівень пріоритетності належить фактору X_5 (наявність літератури). Продовжуємо ітерацію [12].

Таблиця 4 – Результати ітераційного обчислення

i	$K(X_i)$	$L(X_i)$	$K(X_i) \cap L(X_i)$
2	8	4, 8	8
3	8	4, 8	8
4	4, 8	4	4 ←
6	4, 8	4	4 ←
7	8	4, 8	8
8	8	4, 8	8

Послуговуючись отриманими даними, синтезуємо модель пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту (рис. 2) [2, 6].

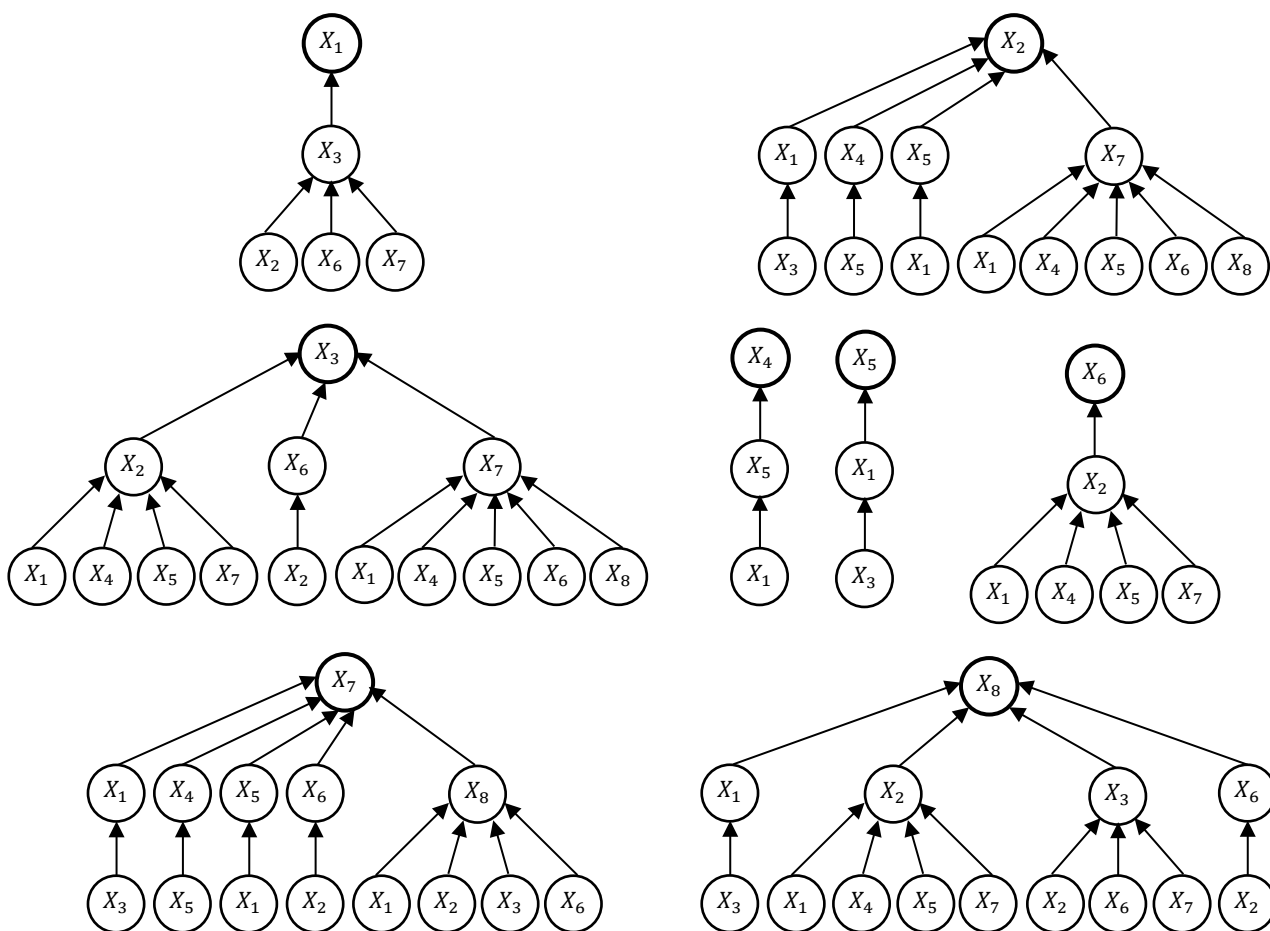


Рисунок 4 – Ієрархічні дерева залежностей факторів читацький попит

Для подальших обчислень приймемо умовні значення вагових коефіцієнтів зв'язків між факторами в умовних одиницях:

$$w_1 = 10, w_2 = 5, w_3 = -10, w_4 = -5.$$

Таблиця 5 – Результати ранжування факторів читацький попит [14]

Фактор, j	k_{1j}	k_{2j}	k_{3j}	k_{4j}	X_{1j}	X_{2j}	X_{3j}	X_{4j}	X_{Fj}	Ранг	Пріоритетність
1	4	9	1	3	40	45	-10	-15	150	8	1
2	3	6	4	8	30	30	-40	-40	70	4	5
3	2	5	3	10	20	25	-30	-50	55	3	6
4	2	4	1	1	20	20	-10	-5	115	6	4
5	3	7	1	1	30	35	-10	-5	140	7	2
6	3	6	1	4	30	30	-10	-20	120	5	3
7	2	5	5	8	20	25	-50	-40	45	2	7
8	1	2	4	9	10	10	-40	-45	25	1	8

На основі отриманих даних побудуємо уточнену модель пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту (рис. 5).

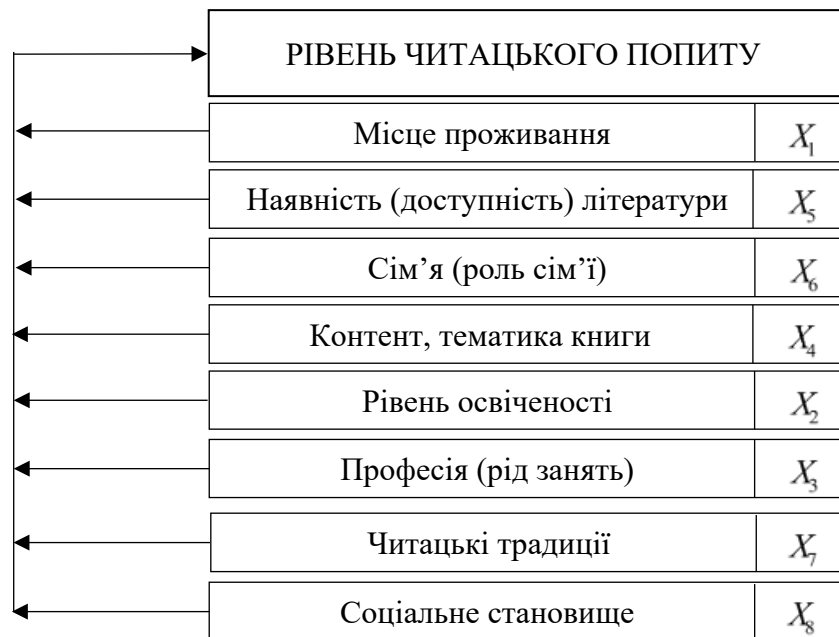


Рисунок 5 – Модель пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту

За допомогою методу ранжування вдалося з'ясувати вагові значення факторів та уточнити їх пріоритетність. Таким чином, найвищий пріоритет належить фактору X_1 (місце проживання). Наступним є фактор X_5 (наявність (доступність) літератури). За методом математичного моделювання ієрархій третю пріоритетність розділяли два фактори: фактор X_4 (контент, тематика книги) та фактор X_6 (сім'я (роль сім'ї)). Ранжування дозволило встановити, що фактор X_6 (сім'я (роль сім'ї)) є пріоритетнішим, ніж фактор X_4 (контент, тематика книги). Аналогічно визначена така пріоритетність останніх чотирьох факторів: X_2 (рівень освіченості), потім X_3 (професія (рід занять)), X_7 (читацькі традиції), X_8 (соціальне становище) [14, 16].

Результати досліджень

Оптимізація моделі пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту

Представимо матрицю попарних порівнянь у табличному вигляді (табл. 6.)

Таблиця 6 – Матриця попарних порівнянь факторів формування читацького попиту [2]

Фактори	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1	6	7	5	3	4	8	9
X_2	1/6	1	2	1/3	1/5	1/5	5	6
X_3	1/7	1/2	1	1/5	1/6	1/6	3	5
X_4	1/5	3	5	1	1/4	1/3	5	7
X_5	1/3	5	6	4	1	3	7	8
X_6	1/4	5	6	3	1/3	1	7	8
X_7	1/8	1/5	1/3	1/5	1/7	1/7	1	2
X_8	1/9	1/6	1/5	1/7	1/8	1/8	1/2	1

Елементи головної діагоналі матриці будуть дорівнювати одиниці. Решту елементів отримуємо завдяки порівнянню факторів першого стовпця та першого рядка [3, 6].

У результаті обчислень отримаємо головний власний вектор:

$$X = (4,542; 0,777; 0,527; 1,311; 3,008; 2,127; 0,301; 0,212) [2].$$

Також знаходимо нормалізований вектор:

$$X_n = (0,354; 0,062; 0,042; 0,102; 0,238; 0,160; 0,023; 0,016) [2].$$

Знайшовши добуток між елементами нормалізованого вектора та коефіцієнтом масштабування ($k=500$), отримаємо:

$$X_n \times k = (177; 31; 21; 51; 119; 80; 11,5; 8) [2].$$

Помножимо елементи матриці попарних порівнянь на вектор X_n для одержання оцінки узгодженості:

$$X_{n1} = (3,225; 0,541; 0,367; 0,914; 2,121; 1,405; 0,204; 0,145) [2].$$

Ділимо компоненти X_{n1} на відповідні компоненти вектора X_n :

$$X_{n2} = (9,092; 8,691; 8,725; 8,930; 8,897; 8,769; 8,670; 9,008) [2].$$

Максимальне власне значення МПП обчислюється як середнє арифметичне X_{n2} : $\lambda_{max} = 8,85$. При цьому, рішення оцінюється за індексом узгодженості: $IU = 0,12$ [2].

Перевіривши нерівність $IU < 0,1 \times XI$ бачимо, що результати задовільні, адже $0,12 < 0,1 \times 1,41$. Додаткове оцінювання результатів здійснюється на основі даних про відношення узгодженості, яке для заданої задачі становить: $XU = 0,08$. Отримані критерії дають підстави стверджувати про адекватність виконаних попарних порівнянь.

Нехай фактори матимуть певні умовні вагові значення, визначені порядком їх розміщення у моделі (рис. 5), тоді [2]:

$$\begin{aligned} X_8 &= 20, \quad X_7 = 40, \quad X_3 = 60, \quad X_2 = 80, \\ X_4 &= 100, \quad X_6 = 120, \quad X_5 = 140, \quad X_1 = 160. \end{aligned}$$

Упорядкуємо дані за порядком відображення у моделі попарних порівнянь:

$$\begin{aligned} X_1 &= 160, \quad X_2 = 80, \quad X_3 = 60, \\ X_4 &= 100, \quad X_5 = 140, \quad X_6 = 120, \quad X_7 = 40, \quad X_8 = 20. \end{aligned}$$

Отримаємо компоненти вихідного вектора X_0 :

$$X_0 = (160; 80; 60; 100; 140; 120; 40; 20).$$

Занесемо у таблицю 7 значення вихідного та адаптованого векторів.

Таблиця 7 – Вагові значення факторів рівня читацький попит [2]

i	1	2	3	4	5	6	7	8
X_0	160	80	60	100	140	120	40	20
$X_n \times k$	177	31	21	51	119	80	11,5	8

На рисунках 6, 7 відображено графічне представлення вагових значень факторів для формування читацького попиту.

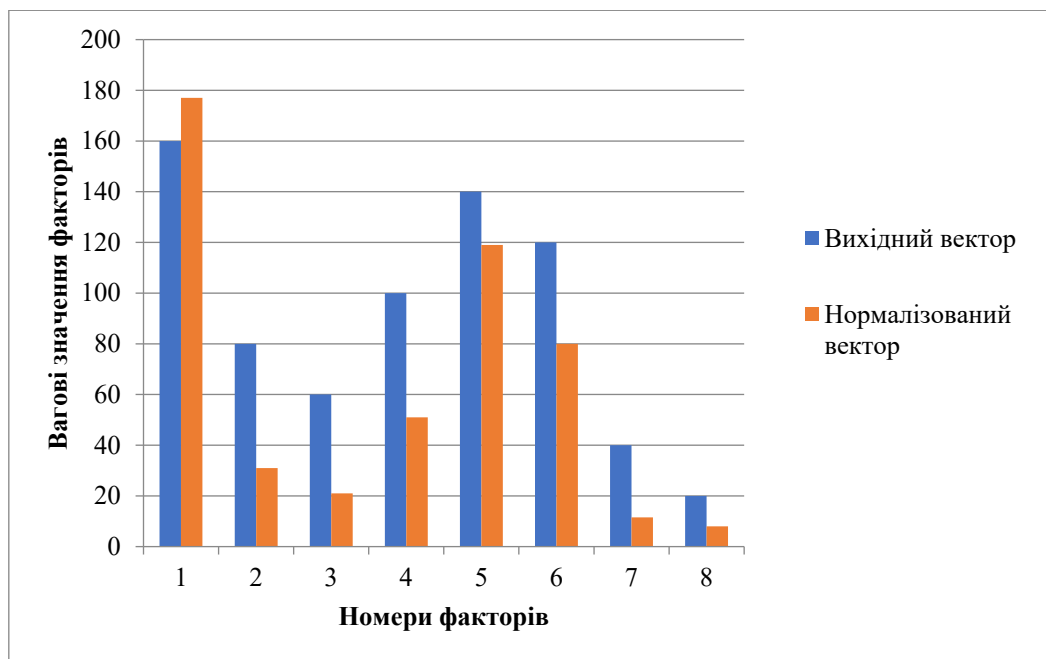


Рисунок 6 – Гістограма вагових значень факторів

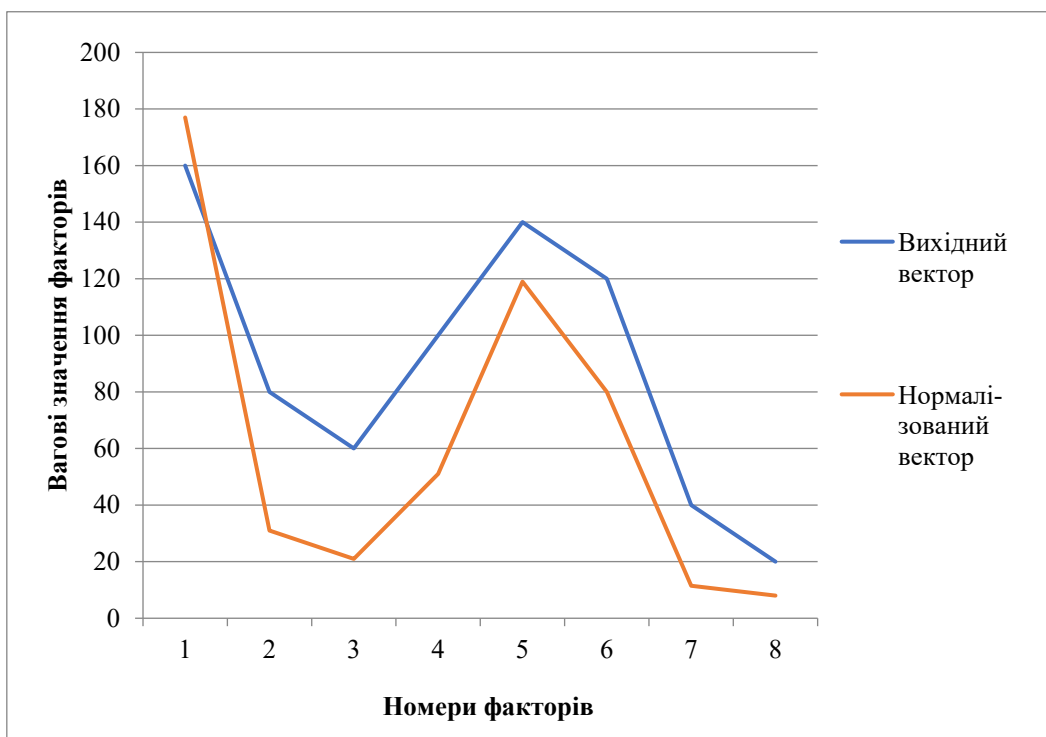


Рисунок 7 – Графік вагових значень факторів

Результатом є оптимізована модель пріоритетного впливу факторів на формування рівня читацького попиту (рис. 8) [2, 6, 17].

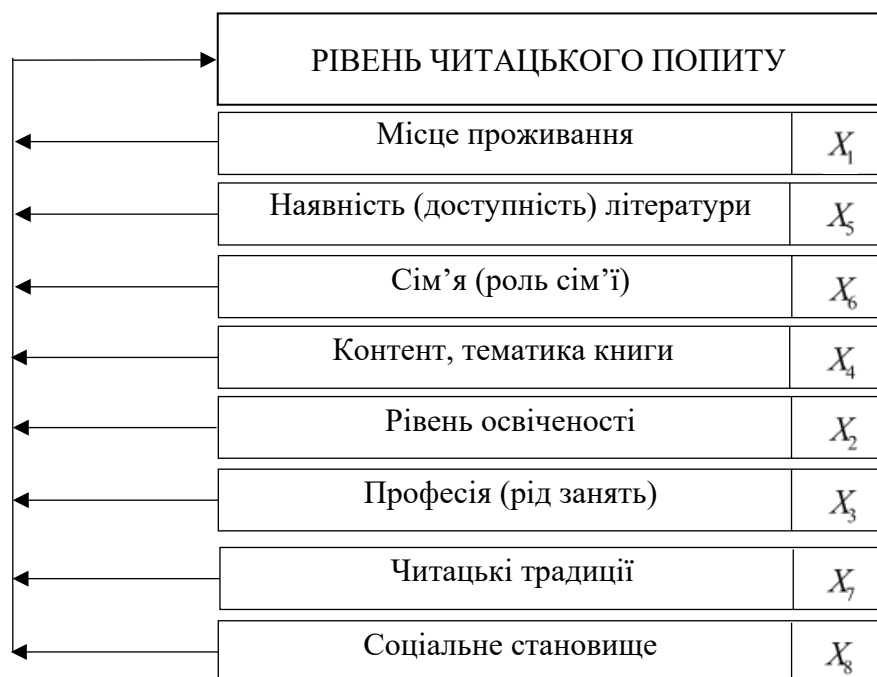


Рисунок 8 – Оптимізована модель пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту

Проектування та оптимізація моделі пріоритетного впливу факторів на рівень читацького попиту дозволяє кількісно оцінити їх вагомість, встановити ієрархію та забезпечити обґрунтовану підтримку прийняття рішень у видавничо-поліграфічній галузі.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що рівень читацького попиту формується під впливом складної системи взаємопов'язаних соціальних, економічних, культурних та індивідуальних чинників. Використання системного підходу дало змогу не лише ідентифікувати ключові фактори, але й формалізувати їх взаємодію та визначити відносну вагомість кожного з них.

Отримані результати свідчать, що визначальним фактором є місце проживання, яке безпосередньо впливає на доступ до книжкової інфраструктури, культурного середовища та інформаційних ресурсів. Важливу роль також відіграє доступність літератури, що охоплює як фізичну наявність друкованих видань, так і можливість користування електронними ресурсами. Це підтверджує, що розвиток інфраструктури та цифрових технологій є ключовим чинником підвищення читацької активності.

Значний вплив на формування читацького попиту здійснюють контент і тематика книг, а також сімейне середовище, яке закладає основи читацької культури з раннього віку. Саме через сім'ю формуються первинні читацькі звички та ставлення до книги, тоді як зміст літератури визначає безпосередній вибір читача відповідно до його інтересів і потреб. Інші фактори, зокрема рівень

освіченості, професія, читацькі традиції та соціальне становище, мають опосередкований і накопичувальний вплив, формуючи загальний контекст споживання книжкової продукції.

Застосування методів математичного моделювання, включаючи побудову семантичної мережі, ієрархічний аналіз та метод попарних порівнянь, дозволило отримати узгоджену модель пріоритетного впливу факторів. Перевірка узгодженості підтвердила її адекватність і надійність, що свідчить про можливість використання отриманих результатів у практичній діяльності.

У цілому, запропонована модель має важливе прикладне значення, оскільки створює основу для більш точного прогнозування читацького попиту та підвищення ефективності управлінських рішень у видавничо-поліграфічній галузі. Вона демонструє, що розвиток читацької активності потребує комплексного підходу, який поєднує вдосконалення доступу до літератури, підтримку читацьких традицій і адаптацію контенту до сучасних потреб суспільства.

Список літератури.

1. Сеньківський, В.М., Піх, І.В., Кудряшова, А.В., Сеньківська, Н.Є., & Калиній, І.В. (2021). Оптимізація моделі факторів читацького попиту на книгу. Поліграфія і видавнича справа, 1(81), 11-20.
2. Senkivskyy, V., Babichev, S., Pikh, I., Kudriashova, A., Senkivska, N., & Kalynii, I. (2021). Forecasting the reader's demand level based on factors of interest in the book. International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems (CITRisk'2021). (p. 176-191).
3. Сеньківський, В.М., & Кудряшова, А.В. (2022). Моделі інформаційної технології проектування післядрукарських процесів. Монографія. Львів. УАД.
4. Сеньківський, В.М., Піх, І.В., & Кудряшова, А.В. (2021). Моделі факторів прототипування веб-ресурсу. На шляху до індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація (с. 340-354). Астропринт.
5. Сеньківський, В.М., Піх, І.В., & Кудряшова, А.В. (2022). Теоретичні основи інформаційної технології прогностичного оцінювання якості проектування післядрукарських процесів. New information technologies, simulation and automation (p. 44-138). Iowa State University Digital Press.
6. Дурняк, Б.В., Піх, І.В., & Сеньківський, В.М. (2022). Теоретичні основи інформаційної концепції формування та оцінювання якості видавничо-поліграфічних процесів. Монографія. Львів. УАД.
7. Sharko, M., Liubchuk, O., Krapivina, G., Petrushenko, N., Gonchar, O., Vorobyova, K., & Vasylenko, N. (2022). Information technology to assess the enterprises' readiness for innovative transformations using Markov chains. Intellectual Systems of Decision Making and Problem of Computational Intelligence. (p. 197-213). Springer International Publishing.
8. Сявавко, М.С. (2007). Інформаційна система «Нечіткий експерт». Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.
9. Локшина, О.І. (2021). Формування ключових компетентностей для навчання впродовж життя: орієнтири Європейського Союзу. Компетентнісно орієнтоване навчання: виклики та перспективи. (с. 102-104).
10. Chymkowski, R., & Zasacka, Z. (2022). Stan czytelnictwa książek w Polsce w pierwszym kwartale 2022 roku: Wstępne wyniki. <https://www.bn.org.pl/download/document/1650570549.pdf>.

11. Піх, І.В., Сеньківський, В.М., & Кудряшова, А.В. (2023). Проєктування інтерактивного електронного підручника. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан. (с. 110-128). ТОВ «Друкарня Мадрид».
12. Сеньківський, В.М., Піх, І.В., Кудряшова, А.В., Литовченко, О.В., & Білик, О.З. (2023). Методологічні засади формування якості програмного забезпечення (частина 2: оптимізація моделі факторів якості програмного забезпечення). Поліграфія і видавнича справа, 1(85), 11-21.
13. Радкевич, О., & Радкевич, О. (2021). Становлення та розвиток навчання впродовж життя. Colloquium-Journal, 1(88), 65-69.
14. Бондаренко, В.І. (2021). Мобільна бібліотека: вплив інноваційних технологій на терміносистему. Norwegian Journal of Development of the International Science, 63(2), 3-7.
15. Boiarska-Khomenko, A.V. (2021). Lifelong education as the basis of sustainable development of the European society. Theory and Methods of Teaching and Education, 50, 9-18.
16. Дмитрук, Д.А., & Левін, Р.Я. (2019). Роль навчання впродовж життя у формуванні людського капіталу. Український соціум, 4, 54-72.
17. Одошевська, Є.С., & Бобирева, О.С. (2022). Пріоритет впливу стилю сімейного виховання на формування особистості дитини. Наука майбутнього: збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих вчених, 1(9), 116-120.
18. Атаманюк, З.М. (2022). Національно орієнтована освіта в Україні. Перспективи. Соціально-політичний журнал, 1, 64-70.
19. Бондаренко, Н. (2023). «Читання як життєва стратегія»: реалізація державної політики книгочитання-2032 у підручникотворенні. Проблеми сучасного підручника, 30, 19-31.

АНАЛІЗ ТА ВИОКРЕМЛЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПРОЦЕС НАНЕСЕННЯ ШРИФТУ БРАЙЛЯ НА ПАКОВАННЯ

Хамула О.Г.

к.т.н., професор, кафедра мультимедійних технологій,
Інститут поліграфії та медійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0926-9156

Васюта С.П.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій,
Інститут поліграфії та медійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0079-9740

Угрин Я.М.

к.т.н., доцент,
кафедра комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах,
Інститут поліграфії та медійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-1449-5342

***Анотація.** У розділі узагальнено нормативні, технологічні та методичні аспекти формування рельєфно-крапкового шрифту Брайля на картонному й паперовому пакуванні. Запропоновано структурну модель взаємозв'язків між матеріальними, інструментальними, технологічними та антропогенними чинниками. На основі методу аналізу ієрархій Саати визначено вагомість параметрів, що впливають на читабельність і стабільність рельєфу, та сформульовано практичні орієнтири для контролю якості тиснення.*

***Ключові слова:** шрифт Брайля, пакування, тиснення, метод аналізу ієрархій, якість рельєфу, доступність.*

Вступ

Швидкий поступ цифровізації суспільства кардинально трансформує очікування до друкованих матеріалів, упаковок, а також методів презентації відомостей. Нинішня тара не просто оберігає вміст та передає повідомлення, а й слугує засобом подачі життєво необхідної інформації для різноманітних категорій покупців. З огляду на це, технології, що залучають відчуття дотику, стають надзвичайно важливими, особливо це стосується нанесення шрифту Брайля на зовнішню обгортку медикаментів, виробів для здоров'я та іншої продукції, що має суспільну вагу.

Для осіб, що мають вади зору, шрифт Брайля на поверхні товару – це не просто прикраса, а життєво важливий інструмент для самостійного розпізнавання цього продукту. Точне відображення найменування медикаменту,

його дози чи типу лікарської форми значно знижує вірогідність хибного застосування й суттєво поліпшує безпеку тих, хто ним користується [7, 8]. З огляду на це, якість виготовлення цих рельєфних точок охоплює аспекти друкарського мистецтва, організації робочого місця (ергономіки), дотримання норм, забезпечення загальної доступності та прояву соціальної сумлінності з боку виробника [3].

У межах європейської нормативної традиції, вимогу про нанесення назви медичного препарату шрифтом Брайля на його обгортку було закріплено завдяки положенням Директиви 2004/27/ЕС [4], яка внесла зміни до законодавчого регулювання медикаментів для використання людьми.

Згодом цю сферу деталізували профільні стандарти EN 15823 [1, 2] та ISO 17351 [5], котрі визначають конкретні критерії та рекомендації стосовно використання шрифту Брайля на упаковках лікарських засобів. В Україні ж подібні приписи інтегрували через окремий Порядок маркування лікарських засобів шрифтом Брайля, а також через узгоджені стандарти, зокрема ДСТУ ISO 17351:2018 [6].

Хоча законодавча база присутня, фактичний ґатунок тактильної розмітки детермінований сукупним впливом низки чинників. Вибір матеріалу для пакування, будова пари «інструмент-деталь», конфігурація окремих точок, ступінь та спосіб натискання, кліматичні умови на виробництві, а також те, як рельєф витримує транспортування разом із майстерністю працівника – усе це складає цілісну виробничу систему. Особливість цієї системи полягає у взаємозалежності елементів: якщо картон стає твердішим, необхідно налаштувати силу натиску, зношення робочої форми призводить до видозміни контуру точки, а коливання рівня вологи прямо впливає на здатність матеріалу до деформації.

Ось чому для покращення процесу штампування на підставі наукових даних простого переліку окремих чинників буде замало. Потрібно створити структурну модель, що відображає зв'язки між цими елементами, з'ясувати, які саме фактори мають пріоритет у впливі, а також визначити числові показники важливості критеріїв. Завдяки застосуванню такої методології можна замінити хаотичне підлаштування устаткування на системне управління контролем якості отриманого рельєфу.

Мета та задачі дослідження

Завданням цього дослідження постає створення структурованої моделі, що відображатиме, яким чином технологічні чинники впливають на процес формування та подальшої стійкості шрифту Брайля, нанесеного на пакувальні матеріали. Крім того, планується встановити порівняльну важливість основних елементів, використовуючи при цьому методику попарного порівняння Сааті (аналіз ієрархій).

Шрифт на пакованні – це не просто спосіб подачі інформації, а ключовий елемент у створенні інклюзивного дизайну, який дає змогу людям із вадами зору самостійно розпізнавати товари.

У зв'язку з цим, у наукових працях та галузевих публікаціях активно вивчають різноманітні методи друку рельєфно-крапкового тексту (relief «dots/points») на різних пакувальних матеріалах – від картону й паперу до полімерних і багатошарових плівок. Від того, яку технологію оберуть, безпосередньо залежатимуть такі чинники, як легкість читання, стійкість у часі, фінансові витрати на виробництво, обсяги тиражування, а також загальна екологічність всього пакування.

У більшості наукових праць дослідники зазвичай розмежовують окремі категорії технологій: це механічна обробка через тиснення чи конгравне формування, методи нанесення зображення (трафаретний, цифровий, струменевий друк), технології нарощування (адитивні / 3D), а також інтегровані рішення (застосування лаків, тонера, специфічних плівок чи самоклеючих елементів).

У межах реалізації визначеного завдання планується виконати низку кроків:

- дослідити чинні нормативні вимоги, що стосуються використання шрифту Брайля на пакувальній продукції;
- упорядкувати технологічні аспекти та матеріальні фактори, які формують рельєфність;
- встановити сукупність показників, від яких залежить ступінь якості нанесених крапок;
- розробити спрямований граф, що відображає причинно-наслідкові залежності між цими показниками;
- створити матрицю для попарного зіставлення, використовуючи шкалу Сааті;
- обчислити вагові значення для кожного критерію та здійснити перевірку консистентності оцінок, наданих експертами;
- сконструювати ієрархічну модель впливів та напрацювати практичні настанови для моніторингу якості процесу ембосування.

Об'єктом дослідження є процес створення рельєфно-крапкового шрифту Брайля на пакувальних матеріалах із картону та паперу.

Предметом дослідження є характеристики сировини, знарядь виробництва, аспектів технології та витривалості в експлуатації, що безпосередньо впливають на спроможність читання, точність форми та стійкість рельєфу з плином часу.

Основна частина

Створення шрифту Брайля на пакувальній продукції – це багатокомпонентний процес, де фінальний результат неможливо виміряти лише глибиною чи тиском самої крапки. Форма рельєфу зумовлюється взаємодією

багатьох чинників: фізичних властивостей сировини, параметрів матриці й патриці, режимів роботи апаратури, точності виставлення позицій, фаховості виконавця та умов, у яких ця упаковка надалі перебуватиме.

З точки зору стандартів, головна вимога полягає у формуванні такого профілю поверхні, аби користувач міг без плутанини й помилок ідентифікувати знаки через тактильні відчуття. Для медикаментів це надзвичайно важливо, адже хибна ідентифікація потенційно загрожує безпеці тих, хто їх вживає. Однак, виробничий процес ускладнюється тим, що пакувальна одиниця проходить повний цикл існування: від виробництва, вирубки, згинання, зклеювання, перевезення, умов зберігання, укладання на піддони й аж до моменту безпосереднього застосування.

Виходячи з узагальнення технологічних стадій, до цієї моделі інтегровано шість ключових факторів:

- g_1 стосовно матеріалу, використаного для пакування;
- g_2 щодо матеріалу, з якого сформовані матриця й патрубок;
- g_3 , що описує геометрію елементів шрифту Брайля;
- g_4 , яке стосується кваліфікації особи, що виконує роботу;
- g_5 , що регулює умови довкілля;
- g_6 , яке фокусується на утриманні характеристик рельєфу Брайля.

Цей набір охоплює як необхідні фізичні аспекти, закладені на початку, так і фінальні метрики якості, що є вирішальними для забезпечення привабливості рельєфу для сприйняття на дотик.

Пакувальний матеріал є ключовим елементом, адже його волокниста будова є тією, що приймає на себе механічний вплив процесу тиснення. Різноманітні багатошарові вироби, як-от картон марок GC1, GC2, GD2, а також хром-ерзац, відрізняються низкою характеристик: щільністю, еластичністю, товщиною зовнішнього шару та здатністю протистояти зміні форми. Більш твердий картон краще підтримує сферичну конфігурацію випуклості, хоча це диктує необхідність більш скрупульозного підбору сили тиску. Використання матеріалу, який є занадто податливим або недостатньо товстим, може спричинити згладжування бажаного рельєфу, проривання поверхні або зменшення висоти елементів після різання та згинання.

Багатошаровий картон, що складається з волокнистої основи та зовнішнього покриття, демонструє чудову стійкість під час пресування. Завдяки верхнім шарам, відбіленим хімічним чи механічним способом, досягається потрібна жорсткість. Це дає змогу без проблем формувати напівсферичні елементи з оптимальною висотою у межах 0,45-0,60 мм, уникнувши при цьому деформації чи надмірного продавлювання. Однак, якщо товщина картону занадто велика, може спостерігатися протилежний результат: тиск розподіляється по значній глибині, через що рельєф виходить менш виразним.

Аркушевий папір є значно менш передбачуваним у своїй поведінці. Завдяки невеликій густині та тендітній будові, він легко змінює форму під дією

навантаження, формуючи приплюснуті чи витягнуті елементи, що погіршує можливість їх розрізнення. До того ж, у випадку підвищення рівня вологості, папір має тенденцію до набухання, чим зменшується висота цих елементів навіть після виготовлення. Звідси випливає, що паперові ярлики нерідко вимагають застосування комплексних методів, як-от додавання підкладок або покриття захисним шаром (ламінації) для забезпечення стабільності їхньої основи.

Отже, пакувальний матеріал виступає не просто як носій відомостей, а як дієвий складник процесу, що безпосередньо впливає на те, чи буде можливо створити певний тактильний візерунок, наскільки він буде якісним та як довго прослужить.

Від вибору матеріалу для матриці й патриці залежить, наскільки точно буде відтворено форму крапки. Інструментарій із металу – наприклад, латунь, сталь або магнієві сплави – гарантує кращу відтворюваність та вищий опір зносу, аніж полімерні форми. У випадку невеликих партій допустимо використовувати менш стійкі матеріали для виготовлення інструменту, проте їхня стабільність вимагатиме додаткового нагляду. При великих обсягах виробництва зношення інструментарію може поступово коригувати радіус, діаметр чи висоту самої крапки, що неминуче позначиться на зручності її сприйняття на дотик.

Вигляд тактильної точки є одним із ключових маркерів якості. Ідеальною для опрацювання вважається симетрична форма, яка нагадує півсферу або дуже близька до неї, оскільки це гарантує належну площу зчеплення з подушечкою пальця та забезпечує м'якість переміщення під час зчитування тексту. Точки, які є приплюснутими, подовженими, загостреними або мають нерівномірну конфігурацію, несуть загрозу помилкового розпізнавання символів, уповільнюють процес читання і здатні викликати відчуття втоми у того, хто користується ними.

Здібності оператора відображають параметр людського чинника. Саме оператор вирішує про те, яким має бути тиск, темп подачі, як вирівняти положення, стежити за станом оснащення та компенсувати вади сировини. Навіть якщо устаткування новітнє, брак майстерності у робітників може спричинити зсув структури, нерівномірність висоти міток, пошкодження лицьової частини чи неповне проникнення речовини.

Чинники навколишнього середовища, у першу чергу тепловий режим та ступінь насичення повітря вологою, чинять непрямий, проте відчутний вплив. Папір та картон належать до матеріалів, що активно поглинають вологу, звідси випливає, що коливання цієї вологості спричиняє зміни у їхній сталості розмірів, еластичності та спроможності зберігати задану фактуру. При вищій вологості структура волокон розм'якшується, що здатне призвести до зниження рельєфу зображення; коли ж повітря стає надмірно сухим, підвищується небезпека появи мікроскопічних тріщин та крихкості.

Оцінка якості зрештою зводиться до того, наскільки добре зберігаються характеристики шрифту Брайля. Рельєф, що був належним чином відтворений, мусить бути розбірливим не лише безпосередньо після друку, а й витримувати

механічний вплив, перевезення, тертя, стискання під час зберігання у пакуваннях, а також варіації мікроклімату. У випадку, коли висота чи конфігурація символу опускається нижче порогу, необхідного для надійного тактильного розпізнавання, коректне виконання друку, по суті, не гарантує користувачеві необхідної доступності.

Для того, щоб формалізувати, як пов'язані між собою критерії, ми застосували такий метод, як метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process, АНР). Головна його цінність полягає у здатності звести докупи оцінки експертів та кількісний спосіб визначення пріоритетності. У рамках цієї методики, кожен пару критеріїв оцінюють, визначаючи, який із них є більш значущим відносно іншого, і на цих даних створюють матрицю, де порівнюються вони попарно. Далі, спираючись на цю матрицю, вираховують вектор пріоритетів, приведений до норми.

На початковій стадії було зведено орієнтований граф (рис. 1), що ілюструє взаємозв'язки причин і наслідків між різними критеріями.

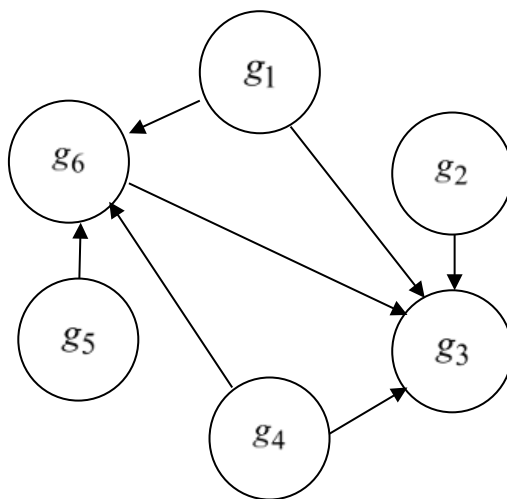


Рисунок 1 – Вихідний граф зв'язків між критеріями впливу на формування та збереження шрифту Брайля

Цей граф демонструє логічну послідовність технологічного циклу: матеріальні характеристики закладають основу для формування певної точки (результату), вплив оператора та оточення визначає стійкість самого процесу, а фіксація (утримання) заданих параметрів є кінцевим показником якості.

Формування матриці попарних порівнянь

Порядок формування матриці попарних порівнянь такий: коли критерій під номером i визнано більш значущим, ніж критерій j , відповідний елемент a_{ij} отримує числове значення, що перевищує одиницю; при цьому зворотний елемент a_{ji} , обчислюється як обернене значення до a_{ij} . Елементи, що знаходяться на головній діагоналі цієї матриці, завжди дорівнюють одиниці, тому що кожен критерій обов'язково співвідноситься сам із собою (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця попарних порівнянь критеріїв

Критерій	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6
g_1	1	3	1/2	2	3	1/2
g_2	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1/5
g_3	2	5	1	3	2	1/2
g_4	1/2	3	1/3	1	5	1/2
g_5	1/3	3	1/2	1/2	1	1/2
g_6	2	5	2	2	3	1

Для того щоб узгодити початкові експертні бачення та гарантувати прийнятний ступінь логічної послідовності, матрицю було вибудовано, користуючись шкалою Сааті (табл. 2) [9].

Таблиця 2 – Шкала попарних порівнянь Сааті

Бал	Інтерпретація
1	однакова важливість
3	помірна перевага
5	суттєва перевага
7	дуже сильна перевага
9	абсолютна перевага
2, 4, 6, 8	проміжні значення
1/x	обернена перевага

При цьому ключову увагу приділяли пріоритетності таких кінцевих показників якості, як профіль вершини та стійкість рельєфу до змін у його просторових ознаках після процесу штампування.

Головним завданням методу аналізу ієрархій є побудова власного вектора, який вказує на відносну важливість критеріїв.

За даним методом, обчислення виконується за наступною формулою [10]:

$$Axw = \lambda \max xw, \quad (1)$$

де A – матриця попарних порівнянь;
 w – вектор вагових коефіцієнтів;
 $\lambda \max$ – найбільше власне значення матриці.

Щоб провести обчислення (табл. 3) на практиці, застосовано метод середніх геометричних, котрий вирізняється стійкістю до несуттєвих зсувів у судженнях експертів та дозволяє вирахувати стандартизований вектор значущості:

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}, \quad (2)$$

де n – кількість критеріїв;
 a_{ij} – елемент матриці попарних порівнянь.

Таблиця 3 – Розраховані вагові коефіцієнти критеріїв

Позначення	Критерій	Вага	Частка, %
g_1	Матеріал упаковки	0.069	6.9
g_2	Матеріал матриці та патриці	0.069	6.9
g_3	Форма крапки шрифту Брайля	0.336	33.6
g_4	Вміння оператора	0.156	15.6
g_5	Параметри навколишнього середовища	0.034	3.4
g_6	Збереження параметрів шрифту Брайля	0.336	33.6

Згідно з отриманими даними, критерії g_3 («Форма крапки шрифту Брайля») та g_6 («Збереження параметрів шрифту Брайля») виявилися найвагомішими, маючи ідентичну оцінку – 0.336 кожний. Сумарно вони становлять приблизно 67.2 % від загального впливу, що чітко вказує на пріоритетність аспектів, пов'язаних із геометричною будовою та стійкістю рельєфних елементів.

На третій сходинці за важливістю розташується критерій g_4 – «Вміння оператора», з показником 0.156.

Фактори, що стосуються матеріалів, а саме g_1 та g_2 , мають рівнозначну вагу – 0.069 кожен, тоді як параметри, що описують середовище (g_5), виявилися найменш впливовими із вагою 0.034.

Використовуючи даний методу, можемо зробити оцінку ступеня узгодження між думками експертів за допомогою індексу узгодженості CI та коефіцієнта узгодженості CR :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}. \quad (4)$$

При коефіцієнті узгодженості $CR \leq 0,1$ – матриця вважається узгодженою.

При $CR > 0,1$ – судження вважаються суперечливими і потрібно переглянути порівняння.

З огляду на $n = 6$, було обрано випадковий індекс $RI = 1,24$.

Розрахунки дали наступні результати:

$$\lambda_{\max} = 6,156,$$

$$CI = 0,0312,$$

$$CR = 0,0252.$$

Оскільки коефіцієнт узгодженості CR значно менший за порогове значення 0,10, це свідчить про задовільну узгодженість матриці, а отже, судження експертів вважаються логічно обґрунтованими для продовження аналізу.

Побудова структурної ієрархії впливів

Для повноцінного розуміння кількісних висновків методу АНР, їх варто інтегрувати зі структурним аналізом, який демонструє ланцюжок причинно-наслідкових залежностей у межах певної технологічної системи. З цією метою, використовуючи орієнтований граф як основу, створюється бінарна матриця, яка фіксує прямі взаємовпливи. У цій матриці одиниця (1) свідчить про безпосередній вплив одного критерію на інший, тоді як нуль (0) констатує відсутність такого прямого зв'язку [11].

Додавши одиничні значення на головну діагональ і провівши транзитивне замикання, формується матриця досяжності. Ця матриця дає змогу встановити не тільки безпосередні, але й опосередковані взаємозв'язки. Наприклад, як паковальний матеріал може впливати на цілісність рельєфу, і як цей рельєф, у свою чергу, позначається на фактичній читабельності окремої точки. Застосування такого методу є цінним для ідентифікації ієрархічних рівнів та з'ясування, які саме критерії виступають фундаментальними, які – проміжного рівня, а які – кінцевими результатами.

У рамках запропонованої схеми (рис. 2), критерій, що стоїть вище всіх, це g_6 – стабільність характеристик шрифту Брайля.

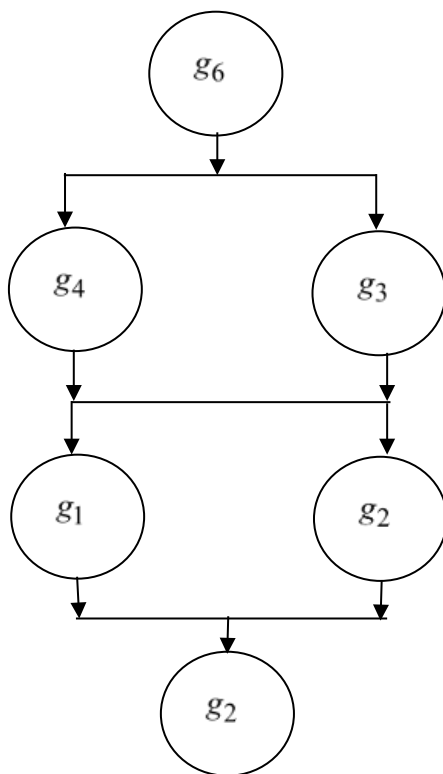


Рисунок 2 – Ієрархічна модель впливу параметрів на якість шрифту Брайля на пакованні

Він є квінтесенцією усього технологічного циклу, адже демонструє, наскільки рельєф здатний зберегти свою розбірливість попри виробничі маніпуляції та подальше використання.

На середній ланці розташовуються критерії g_3 та g_4 : конфігурація самої крапки прямо впливає на можливість сприйняття на дотик, тоді як майстерність того, хто працює з обладнанням, гарантує правильне калібрування процесу.

Найнижчий щабель охоплює такі елементи як матеріал, що використовується для пакування, склад інструментальної оснастки, а також умови навколишнього середовища – ці чинники закладають фундаментальні фізико-технічні основи для формування рельєфної структури (табл. 4).

Таблиця 4 – Узагальнена інтерпретація рівнів ієрархії

Рівень	Критерії	Технологічна інтерпретація
Верхній	g_6	Остаточний критерій якості: витривалість, зрозумілість та збереженість контурів протягом усього терміну служби обгортки
Середній	g_3, g_4	Пряме формування рельєфу: конфігурація точки й операторський контроль над процесом
Базовий	g_1, g_2, g_5	Передумови фізико-технологічного плану: характерні риси матеріалу, робочого інструменту та навколишнього середовища

Результати досліджень

Проведене моделювання дозволило встановити, що якість рельєфно-крапкового шрифту Брайля на пакованні визначається не сумою ізольованих параметрів, а системою взаємозалежних впливів. Найбільш критичними є ті чинники, які безпосередньо формують тактильний результат для користувача: форма крапки та здатність рельєфу зберігати геометричні параметри після тиснення.

Домінування критеріїв g_3 і g_6 має практичне пояснення. Навіть за правильно підібраного матеріалу й точного обладнання кінцевий споживач оцінює не технологічні умови виробництва, а фактичну можливість прочитати символ. Тому геометрична форма крапки, її висота, сталість і тактильна відчутність є основними показниками функціональної придатності маркування.

Висока значущість критерію g_4 свідчить, що автоматизація не усуває необхідності кваліфікованого технологічного контролю. Оператор повинен уміти співвіднести властивості матеріалу з параметрами тиснення, своєчасно виявити зношення інструменту, скоригувати тиск і перевірити рівномірність рельєфу по накладу. Для виробничої практики це означає, що система якості має включати не лише контроль обладнання, а й навчання персоналу, регламенти налаштування та періодичну перевірку результатів.

Матеріал пакування та матеріал матриці/патриці мають помірний, але технологічно важливий вплив. Їхня роль полягає у створенні передумов для

стабільного рельєфу. Невідповідний картон, нестабільна товщина, надмірна пористість або зношений інструмент здатні унеможливити отримання потрібної форми крапки навіть за правильно обраних режимів тиснення. Тому ці чинники мають контролюватися на вхідному етапі виробництва.

Найменша розрахована вага параметрів середовища не означає їхньої неважливості. Вони мають опосередкований характер і часто проявляються через зміну властивостей матеріалу. У виробничих умовах доцільно підтримувати стабільний мікроклімат, особливо під час роботи з гігроскопічними матеріалами та при виконанні тиражів, що потребують високої повторюваності рельєфу.

Запропонована модель може бути використана як методична основа для розроблення карт контролю якості. Першочерговому контролю мають підлягати форма та висота крапки, стабільність рельєфу після механічного навантаження, а також відповідність налаштувань обладнання властивостям матеріалу. Доцільним є впровадження контрольних вимірювань на початку тиражу, після визначеної кількості відбитків і після операцій, які можуть деформувати пакування.

З погляду подальших досліджень модель може бути розширена за рахунок включення кількісних експериментальних показників: фактичної висоти крапок, відхилення діаметра, сили зчитування, опору стисканню, впливу вологості та результатів тестування користувачами з порушеннями зору. Поєднання експертної моделі АНР з експериментальними даними дозволить уточнити вагові коефіцієнти та підвищити практичну надійність рекомендацій.

Практичні напрями впровадження результатів

У контексті виробничого процесу, слушно буде брати цю модель за фундаментальну для запровадження контролю якості кроками. На початковій стадії необхідно зосередитися на інспектуванні сировини, що надходить: слід перевірити такі параметри, як товщина, густина, рівень вологості, пружність і консистентність картону чи паперу. Той матеріал, де товщина демонструє суттєві відхилення або деформаційна пластичність є надмірною, має бути кваліфікований як потенційно проблемний саме для нанесення рельєфу Брайля, навіть якщо він цілком задовольняє вимоги для стандартного друкування або танцювання [12].

Наступний етап зосереджується на доведенні до ладу робочого інструментарію. Матриця й патриця зобов'язані гарантувати точне та відтворюване розташування елементів по всій партії продукції.

З огляду на це, варто впровадити фіксовані пункти контролю стану оснащення:

- перед початком друку;
- після тестового прогону;
- після певного набору робочих циклів.

Це стає критично важливим, особливо при роботі з великими накладками для медикаментів, адже невеликий, але постійний знос обладнання, хоча й може бути непомітним на око, здатен суттєво змінити відчуття від готового продукту.

На третьому етапі необхідно забезпечити перевірку конфігурації окремих точок. Ключовими критеріями тут виступають такі характеристики, як висота підняття, ширина основи, однорідність обрису та рівномірність розташування цих елементів у межах одного символу Брайля.

Для виробничого моніторингу слушно буде комбінувати високоточні вимірювання приладами із тактильною оцінкою за допомогою дотику. Цей дуальний підхід дасть змогу визначити не тільки те, наскільки параметри відповідають заданим числовим нормам, але й наскільки маркування є ефективним у практичному сенсі для кінцевого споживача.

Наступний, четвертий етап, стосується відтворення робочих навантажень. Упаковка, після того як на неї нанесено шрифт Брайля, піддається процесам вирубки, згинання, зклеювання, перевезення та зберігання. Таким чином, має сенс аналізувати не лише початкову висоту елементів, а й ту висоту, що залишається після тестового стискання, тертя чи короткочасного впливу коливань вологості.

Такий метод цілком узгоджується з логікою розробленої моделі, де підтримання заданих характеристик вважається головним критерієм якості.

Розгляд п'ятого етапу стосується безпосередньо тренування персоналу. З огляду на значний вплив критерію «кваліфікація машиніста», для компаній було б мудрим рішенням створювати детальні інструкції (технологічні карти) щодо регулювання тиску для різних видів картонажу, а також формувати реєстр поширених дефектів і визначати чіткі порядки виправлення налаштувань. Підготовка оператора має виходити за межі простого освоєння технічної роботи з апаратурою; вона мусить включати розуміння соціальної ролі шрифту Брайля та потенційних проблем, які можуть виникнути через невідповідне маркування.

Стосовно організації виготовлення, здобутки моделювання спроможні слугувати підставою для розробки системи першочерговості у сфері забезпечення якості. За умов дефіциту ресурсів на рівні фірми, насамперед варто спрямувати вкладення у придбання засобів для вимірювання нерівностей поверхні, надійного інструментарію для натискання (тиснення) та навчання персоналу, що обслуговує обладнання. Звісно, моніторинг оточуючого повітряного середовища та детальний розбір властивостей сировини зберігають свою значущість, проте їх доцільно позиціонувати як допоміжні кроки, мета яких – гарантувати сталість фундаментальних умов технологічного циклу.

Цінність даної методики, з точки зору її практичного застосування, полягає ще й у її потенційній можливості бути припасованою до різноманітних типів тактильних розміток чи позначок. Наприклад, аналогічний спосіб міг би бути використаний для верифікації рельєфних попереджувальних знаків, тактильних елементів, що розміщуються на ярликах, навчальних друкованих матеріалів для осіб з особливими потребами, а також пакувань для харчів чи косметики. Хоча у

кожному окремому випадку перелік критеріїв, що використовуються, зазнаватиме змін, базова концепція градації важливості та підтвердження злагоди висновків експертів збереже свою значущість.

Для того щоб надати процесу більшої уніфікованості, варто згрупувати висновки експертного оцінювання із даними, отриманими шляхом практичних замірів. Цілком раціональним кроком видається формування реєстру (бази даних), де для окремих категорій матеріалів буде зафіксовано усталено необхідні параметри тиснення, реальну конфігурацію крапки, глибину деформації після зняття навантаження та якісну оцінку сприйняття користувачами. Накопичення такого набору відомостей дасть змогу доопрацювати вагові показники, а також уможливить перехід до передбачення якості та розробки пропозицій щодо автоматичного підбору робочих параметрів процесу.

Висновки

В даному дослідженні була вибудована узгоджена ієрархічна структура, що відображає, як різні параметри впливають на якість створення та подальшого збереження шрифту Брайля, нанесеного на пакувальні матеріали. Продемонстровано, що операція тиснення являє собою заплутану систему, залежну від багатьох змінних, де чинники, пов'язані з матеріалами, інструментами, технологічними процесами, людським фактором та умовами експлуатації, взаємодіють один з одним, у сукупності формуючи кінцевий рівень тактильної розбірливості рельєфу.

Використовуючи метод попарного порівняння Сааті, було розраховано відносну важливість шести основних чинників. Найбільш вирішальними виявилися конфігурація символу шрифту Брайля та незмінність характеристик поверхні після нанесення рельєфу. Сумарно ці два аспекти складають більш ніж шістдесят шість відсотків загальної оцінки, що чітко ілюструє першорядну потребу у забезпеченні точності форми та стійкості точок. Не менш вагомим фактором є кваліфікація працівника, котра гарантує коректне встановлення параметрів пресування та своєчасне внесення змін у хід роботи.

Сформована ієрархічна структура продемонструвала, що вихідні умови якості процесу закладаються якістю пакувального матеріалу, матеріалу, що слугує основою чи матрицею, а також умовами оточуючого середовища; середній щабель, що безпосередньо формує рельєф, охоплює конфігурацію окремої точки та дії того, хто виконує роботу; кінцевим, інтегрованим наслідком усієї технологічної системи є збереження належних характеристик шрифту Брайля.

Практична користь отриманих здобутків полягає у тому, що запропоновану модель можна буде застосувати для вдосконалення процесу пресування, створення інструкцій для виробництва, підбору відповідних матеріалів, моніторингу стану робочого інструменту та формування методик для оцінки якості шрифту Брайля, нанесеного на упаковку. Наступні наукові роботи

варто зосередити на практичному тестуванні цієї моделі та порівнянні розрахованих вагових коефіцієнтів із реальними вимірами показників рельєфу.

Список літератури.

1. International Organization for Standardization. (2013). BS EN ISO 17351:2014. Packaging – Braille on packaging for medicinal products. (ISO 17351:2013). London: British Standards Institution, 2014.
2. International Organization for Standardization. (2013). EN ISO 17351:2014. Packaging – Braille on packaging for medicinal products. (ISO 17351:2013). Brussels: European Committee for Standardization, 2014.
3. European Commission. (2009). Guideline on the readability of the labelling and package leaflet of medicinal products for human use: Revision 1, 12 January 2009. https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/2009_01_12_readability_guideline_final_en_0.pdf.
4. EUR-Lex. (2004). Directive 2004/27/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 amending Directive 2001/83/EC on the Community code relating to medicinal products for human use. Official Journal of the European Union. 2004. L 136. P. 34-57. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0027>.
5. International Organization for Standardization. (2013). Packaging – Braille on packaging for medicinal products. (ISO 17351:2013). Geneva: International Organization for Standardization.
6. Держстандарт України. (2022). Упаковка. Шрифт Брайля на упаковці для лікарських засобів (EN ISO 17351:2014, IDT; ISO 17351:2013, IDT). (ДСТУ EN ISO 17351:2022). Київ : ДП «УкрНДНЦ».
7. Верховна Рада України. (2010). Про затвердження Порядку маркування лікарських засобів шрифтом Брайля: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.08.2010 № 722. База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1044-10>.
8. Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками. (2026). Стосовно маркування лікарських засобів шрифтом Брайля. Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками. https://www.dls.gov.ua/for_subject/стосовно-маркування-лікарських-засо-2/.
9. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York; London: McGraw-Hill International Book Co.
10. Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
11. Warfield, J.N. (1974). Developing interconnection matrices in structural modeling. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-4(1), 81-87. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1974.5408524>.
12. Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods. Berlin; Heidelberg; New York: Springer. ISBN 978-3-540-67326-2.

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРАФАРЕТНИХ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ

Криховець О.В.

к.х.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-2603-0991

Сельменська З.М.

к.т.н., доцент, кафедра мультимедійних технологій,
Національний університет «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

***Анотація.** У статті розглянуто екологічні аспекти процесу виготовлення трафаретних друкарських форм. Обґрунтовано доцільність використання менш токсичних матеріалів, локального очищення стоків, повторного застосування форм і впровадження ресурсозберігальних технологій. Запропоновані підходи спрямовані на зменшення негативного впливу трафаретного формного процесу на довкілля.*

***Ключові слова:** трафаретний друк, екологічна оцінка, копіювальний шар, фотополімерна емульсія, екологізація поліграфічного виробництва, ресурсозбереження.*

Вступ

У сучасних умовах розвитку поліграфічного виробництва дедалі більшого значення набуває не лише забезпечення високої якості друкованої продукції, а й зниження негативного впливу технологічних процесів на довкілля. Одним із поширених способів друку є трафаретний друк, який застосовується для відтворення зображень на папері, картоні, полімерних матеріалах, текстилі, склі, металі та інших поверхнях. Його універсальність, відносна технологічна простота та можливість нанесення необхідного шару фарби зумовлюють широке використання цього способу у промисловому, рекламному, пакувальному та текстильному виробництві.

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм пов'язаний із використанням різних хімічних матеріалів, зокрема фотополімерних емульсій, знежирювальних засобів, проявників, розчинників, засобів для видалення емульсії та очищення сітки. Під час підготовки, експонування, проявлення та регенерації друкарських форм утворюються виробничі відходи, забруднені стічні води, залишки хімічних речовин, а також можливі викиди летких органічних сполук [1]. Це створює потребу в системному аналізі екологічної безпечності зазначеного процесу та визначенні основних чинників його впливу на навколишнє середовище.

Сучасні підходи поєднують двох важливих напрямів розвитку поліграфічної галузі: підвищення якості поліграфічної продукції і зменшення екологічного

впливу процесу її виготовлення. Методи зменшення шкідливого впливу на довкілля під час виготовлення друкарських форм розглянуто у роботі [2]. Автори пропонують впровадження екологічно безпечніших технологій, що дозволить суттєво зменшити токсичні викиди та знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Серед основних шляхів підвищення екологічності технологічного процесу виготовлення флексографічних фотополімерних форм автори виокремлюють застосування менш токсичних розчинників або водних систем, вилучення операції вимивання а також розроблення й упровадження нових, екологічно безпечніших технологій формного виробництва. Впровадження інформаційних і лазерних технологій у процес виготовлення друкарських форм дає змогу істотно підвищити рівень екологічної безпеки виробництва завдяки скороченню використання шкідливих хімічних речовин, зменшенню кількості відходів і мінімізації негативного впливу виробничих операцій на навколишнє середовище. Водночас слід зазначити, що впровадження таких технологічних рішень потребує значних капіталовкладень, що може бути суттєвим обмежувальним чинником для поліграфічних підприємств. Окремою невирішеною проблемою залишається утилізація відпрацьованих фотополімерних форм, оскільки на сьогодні не існує універсального та повністю екологічно безпечного підходу до поводження з такими відходами.

Екологічним вибором у поліграфії є ефективне використання матеріалів, ресурсоощадність [3] і впровадження біорозкладних полімерів. У роботі [4] представлені результати дослідження технологічних параметрів трафаретного друку для отримання високоякісних зображень на оксо-біорозкладній пакувальній плівці. На основі аналізу експериментальних даних встановлено параметри друку, які найбільш суттєво впливають на стійкість шару фарби до стирання та роздільну здатність зображення при т трафаретному друці на сучасних пакувальних полімерних матеріалах.

Автори [5] розглядають фактори впливу поліграфічного виробництва на стан довкілля і систематизують основні джерела забруднення навколишнього середовища, що виникають під час додрукарських, друкарських та післядрукарських процесів. Зокрема в роботі проаналізовано утворення стічних вод із вмістом важких металів від процесів виготовлення друкарських форм та промивання обладнання, досліджено вплив летких органічних сполук (ЛОС), що виділяються при висиханні фарб, використанні змивальних засобів та розчинників, розглянуто проблему утилізації паперових відходів, використаної тари з-під фарб та хімікатів.

Дослідження впливу друкарських фарб та процесу друку на навколишнє середовище показує, що чорнила на основі розчинників, що використовуються для флексо-, глибокого та трафаретного друку, зволожувальні розчини для офсетного друку та мийні розчинники містять високу концентрацію летких органічних сполук. Кількість розчинника, що утримується флексо-, глибоким та трафаретним друком, становить 3-4% від загальної кількості використаного розчинника для чорнил [1]. Основними видами екологічного навантаження під час виготовлення

трафаретних друкарських форм є також утворення забруднених стічних вод, використання хімічних реагентів, споживання електроенергії, утворення відходів емульсій, тари, ганчір'я, фільтрів та залишків мийних засобів. Крім того, у разі застосування розчинникових систем можуть утворюватися леткі органічні сполуки, які негативно впливають на якість повітря робочої зони та довкілля.

Оцінка життєвого циклу поліграфічної продукції передбачає кількісну оцінку впливу поліграфічних матеріалів на навколишнє середовище на всіх етапах: від заготівлі сировини до утилізації. За допомогою методології оцінки життєвого циклу у роботі [6] оцінювали вплив друку пробних відбитків на навколишнє середовище та екологічну ефективність. Інноваційний процес друку пробних відбитків на цільовій підкладці демонструє менший вплив на навколишнє середовище, що підтверджується зменшенням викидів парникових газів, споживанням пластику та води в середньому в 40 разів. Токсичний вплив методу, що базується на системі пробного друку на цільовій підкладці, на живі організми більш ніж у шість разів нижчий, ніж у звичайного методу. Процес друку пробних відбитків на цільовій підкладці пропонує екологічно чисту альтернативу традиційному процесу твердої пробної друку, з меншими викидами парникових газів та меншим впливом на навколишнє середовище.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю впровадження екологічно орієнтованих підходів у поліграфічній галузі, зокрема шляхом раціонального використання матеріалів, зменшення обсягів водоспоживання, скорочення кількості хімічних відходів та застосування менш токсичних технологічних засобів. Особливої уваги потребує оцінювання екологічних аспектів саме на етапі виготовлення друкарських форм, оскільки цей процес часто залишається менш помітним порівняно з власне друкуванням, проте може бути джерелом істотного екологічного навантаження.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є проведення екологічної оцінки процесу виготовлення трафаретних друкарських форм, визначення основних джерел екологічного навантаження на різних етапах формного процесу та обґрунтування шляхів зменшення негативного впливу на довкілля.

Для досягнення поставленої мети передбачено проаналізувати технологічні особливості виготовлення трафаретних друкарських форм, визначити основні матеріали та хімічні речовини, що використовуються у процесі виготовлення трафаретних форм, охарактеризувати потенційні джерела негативного впливу на довкілля, які виникають під час виготовлення трафаретних друкарських форм, оцінити екологічні ризики окремих стадій технологічного процесу, визначити напрями екологізації процесу виготовлення трафаретних форм, і обґрунтувати практичні рекомендації щодо зниження екологічного навантаження у процесі виготовлення трафаретних друкарських форм для підвищення екологічної безпечності поліграфічного виробництва.

Основна частина

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм є важливим етапом трафаретного друку, оскільки саме від якості формної основи залежить точність відтворення зображення, стабільність фарбоперенесення та загальна якість друкованої продукції. Водночас цей процес супроводжується використанням ряду хімічних сполук, водних ресурсів, електроенергії та допоміжних матеріалів, що зумовлює необхідність його екологічної оцінки. Адже сучасний розвиток технологій виготовлення трафаретних друкарських форм спрямований не лише на підвищення продуктивності й точності формного процесу, а й на зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище.

Трафаретна друкарська форма зазвичай складається з сітчастої основи, натягнутої на раму, та копіювального шару, який формує друкуючі й пробільні елементи. Основними етапами її виготовлення є підготовка сітки, знежирення, нанесення світлочутливої емульсії, сушіння, експонування, проявлення, висушування та, за потреби, регенерація форми після завершення друку. Кожен із цих етапів має певний вплив на навколишнє середовище, що проявляється у споживанні ресурсів, утворенні відходів або використанні потенційно небезпечних речовин. У зв'язку з цим дедалі більшого значення набувають інноваційні рішення та екологічно безпечні альтернативи, які дають змогу скоротити використання шкідливих матеріалів, зменшити кількість виробничих відходів і підвищити стабільність якості друкарських форм.

Правильний добір сітки-основи для трафаретного друку, зокрема пакування та етикеток, є одним із ключових чинників, що визначає якість готових відбитків, стабільність друкарського процесу, продуктивність виробництва та економічну доцільність виконання замовлення. Саме характеристики сітки впливають на кількість фарби, яка проходить крізь комірки, чіткість відтворення графічних елементів, рівномірність фарбового шару, адгезію фарби до пакувального матеріалу та довговічність надрукованого зображення. Для більшості завдань у сфері пакувального друку оптимальним варіантом є використання високоякісних поліестерових сіток. Вони характеризуються достатньою міцністю, стабільністю натягу, стійкістю до деформацій і хорошою розмірною стабільністю. Завдяки цьому поліестерові сітки забезпечують збалансоване поєднання двох важливих параметрів: високої чіткості друку та достатньої насиченості фарбового шару. Такі властивості роблять їх універсальними для нанесення зображень на різні види пакувальних матеріалів, зокрема папір, картон, полімерні плівки та комбіновані матеріали.

Нейлонові сітки доцільно застосовувати більш вибірково, оскільки їхні властивості не завжди відповідають вимогам високоточного друку. Основною перевагою нейлонових сіток є підвищена еластичність і гнучкість, що може бути корисним під час друку на нерівних, об'ємних або складних за формою поверхнях. Також вони можуть бути ефективними у випадках використання абразивних фарбових систем. Водночас через більшу схильність до розтягування

та нижчу розмірну стабільність нейлонові сітки не є найкращим вибором для прецизійного друку, де важливими є точність суміщення, чіткість дрібних елементів і стабільність параметрів упродовж усього тиражу. Металеві сітки, зокрема з нержавіючої сталі, використовуються переважно у спеціалізованих випадках, коли необхідно досягти максимальної роздільної здатності, високої точності відтворення дрібних деталей і стабільної якості протягом великих тиражів. Вони мають високу міцність, мінімальну деформацію та добру стабільність геометричних параметрів. Проте через високу вартість такі сітки доцільно застосовувати лише тоді, коли їхні технічні переваги економічно виправдані, наприклад для високоточних або масових замовлень.

Важливе значення має також вибір виробника сітки. Використання матеріалів від відомих і перевірених компаній, таких як Sefar, NBC, Saati, дає змогу забезпечити стабільність основних характеристик: товщини нитки, рівномірності плетіння, відкритої площі сітки, міцності та здатності зберігати натяг. Це безпосередньо впливає на якість друку, зменшує ризик технологічних відхилень, скорочує кількість браку та виробничих відходів.

Виготовлення трафаретних друкарських форм пов'язане із застосуванням хімічно активних матеріалів, зокрема проявників, закріплювачів, розчинників і світлочутливих емульсій. У процесі їх використання можуть утворюватися речовини та відходи, які створюють додаткове екологічне навантаження на виробниче середовище і довкілля.

До основних джерел такого навантаження належать:

- леткі органічні сполуки (VOC), що можуть виділятися під час сушіння або використання матеріалів-розчинників;
- залишки копіювальних шарів, які утворюються після проявлення трафаретної форми;
- відпрацьована промивна вода, що містить домішки емульсії, мийних засобів та інших хімічних компонентів.

Поводження з такими відходами потребує дотримання встановлених вимог щодо збирання, зберігання, транспортування та утилізації небезпечних виробничих відходів, зокрема відходів II класу небезпеки. Крім того, стічні води, які утворюються під час промивання та проявлення форм, мають проходити попереднє очищення за допомогою фільтраційного обладнання, нейтралізаторів та інших систем локальної очистки.

У сфері поліграфічного виробництва важливу роль відіграють міжнародні та національні стандарти, які регламентують екологічно безпечну організацію виробничих процесів. До них належать:

- ISO 14001 – стандарт, що встановлює вимоги до систем екологічного менеджменту [7];
- ISO 12647-5:2014 – стандарт, який стосується трафаретного друку та містить положення щодо контролю якості й екологічних аспектів процесу [8];
- ДСТУ ISO 14024 – стандарт, пов'язаний з екологічним маркуванням продукції [9].

Дотримання зазначених стандартів дає змогу знизити ризики забруднення повітря, води та ґрунту, упорядкувати процедури поводження з виробничими відходами, забезпечити контроль використання хімічних речовин і оцінити екологічний вплив підприємства. Таким чином, стандартизація екологічних процедур є важливою умовою підвищення безпечності та сталості процесу виготовлення трафаретних друкарських форм.

Виготовлення трафаретних друкарських форм можна розглядати як процес, у якому необхідно забезпечити рівновагу між досягненням високих технічних характеристик друку та зниженням негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я працівників. З технологічної точки зору сучасні фототрафаретні форми здатні забезпечувати високу роздільну здатність, точність передавання зображення, стабільність друкарського процесу, значну тиражостійкість і сумісність із різними видами фарб. Цьому сприяє розвиток фотополімерних емульсій, удосконалення експонувального обладнання та підвищення точності формних процесів.

Для зменшення екологічного навантаження провідні виробники копіювальних шарів, зокрема KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano, поступово орієнтуються на впровадження більш екологічно безпечних технологічних рішень.

До основних напрямів такої екологізації належать:

- застосування полімерних матеріалів, що не містять летких органічних сполук, тобто належать до категорії VOC-free;
- скорочення обсягів використання води та зменшення потреби у проявниках на основі органічних розчинників;
- впровадження безпроцесних або маловідходних технологій, які дають змогу знизити кількість виробничих відходів;
- використання УФ-отверджуваних копіювальних шарів, що потребують меншого енергоспоживання під час експонування.

Важливу роль у зменшенні негативного впливу на довкілля відіграють також замкнуті цикли обробки, зокрема повторне використання промивних розчинів, очищення повітря в робочій зоні та відведення потенційно шкідливих викидів через спеціальні фільтраційні системи. Такі заходи дозволяють мінімізувати потрапляння забруднювальних речовин у воду, повітря та ґрунт. У цьому контексті виробничі підприємства мають дотримуватися вимог Директиви ЄС 2010/75/EU [10] про промислові викиди, яка спрямована на обмеження забруднення довкілля внаслідок промислової діяльності.

Вибір копіювального шару для виготовлення трафаретних друкарських форм має здійснюватися з урахуванням не лише технологічних параметрів друку, а й екологічних характеристик матеріалів. Важливими критеріями є тип фарбової системи, вимоги до тиражостійкості, спосіб проявлення та регенерації форми, токсичність компонентів, обсяг утворених відходів і можливість зменшення використання хімічних речовин. Виробники KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano пропонують високоякісні копіювальні матеріали, які

застосовуються у сучасному трафаретному друці, доступні на ринку України та відповідають актуальним технологічним і екологічним вимогам (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристик копіювальних шарів

Виробник	Тип полімеру	Роздільна здатність (lpi)	Зносостійкість (тис. відбитків)	VOC (г/м ²)	Температура експонування (°C)	Екологічність (1-5)
Kiwo	Поліуретан	120	50	8.2	30	4
Murakami	Діазо+пф	100	40	10.5	25	3
MacDermid	Фотополімер	135	60	5.3	28	5
Ulano	Хромдіазо	110	45	9.1	26	3

Порівнюючи основні характеристики копіювальних шарів було здійснено оцінювання їхніх технологічних, експлуатаційних та екологічних показників. До ключових параметрів дослідження належали тип полімерної основи, роздільна здатність, зносостійкість, рівень вмісту летких органічних сполук, температурні умови експонування та загальна екологічність матеріалів. Діаграми на рис. 1 і рис. 2 відображають максимальні та мінімальні значення роздільної здатності досліджуваних копіювальних шарів.

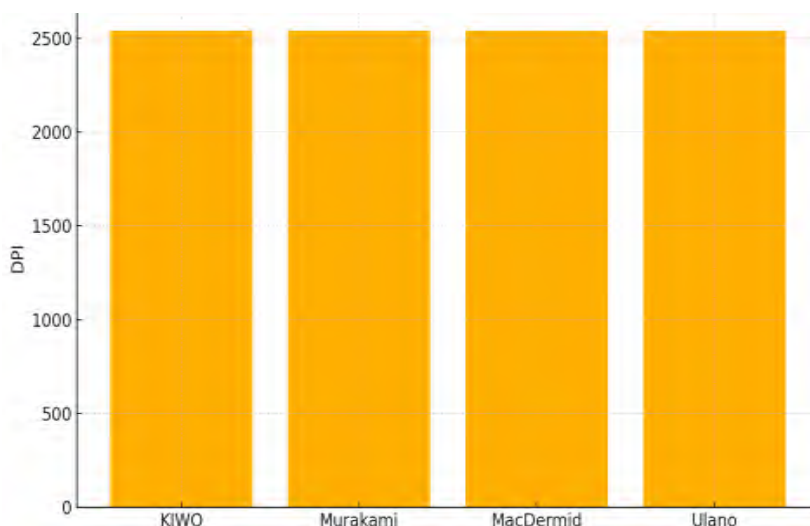


Рисунок 1 – Максимальна роздільна здатність досліджуваних копіювальних шарів

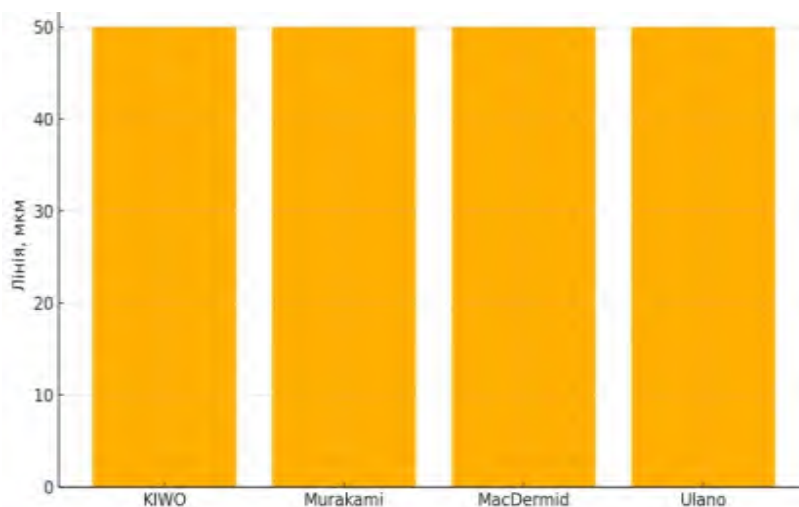


Рисунок 2 – Мінімальна роздільна здатність досліджуваних копіювальних шарів

Як видно з рисунків, найвищі показники роздільної здатності демонструють копіювальні шари виробників MacDermid та Kiwo. Зокрема, матеріал MacDermid забезпечує роздільну здатність на рівні 135 lpi, а Kiwo – 120 lpi, що свідчить про їхню здатність якісно відтворювати дрібні графічні елементи, тонкі лінії та складні растрові структури. Використання копіювальних шарів MacDermid і Kiwo забезпечує отримання друкованої продукції з високими показниками відтворення зображення.

Порівняно з ними, копіювальні шари Murakami та Ulano мають дещо нижчі показники роздільної здатності - відповідно 100 lpi та 110 lpi. Однак ці матеріали також можуть бути ефективно використані у трафаретному друці, особливо для продукції, де не вимагається відтворення надзвичайно дрібних деталей або високої растрової точності.

Інфографічне порівняння екологічних характеристик досліджуваних копіювальних шарів наведено на рис. 3-5. Згідно рис. 3, найнижчим рівнем енергоспоживання характеризуються копіювальні шари фірми-виробника MacDermid. Це свідчить про їхню вищу енергоефективність у процесі виготовлення трафаретних друкарських форм.

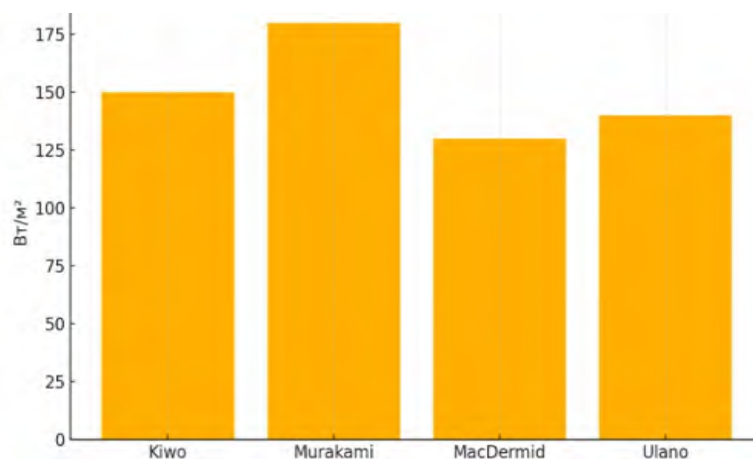


Рисунок 3 – Енергоспоживання копіювальних шарів

Натомість копіювальні шари Murakami мають найвищий показник енергоспоживання серед досліджуваних матеріалів, що може зумовлювати збільшення загальних енергетичних витрат формного процесу.

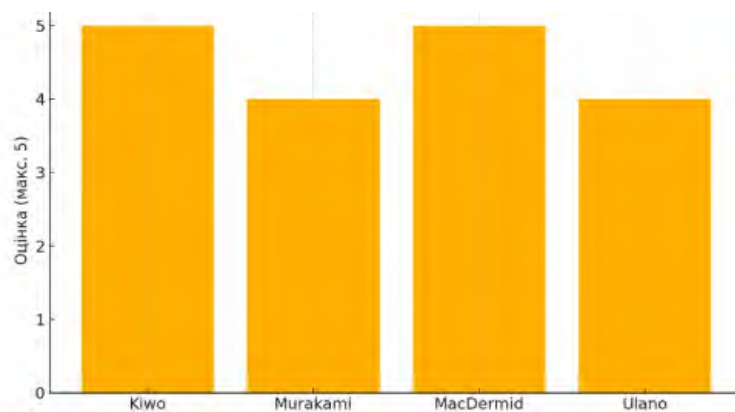


Рисунок 4 – Стійкість до розчинників

Аналіз показників стійкості до розчинників та утилізаційної безпечності, представлених на рис. 4 і рис. 5, свідчить, що найкращі результати за цими характеристиками демонструють копіювальні шари виробників MacDermid та Kiwo.

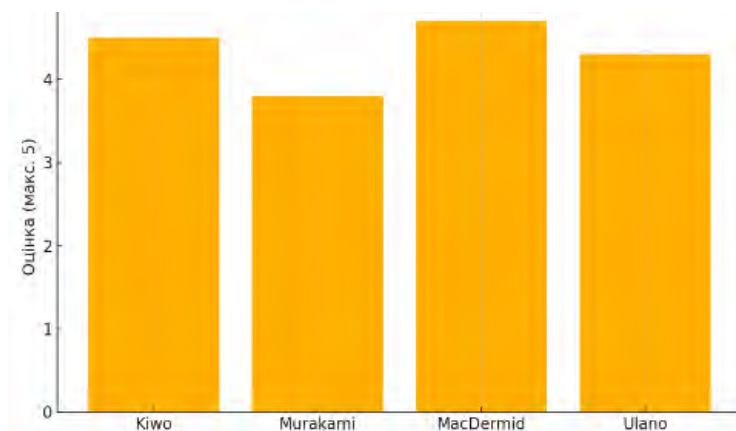


Рисунок 5 – Утилізаційна безпечність

Висока стійкість до розчинників забезпечує кращу експлуатаційну надійність трафаретної форми, зменшує потребу в частому очищенні або повторному виготовленні форм, а отже, сприяє скороченню використання хімічних реагентів. Підвищені показники утилізаційної безпечності копіювальних шарів MacDermid і Kiwo свідчать про їхню більшу відповідність сучасним екологічним вимогам. Такі матеріали є доцільнішими для використання у технологіях, орієнтованих на зменшення негативного впливу поліграфічного виробництва на довкілля.

Отримані результати узгоджуються з попередньо проаналізованими показниками роздільної здатності. Зокрема, копіювальні шари MacDermid та Kiwo демонструють не лише високі репродукційно-графічні властивості, а й кращі екологічні та експлуатаційні характеристики. Це дає підстави вважати їх найбільш ефективними серед досліджуваних матеріалів для виготовлення якісних і екологічно безпечніших трафаретних друкарських форм.

На рис. 6 наведено порівняння вмісту летких органічних сполук (VOC) у копіювальних шарах виробників KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano.

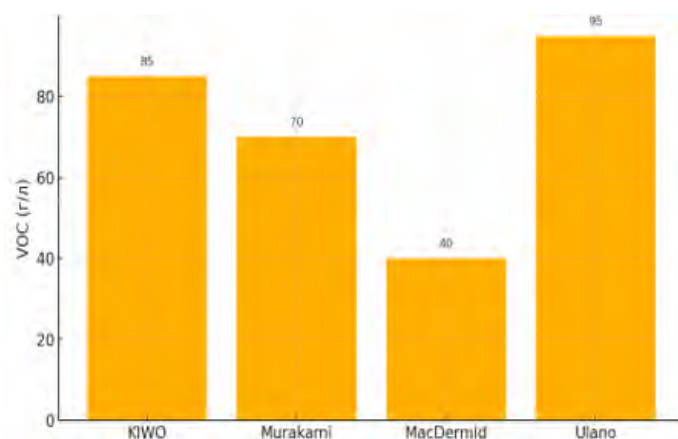


Рисунок 6 – Порівняльний рівень летких органічних сполук серед виробників

Згідно з представленими даними, найнижчий показник VOC має продукція MacDermid – 40 г/л, що свідчить про її кращі екологічні характеристики. Найвищий рівень летких органічних сполук зафіксовано у матеріалів Ulano – 95 г/л, що вказує на більший потенційний вплив на довкілля та якість повітря робочої зони.

Варто зазначити, що виробники KIWO, Murakami, MacDermid та Ulano пропонують копіювальні матеріали та допоміжні засоби, які додатково орієнтовані на підвищення екологічної безпечності процесу виготовлення трафаретних друкарських форм. Це проявляється у зменшенні використання токсичних компонентів, скороченні кількості хімічних реагентів, підвищенні стійкості емульсій до дії фарб і розчинників, а також у розробленні спеціальних засобів для безпечнішого очищення та регенерації трафаретних сіток. Зокрема, KIWO пропонує лінію засобів CLEANLINE, призначену для екологічно безпечнішого очищення трафаретних форм і сіток. Використання таких матеріалів дозволяє зменшити негативний вплив процесів очищення на довкілля, знизити кількість шкідливих залишків у стічних водах і підвищити безпечність роботи з хімічними речовинами. Murakami розробляє емульсії, які не потребують додавання діазокomпонентів. Це є важливою екологічною перевагою, оскільки зменшується кількість допоміжних хімічних речовин, спрощується підготовка матеріалу до використання та знижується потенційне хімічне навантаження під час виготовлення друкарської форми. MacDermid пропонує копіювальні матеріали, що характеризуються високою стійкістю до агресивних фарбових систем і розчинників. Завдяки цьому форми можуть довше зберігати свої експлуатаційні властивості, що зменшує потребу в частому очищенні, регенерації або повторному виготовленні форм. Відповідно, скорочується використання хімічних реагентів, води та енергоресурсів. Ulano виробляє емульсії, які не містять фталатів і відповідають сучасним вимогам до безпечності матеріалів. Такі властивості є особливо важливими для поліграфічної продукції, що контактує з людиною або використовується у сферах із підвищеними вимогами до екологічності, зокрема для пакування та дитячих видань.

Зменшення негативного впливу процесу виготовлення трафаретних друкарських форм на довкілля можливе завдяки впровадженню комплексу технологічних та організаційних рішень. До найбільш ефективних заходів належать:

- перехід на безрозчинникові копіювальні емульсії, що не містять або містять мінімальну кількість летких органічних сполук;
- використання закритих систем проявлення, у яких промивна вода проходить багатоступеневу фільтрацію та може частково використовуватися повторно;
- автоматизація процесу нанесення емульсій, що зменшує контакт оператора з хімічними речовинами та підвищує рівномірність формування копіювального шару;

– встановлення вентиляційних систем з адсорбційними фільтрами, які затримують шкідливі випари та знижують концентрацію забруднювачів у повітрі робочої зони;

– застосування енергоощадних систем сушіння та експонування, зокрема LED-UV-технологій;

– використання багаторазових рам і сіток, а також технологічних рішень, що полегшують заміну або регенерацію копіювального шару.

Застосування таких заходів дозволяє скоротити обсяги водоспоживання, зменшити кількість хімічних відходів, знизити викиди летких органічних сполук і підвищити безпеку праці персоналу [11].

Одним із перспективних напрямів є впровадження комп'ютеризованих технологій виготовлення трафаретних форм, зокрема технології Computer-to-Screen (CTS). На відміну від традиційного способу, який передбачає використання прозорої фотоплівки із зображенням для подальшого експонування, CTS-технологія дає змогу переносити зображення на форму без застосування плівкових матеріалів. Це істотно зменшує кількість відходів, пов'язаних із виготовленням, обробкою та утилізацією фотоплівок, а також дозволяє відмовитися від використання хімічних речовин, необхідних для їх проявлення та фіксації. У сучасній практиці застосовують два основні різновиди CTS-технологій. Перший передбачає лазерне експонування, за якого лазерний промінь безпосередньо засвічує світлочутливий емульсійний шар відповідно до цифрового зображення. Другий ґрунтується на струменевому нанесенні маски, коли спеціальний принтер наносить на поверхню сітки блокувальне чорнило або віск, після чого форма проходить УФ-експонування. Обидва підходи забезпечують високу точність перенесення зображення, скорочують тривалість підготовчих операцій і підвищують повторюваність результатів. Екологічна перевага CTS-технології полягає насамперед у зменшенні використання фотоматеріалів і супровідної хімії. Відмова від фотоплівок дозволяє скоротити обсяг пластикових відходів, а також зменшити потребу в проявниках, закріплювачах та інших хімічних реагентах, які застосовуються у традиційному процесі підготовки фотоформ. Це позитивно впливає на загальну екологічність виробництва та зменшує навантаження на системи поводження з відходами.

Крім екологічних переваг, цифрові технології виготовлення форм мають і важливі технологічні переваги [12]. Зокрема, вони забезпечують вищу точність суміщення та реєстрації зображення, оскільки усувають можливі оптичні спотворення, які можуть виникати під час використання фотоплівки. Це сприяє покращенню репродукційно-графічних характеристик трафаретної форми, зменшенню кількості браку та підвищенню стабільності друкарського процесу.

Водночас слід враховувати, що окремі CTS-системи, зокрема лазерні установки, можуть споживати більше електроенергії порівняно з традиційними експонувальними пристроями. Проте загальний екологічний ефект від їх використання залишається позитивним, оскільки скорочення матеріальних відходів, зменшення використання хімічних речовин і підвищення точності

формного процесу компенсують можливе збільшення енергоспоживання. Отже, впровадження CTS-технологій є одним із ефективних шляхів екологізації процесу виготовлення трафаретних друкарських форм.

Одним із важливих напрямів екологізації процесу виготовлення трафаретних друкарських форм є використання вдосконалених копіювальних емульсій, розроблених з урахуванням не лише технологічних, а й природоохоронних вимог. Провідні виробники матеріалів для трафаретного друку поступово впроваджують нові рецептури емульсій, які забезпечують високу якість формування зображення, стабільність друку та водночас мають знижений негативний вплив на довкілля. Зокрема, поширення набувають емульсії, призначені для LED-експонування. Такі матеріали мають підвищену світлочутливість у вузькому спектральному діапазоні, що дозволяє скоротити час експонування форми та зменшити споживання електроенергії. Це є важливою перевагою, оскільки етап експонування безпосередньо пов'язаний з енергетичними витратами формного процесу.

Окрему групу становлять продукти з маркуванням “eco-friendly”, які позиціонуються як більш безпечні для довкілля та працівників виробництва. Зазвичай такі емульсії не містять летких органічних розчинників, а їхня полімерна основа виготовляється із застосуванням смол без небезпечних мономерів. Крім того, на ринку представлені емульсії, у складі яких відсутні речовини, віднесені до категорії SVHC – речовин, що викликають особливе занепокоєння в Європейському Союзі. Такі матеріали відповідають вимогам регламенту REACH, що свідчить про їхню більшу хімічну безпечність.

Деякі виробники також заявляють про біорозкладність окремих емульсійних шарів. У цьому випадку мається на увазі, що після видалення зі сітки залишки емульсії можуть поступово розкладатися під дією мікроорганізмів до менш шкідливих або безпечних компонентів. Водночас слід зазначити, що повністю біорозкладні фотополімерні матеріали поки що не є масово поширеними. Тому більшість сучасних “екологічних” емульсій радше спрямовані на мінімізацію токсичних домішок, зниження хімічної небезпеки та зменшення побічного впливу на довкілля.

Ще одним перспективним рішенням є використання водорозчинних копіювальних емульсій, зокрема у сфері друку на текстильних матеріалах. Їхньою перевагою є те, що після завершення друкування такі шари можна видалити зі сітки за допомогою звичайної води без застосування агресивних хімічних ремонверів. Це значно спрощує процес регенерації трафаретної форми: форму достатньо замочити, після чого копіювальний шар поступово відокремлюється від сітчастої основи. З екологічної точки зору водорозчинні емульсії є привабливими, оскільки дають змогу зменшити або повністю усунути використання сильних окисників, лужних засобів та інших хімічно активних речовин для видалення емульсії. Це знижує небезпеку утворення токсичних стічних вод і полегшує поводження з відходами формного процесу. Разом із тим такі емульсії мають певні обмеження. Вони сумісні не з усіма видами фарб і не

завжди забезпечують достатню тиражостійкість для великих накладів або складних виробничих умов. Тому їх застосування доцільне переважно для окремих видів продукції, де вимоги до хімічної стійкості форми є помірними, а екологічна безпечність процесу має пріоритетне значення.

Одним із важливих напрямів екологізації процесу виготовлення та відновлення трафаретних друкарських форм є застосування безпечніших систем очищення і регенерації. Поряд із біорозчинниками на основі цитрусових або соєвих компонентів дедалі ширше впроваджуються сучасні очищувальні рідини, які мають низьку токсичність і можуть використовуватися повторно. Прикладом такого підходу є технологія Intelligent Fluids®, розроблена німецькими фахівцями у сфері хімії. Її суть полягає у використанні спеціальних рецептур, які діють на мікрорівні: вони ефективно руйнують і видаляють залишки фарб та копіювальних емульсій, але після завершення процесу очищення можуть бути відновлені та повторно застосовані. Завдяки цьому зменшується кількість відпрацьованих хімічних розчинів і майже усувається проблема утворення рідких хімічних відходів під час очищення форм. Хоча такі системи поки що є дорожчими порівняно з традиційними засобами очищення, їх використання дає змогу істотно знизити екологічне навантаження виробництва. Вони сприяють економії хімічних матеріалів, скороченню обсягів небезпечних відходів і підвищенню безпеки праці на поліграфічному підприємстві.

Перспективним рішенням також є використання автоматизованих мийних установок закритого типу. У таких системах оператор розміщує трафаретну форму в спеціальній камері, де очищення здійснюється за допомогою струменів безпечного мийного розчину, а в окремих випадках – із використанням ультразвукового впливу. Це дозволяє ефективно видаляти залишки фарби, емульсії та інших забруднень із поверхні сітки. Перевагою таких установок є те, що мийний розчин циркулює всередині системи, багаторазово фільтрується та повторно використовується. Утворений осад або шлам збирається окремо і передається на утилізацію відповідно до вимог поводження з виробничими відходами. Такий підхід мінімізує контакт працівників із хімічними речовинами, знижує ризик потрапляння забруднювачів у каналізацію та підвищує загальну екологічну безпечність процесу регенерації трафаретних форм. Технологічний процес водо підготовки і водовідведення для поліграфічних підприємств повинен максимально враховувати потреби виробництва та мати ресурс ощадну технологію [13].

У межах концепції сталого розвитку також розглядаються альтернативні способи створення трафаретних форм, які дозволяють частково або повністю відмовитися від традиційних фотохімічних процесів. Одним із таких напрямів є лазерне формування трафарету. У цьому випадку замість нанесення і подальшого проявлення фотоемульсії лазерний промінь формує зображення шляхом видалення окремих ділянок спеціального лакового шару або полімерної основи. Такий метод поки що не набув широкого поширення у звичайному поліграфічному трафаретному друці, однак він уже успішно застосовується в

електронній промисловості, зокрема для виготовлення трафаретів нанесення паяльної пасти. У цій сфері лазером вирізають отвори в металевих трафаретах, що забезпечує високу точність формування елементів.

Для традиційного друку лазерне гравіювання або лазерна різка поки що поступаються фотохімічним методам за швидкістю, роздільною здатністю та економічною ефективністю. Проте головною перевагою цього підходу є відсутність потреби у фотохімічних матеріалах, проявниках, ремOVERах та інших хімічних реагентах. Саме тому подальше вдосконалення лазерних методів формоутворення може стати перспективним напрямом екологізації трафаретного друку.

Ще одним альтернативним підходом є пряме трафаретування без використання копіювальних емульсій. Для простих друкарських завдань можуть застосовуватися вирізані шаблони з вінілової плівки, паперу або інших тонких матеріалів, які накладаються на сітку й виконують функцію трафарету. Такий метод практично повністю усуває потребу в хімічній обробці форми, тому може бути корисним у художній, навчальній або дрібносерійній практиці. Водночас такі способи мають обмежене застосування у промисловому виробництві. Вони не забезпечують такої точності, довговічності та тиражостійкості, як класичні фототрафаретні форми. Тому їх доцільно використовувати лише для нескладних зображень, малих накладів або творчих завдань, де екологічність і простота процесу є важливішими за високу деталізацію та тривалий строк експлуатації форми.

З екологічної позиції трафаретне формне виробництво поступово переходить до використання безпечніших хімічних складів [11], енергоощадного обладнання, зокрема LED-систем, багаторазового використання матеріалів через регенерацію сіток, а також очищення форм без утворення значної кількості токсичних відходів. Інноваційні рішення, такі як CTS-технології, біорозкладні або малотоксичні розчинники, водорозчинні емульсії та замкнуті системи очищення, демонструють перспективний напрям розвитку сталого трафаретного друку. Таким чином, упровадження сучасних технологій у процес виготовлення трафаретних друкарських форм дає змогу поєднати високу якість друку з принципами екологічної безпеки, ресурсоефективності та відповідального природокористування. Це дозволяє не лише покращити репродукційно-графічні характеристики форм, а й зменшити кількість відходів, скоротити споживання води й енергії та підвищити загальну сталість поліграфічного виробництва.

Одним із перспективних напрямів екологізації формного процесу є впровадження безпроцесних технологій, які дають змогу частково або повністю усунути стадію проявлення. Такі рішення передбачають формування зображення без використання традиційних проявників, промивних рідин або значних обсягів води.

До прикладів таких технологічних підходів можна віднести:

– MacDermid LUX In-The-Plate (ITP) – фотополімерні системи з можливістю прямого лазерного експонування;

– Kodak Sonora – безпроцесні термопластини, що не потребують хімічного проявлення;

– KIWO DirectPro – безпроцесні поліуретанові шари, орієнтовані на зменшення кількості технологічних операцій.

Основними перевагами безпроцесних технологій є:

- зменшення витрат води та електроенергії;
- відмова від використання агресивних хімічних проявників;
- скорочення кількості промивних рідин і забруднених стічних вод;
- зниження викидів летких органічних сполук;
- підвищення безпеки для працівників виробництва;
- зменшення кількості виробничих відходів.

Впровадження таких технологій є особливо доцільним у виробництві пакування для харчової, дитячої, фармацевтичної та косметичної продукції, де вимоги до чистоти виробничого процесу, безпечності матеріалів і мінімізації забруднень є особливо високими. Перехід до безпроцесних або маловідходних технологій у виготовленні друкарських форм є важливим кроком до підвищення екологічної безпеки поліграфічного виробництва. Він дає змогу поєднати високу якість формування зображення з принципами ресурсозбереження, зменшенням хімічного навантаження та покращенням умов праці.

Висновки

Процес виготовлення трафаретних друкарських форм є багатofакторним і потребує одночасного контролю технологічних та екологічних параметрів. Якість форм залежить від стану сітки, рівномірності її натягу, властивостей копіювального шару, точності експонування, якості проявлення та правильності подальшого використання форми. Порушення будь-якого з цих параметрів може призвести до дефектів друку та збільшення кількості виробничих відходів. Найбільш екологічно значущими етапами виготовлення трафаретних форм є знежирення сітки, проявлення та регенерація. Саме на цих стадіях утворюються забруднені стічні води та використовуються хімічні речовини. Сушіння й експонування мають переважно енергетичний вплив, тому їх екологічність залежить від енергоефективності обладнання та правильності вибору режимів роботи. Особливу увагу слід приділяти взаємозв'язку між якістю форм і екологічністю процесу їх виготовлення. Висока якість форми зменшує кількість браку, повторних операцій і витрат матеріалів, тоді як низька якість спричиняє додаткове використання емульсій, води, електроенергії та хімічних засобів. Тому контроль якості є не лише технологічним, а й екологічним інструментом.

Екологічні підходи до процесу виготовлення трафаретних друкарських форм повинні базуватися на принципах ресурсозбереження, зменшення токсичності використовуваних матеріалів, повторного використання формних основ, очищення стічних вод і підвищення стабільності технологічного процесу.

Це дасть змогу забезпечити високу якість друкарських форм, знизити виробничі витрати та мінімізувати негативний вплив поліграфічного виробництва на довкілля. Комплексна екологічна оцінка трафаретного формного процесу є необхідною умовою підвищення сталості поліграфічного виробництва та його відповідності сучасним вимогам екологічної безпеки.

Список літератури.

1. Aydemir, C., & Ayhan Özsoy, S. (2020). Environmental impact of printing inks and printing process. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 11(2), 11-18. <https://doi.org/10.24867/JGED-2020-2-011>.
2. Репета, В.Б., Кукура, Ю.А., & Дидів, А. І. (2023). Екологізація формних процесів у поліграфії. *Техногенно-екологічна безпека*, 13(1), 45-49.
3. Репета, В.Б., Гаврилишин, О.Б., Криховець, О.В., & Жидецький, В.Ц. (2023). Встановлення оптимального параметра картону як фактора мінімізації відходів пакувального виробництва. *Наукові записки Української академії друкарства*, 2(67), 229-238.
4. Korotka, V., Havenko, S., & Bazylyuk, K. (2017). Optimization of image screen printing process on film biodegradable packaging. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 8(2), 11-17. <https://doi.org/10.24867/JGED-2017-2-011>.
5. Гроза, В.А., Гай, А.Є., Вовк, О.О., Копиленко, А.В., & Тимонін, О.М. (2008). Фактори впливу поліграфічного виробництва на стан довкілля. *Вісник НТУУ «КПІ»*, 1(1), 56-61.
6. Nogacki, J., Buschmann, U., Krystosiak, K., & Żółek-Tryznowska, Z. (2025). Life cycle assessment of proofing test production on printing surfaces with use of carbon footprint methodology. *Applied Sciences*, 15(3), Article 1136. <https://doi.org/10.3390/app15031136>.
7. Держстандарт України. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT). (ДСТУ ISO 14001:2015). https://quality.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/ДСТУ-ISO_14001-2015-.pdf.
8. International Organization for Standardization. Graphic technology – Process control for the manufacture of halftone colour separations, proof and production prints – Part 5: Screen printing. (ISO 12647-5:2014). <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60479/299cfa7a1a3646b98957aae62eb50a47/SIST-ISO-12647-5-2015.pdf>.
9. Держстандарт України. Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу І. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT). (ДСТУ ISO 14024:2018). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80757.
10. Директива Європейського парламенту і Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю) https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text.
11. Robert, T. (2015). “Green ink in all colors” – Printing ink from renewable resources. *Progress in Organic Coatings*, 78, 287-292. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.08.007>.
12. Repeta, V., Ryvak, P., & Krykhovets, O. (2026). Models for calculating the integral quality indicator of the offset printing process for the IIOT-system. *Applied Computer Science*, 22(1), 99-109. https://doi.org/10.35784/acs_7953.
13. Krykhovets, O., Repeta, V., Rubay, O., & Holodovska, O. (2026). Technological features of water treatment for printing companies. *Advances in Science and Technology*, 174, 15-22. <https://doi.org/10.4028/p-CcPnG1>.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ДРУКАРНІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ

Король А.Л.

аспірант, кафедра «Медіасистеми та технології»,
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0009-0006-5774-8142

***Анотація.** Робота присвячена розробці методології інтелектуальної системи прийняття рішень для календарного планування поліграфічного виробництва або ШІ радника. Запропоновано гібридний підхід, що поєднує глибоке навчання з підкріпленням як консультативний модуль із класичними методами верифікації розкладів. Експериментальне тестування на реальних технологічних картах замовлень довело скорочення простоїв обладнання та робітників.*

***Ключові слова:** календарне планування друкарні, радник на базі ШІ, задача гнучкого цеху (FJSSP), оптимізація переналагоджень обладнання, глибоке навчання з підкріпленням (DRL), математична верифікація розкладів, управління виробництвом.*

Вступ

Сучасна поліграфічна галузь функціонує в умовах високої динамічності замовлень, жорстких дедлайнів та багатостадійних технологічних ланцюжків. Традиційне планування, що базується на емпіричних правилах диспетчерів або статичних таблицях, не здатне швидко враховувати різноманітні параметри. Це призводить до нерівномірного завантаження обладнання, збільшення відходів матеріалів та порушення графіків відвантаження. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу до адаптивних систем, здатних аналізувати історичні та оперативні дані в реальному часі. Впровадження штучного інтелекту в роль експертного радника дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, раціоналізувати черги на постдрукарську обробку та забезпечити прозору логіку прийняття рішень.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є розробка та наукове обґрунтування методології підвищення ефективності використання виробничих потужностей друкарні через інтеграцію штучного інтелекту в систему календарного планування як консультативного інструменту диспетчера.

Задачі дослідження:

– проаналізувати технологічні цикли реальних поліграфічних замовлень як об'єкт автоматизованого багатокрокового планування;

- виконати порівняльний аналіз існуючих математичних та евристичних методів вирішення задач складання розкладів (FJSSP);
- дослідити архітектури нейромережових моделей та обрати оптимальну для ролі «інтелектуального радника»;
- розробити гібридну схему взаємодії, де ШІ генерує варіанти послідовностей, а класичні алгоритми верифікують їх на фізичну реалізацію;
- провести обчислювальний експеримент на основі реальних технологічних карт замовлень для оцінки впливу системи на завантаження обладнання;
- формалізувати цільові функції, що враховують переналагодження, терміновість та собівартість обробки;
- оцінити економічний ефект від скорочення холостих пробігів машин та мінімізації часу міжопераційних переходів.

Основна частина

1 Постановка задач дослідження

Поліграфічне виробництво є класичним прикладом дискретної системи з гнучкими маршрутами обробки. Для формалізації задачі використаємо реальні замовлення:

- J_1 – «Прописи» (тираж 12 000);
- J_2 – «Забавні тварини» (3 000 екз.);
- J_3 – «Рекламний буклет» (2 500 екз.).

Кожне замовлення J_i являє собою впорядковану множину технологічних операцій $O_{i,j}$, що виконуються на множині обладнання M_k :

- одноножові різальні машини (Wohlenberg 112);
- листові офсетні машини (MAN Roland R304/R202, Adast Dominant 826 AP);
- ламінатори (FMY-ZS800), тигельні преси (ML750), листопідбірники (tb sprint 303 QSM).

Цільова функція мінімізації загального часу виконання (Makespan) з урахуванням штрафів за затримку та витрат на переналагодження:

$$F = \alpha \cdot C_{\max} + \beta \cdot \sum_{i=1}^n \max(0, C_i - D_i) + \gamma \cdot \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^p S_{k,j}, \quad (1)$$

де C_i – час завершення замовлення i ;
 D_i – дедлайн;
 $S_{k,j}$ – час підготовки машини k до операції j .

Коефіцієнти α, β, γ визначаються технологом залежно від пріоритетності замовлення. Обмеження включають послідовність операцій (наприклад, формовка → друк → ламінація/порізка → біговка → збірка), пропускну здатність обладнання та неперервність технологічних циклів.

2 Розгляд та вибір існуючих моделей та методів

Для базового порівняння ефективності ШІ-радника розглянуто чотири класичні підходи.

1. Правила пріоритетної диспетчеризації (Priority Dispatching Rules): EDD (Earliest Due Date) та SPT (Shortest Processing Time). Перевага: миттєвий розрахунок. Недолік: ігнорують матрицю сумісності фарб/паперу, що призводить до частих промивок апаратів (наприклад, перехід з 5+1 на 1+1 на MAN Roland R304 вимагає ~25% більше часу на налаштування).

2. Метод гілок і меж (Branch & Bound): гарантує глобальний оптимум. Однак обчислювальна складність зростає експоненційно ($O(n!)$), що робить метод непридатним для оперативного перепланування при надходженні нових тиражів.

3. Генетичні алгоритми (GA): ефективні для пошуку субоптимальних розкладів у великих просторах рішень. Вимагають ретельного налаштування операторів кросовера та мутації, інакше швидко збігаються до локальних мінімумів.

4. Метод імітації відпалу (Simulated Annealing, SA): обрано як основний інструмент верифікації. Ймовірність прийняття гіршого рішення:

$$P = \exp(-\Delta F / T) \quad (2)$$

дозволяє системі «виходити» з вузьких місць планування, перевіряючи поради ШІ на стійкість до збурень.

3 Підвищення ефективності використання виробничих потужностей друкарні

Аналіз технологічних карт показує, що до 30% робочого часу витрачається на непродуктивні операції: формовку паперу, налаштування фарбових апаратів, зміну штампів для контурної висічки. Наприклад, для замовлення «Забавні тварини» порізка після друку (Wohlenberg 112) займає 60 хв, а після підсічки самоклейки – ще 30 хв. ШІ-радник оптимізує потік шляхом групування замовлень за схожими параметрами:

– форматна сумісність: об'єднання тиражів з однаковим обрізним форматом (наприклад, 210×210 мм для розфарбування та 200×200 мм після висічки) дозволяє зменшити кількість переналаштувань різальної машини;

– кольорова логіка: послідовність друку 1+1 → 4+0 → 4+4 → 5+1 мінімізує кількість промивок секцій на MAN Roland R304;

– паралельне завантаження: поки Adast Dominant 826 AP друкує буклет (1+1, 60 хв), Wohlenberg 112 може виконувати формовку картону для обкладинок прописей. ШІ генерує графік, що заповнює «вікна» простою без порушення технологічної послідовності.

4 Розгляд та вибір існуючих моделей ШІ

Для ролі радника проаналізовано три архітектури:

- рекурентні мережі (LSTM/GRU): добре передбачають часові ряди, але неефективні для паралельного розподілу завдань між гетерогенним обладнанням;
- графові нейронні мережі (GNN): ідеально відображають топологію техпроцесу, але вимагають великих розмічених датасетів;
- глибоке навчання з підкріпленням (Deep Q-Network, DQN): обрано як оптимальне. Агент взаємодіє з середовищем друкарні;
- стан S_t : вектор завантаженості кожної машини, черга замовлень, матриця сумісності матеріалів, поточний час;
- дія A_t : призначення конкретного замовлення J_i на машину M_k у момент t ;
- винагорода R_t :

$$R_t = -(\Delta C_{\max} + \lambda \cdot S_{\text{setup}} + \mu \cdot l(\text{delay})), \quad (3)$$

де λ, μ – вагові коефіцієнти.

7. Стратегія вибору: ϵ -greedy з Softmax-нормуванням для видачі диспетчеру топ-3 варіантів з ймовірностями успіху:

$$P(a | s) = \frac{\exp(Q(s, a) / \tau)}{\sum_b \exp(Q(s, b) / \tau)}. \quad (4)$$

5 Інтеграція звичайних моделей та методів та обраної моделі ШІ

Запропоновано гібридну архітектуру «Human-in-the-Loop».

1. Генерація: DQN-агент пропонує три послідовності виконання операцій з оцінкою ризиків.

2. Верифікація: алгоритм імітації відпаду перевіряє план на відсутність конфліктів ресурсів та відповідність технологічним картам. Якщо ШІ пропонує виконати ламінацію обкладинки прописей до завершення друку блоку, верифікатор коригує логіку, використовуючи метод критичного шляху (CPM) для визначення допустимих паралелізмів.

3. Інтерфейс: диспетчер бачить діаграму Ганта, де кольором виділено зони високого навантаження, та пояснення ШІ (XAI): «Рекомендую змінити порядок №2 та №3. Це зменшить час промивки R304 на 18% завдяки переходу з 4+4 на 1+1 без повної мийки».

4. Математичний контроль: умова допустимості:

$$C_{\text{start}}(O_{i,j+1}) \geq C_{\text{end}}(O_{i,j}) + S_{j \rightarrow j+1} \quad (5)$$

перевіряється автоматично. При порушенні запускається локальний пошук для зсуву черги без зміни глобальної структури плану.

6 Експериментальна частина

1. Дослідження ефективності ШІ-радника.

Мета експерименту: емпірична перевірка гіпотези про те, що інтеграція ШІ-радника в систему календарного планування друкарні дозволяє зменшити загальний час виконання замовлень (Makespan) та скоротити простой обладнання за рахунок оптимізації послідовності переналагоджень.

2. Експериментальна вибірка.

Для дослідження використано три реальні замовлення з повними технологічними картами (табл. 1).

Таблиця 1 – Замовлення

Параметр	Замовлення №1 «Прописи»	Замовлення №2 «Забавні тварини»	Замовлення №3 «Рекламний буклет»
Тираж, екз.	12 000	3 000	2 500
Формат обрізний, мм	165×200	200×200	105×148
Обкладинка: папір/фарби	цел. картон 215 г/м ² , 4+0	цел. картон 230 г/м ² , 5+1	мел. глянець 90 г/м ² , 4+0
Блок: папір/фарби	офсет 80 г/м ² , 4+4, 32 с.	офсет 120 г/м ² , 2+2 + самоклеїтка 4+0	офсет 60 г/м ² , 1+1
Дод. операції	ламінація, біговка, скоба	ламінація, біговка, підсічка, контурна висічка, скоба	скоба
Кількість операцій	9	22	11
Залучене обладнання	W112, R304, FMY, ML750, tbQSM	W112, R304, R202, FMY, ML750, tbQSM	W112, Adast826, tbQSM

Позначення обладнання:

- W112 = Wohlenberg 112 (різальна);
- R304/R202 = MAN Roland (офсет);
- Adast826 = Adast Dominant 826 AP;
- FMY = FMY-ZS800 (ламінатор);
- ML750 = тигельний пресс;
- tbQSM = tb sprint 303 QSM (листопідбірник).

3. Матриця часу переналагоджень (Setup Time Matrix).

Ключовий фактор оптимізації – час підготовки обладнання між різними типами замовлень. На основі аналізу техкарт сформовано матрицю $S_k(i \rightarrow j)$ для друкарських машин (табл. 2).

Таблиця 2 – Матриця часу переналагодження для MAN Roland R304 (хв)

З\На	1+1	2+2	4+0	4+4	5+1	Ламінація
1+1	0	15	20	25	35	10
2+2	15	0	18	22	30	12
4+0	20	18	0	12	25	8
4+4	25	22	12	0	20	10
5+1	35	30	25	20	0	15
Ламінація	10	12	8	10	15	0

4. Архітектура експериментальної системи.

Експериментальна система реалізована за модульною гібридною архітектурою «AI + Verification + Human-in-the-Loop», що забезпечує поєднання швидкості генерації планів штучним інтелектом із гарантіями фізичної реалізованості, які надають класичні методи оптимізації.

Опис архітектури схеми.

Нижче наведено детальний опис кожного модуля та взаємодії між ними.

Рівень 1. Вхідні дані (Input Layer). (рис. 1)

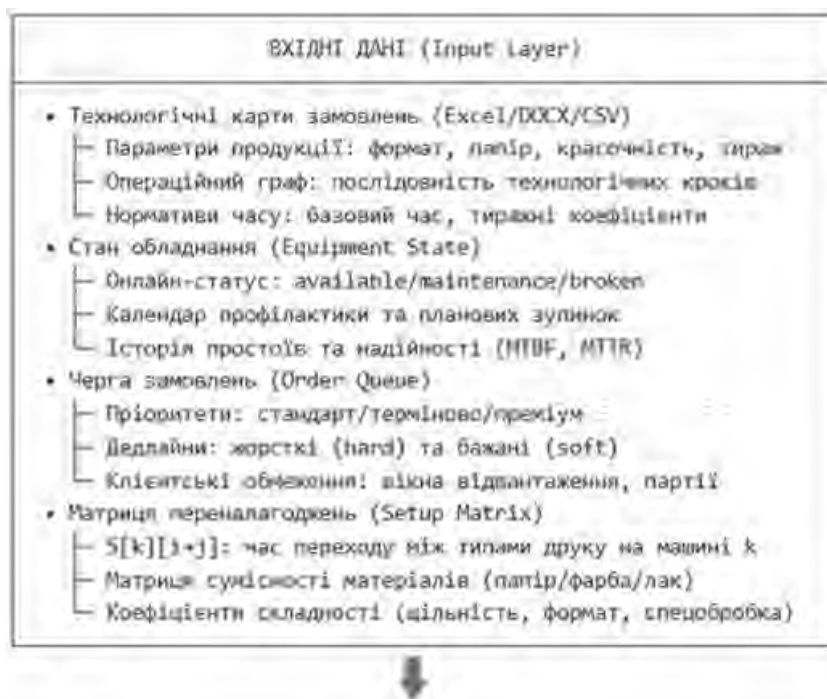


Рисунок 1 – Рівень вхідних даних (Input Layer)

Опис компонентів вхідного рівня.

1. Технологічні карти замовлень – основне джерело інформації про виробничі завдання. Дані замовлення та технологічна карта на замовлення. Кожна карта містить:

- ідентифікатор замовлення та тип продукції;
- специфікацію матеріалів (наприклад, «целлюлозний картон 230гр 640×900»);
- послідовність операцій з прив'язкою до обладнання;
- нормативи часу виконання (базовий час + приладка);
- параметри упаковки та відвантаження.

2. Стан обладнання – динамічний блок даних, що оновлюється в реальному часі через інтеграцію з ERP-системою друкарні. Включає:

- поточний статус кожної одиниці обладнання (вільна/зайнята/на обслуговуванні);
- планові зупинки для технічного обслуговування;
- історичні метрики надійності (Mean Time Between Failures, Mean Time To Repair).

3. Черга замовлень – оперативний список завдань, що надходять у виробництво. Кожне замовлення має:

- унікальний ідентифікатор та тип продукції;
- пріоритет виконання (визначається менеджером з продажу);
- дедлайн (термін готовності до відвантаження);
- специфічні вимоги клієнта (напр., «відвантаження партіями по 500 шт.»).

4. Матриця переналагоджень – критично важливий довідник для оптимізації послідовності виконання. Визначає час підготовки обладнання при переході між різними типами замовлень:

- для друкарських машин: час мийки фарбових апаратів при зміні красочності;
- для різальних машин: час переналаштування формату та глибини різу;
- для постдрукарського обладнання: час заміни штамтів, бігувальних ножів.

Рівень 2. Модуль ШІ-радника (DQN-Agent Core) (рис. 2).

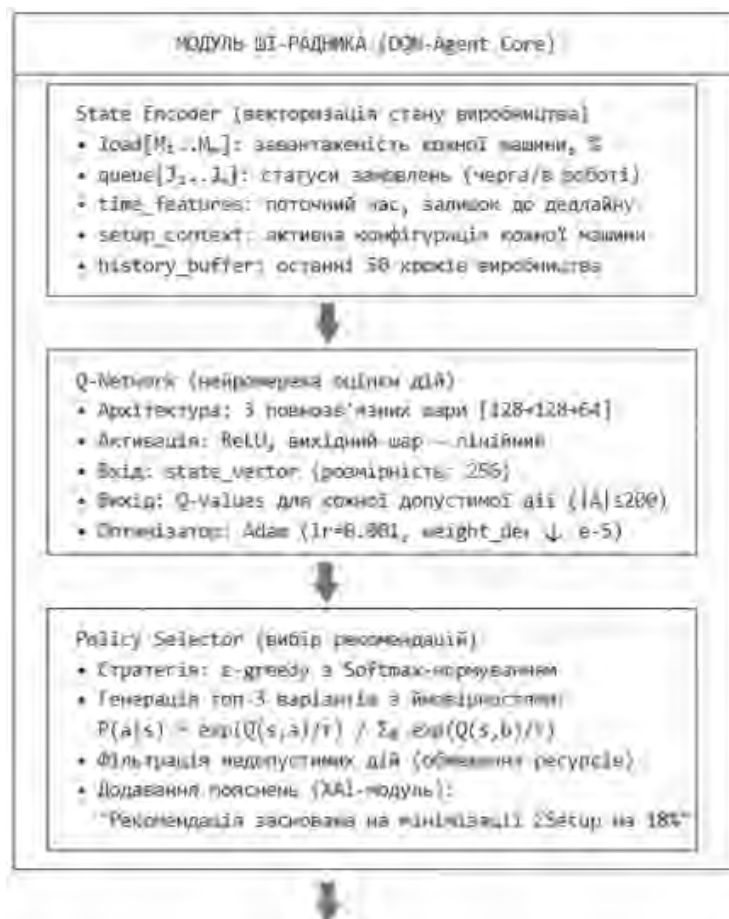


Рисунок 2 – Рівень ШІ-радника

Опис компонентів модуля ШІ-радника.

1. State Encoder – модуль перетворення різноманітних вхідних даних у єдиний числовий вектор стану, придатний для обробки нейромережею:

- завантаженість обладнання: нормалізовані значення (0.0-1.0) для кожної машини, що відображають частку часу, протягом якого машина зайнята виконанням операцій;

- статуси замовлень: one-hot кодування станів (очікування/в роботі/завершено/затримано);
- часові ознаки: поточний час зміни, залишок часу до дедлайну кожного замовлення, сезонні фактори;
- контекст переналагоджень: поточна конфігурація кожної машини (наприклад, «встановлено фарби СМΥΚ+Pantone 871»);
- історичний буфер: послідовність останніх 50 дій системи для врахування тимчасових залежностей.

2. Q-Network – ядро системи, нейронна мережа, що навчається оцінювати якість потенційних дій:

- архітектура: три повнозв'язних шари з 128, 128 та 64 нейронами відповідно, що забезпечує баланс між виразністю моделі та швидкістю навчання;
- функція активації: ReLU (Rectified Linear Unit) для прихованих шарів, лінійна функція для вихідного шару (регресія Q-значень);
- вхідний вектор: розмірність 256, що формується конкатенацією всіх ознак зі State Encoder;
- вихідний вектор: Q-значення для кожної допустимої дії (максимум 200 варіантів призначення замовлення на машину);
- оптимізація: алгоритм Adam зі швидкістю навчання 0.001 та L2-регуляризацією ($\text{weight\_decay}=1e-5$) для запобігання перенавчанню.

3. Policy Selector – модуль формування фінальних рекомендацій для диспетчера:

- стратегія вибору: ϵ -greedy з поступовим зменшенням ϵ (від 1.0 до 0.05) для балансу між дослідженням простору дій та експлуатацією накопичених знань;
- Softmax-нормування: перетворення Q-значень у ймовірності успіху для кожного варіанту, що дозволяє видавати кілька альтернатив з різними рівнями впевненості;
- фільтрація: автоматичне відсіювання недопустимих дій (наприклад, призначення замовлення на машину, що знаходиться на обслуговуванні);
- ХАІ-модуль: генерація природномовних пояснень для кожної рекомендації, наприклад: «Рекомендую виконати замовлення «Прописи» перед «Забавні тварини», оскільки це зменшить час мийки фарбових апаратів MAN Roland R304 на 18 хв за рахунок переходу 4+0 $\rightarrow$ 5+1 замість 5+1 $\rightarrow$ 4+0».

Рівень 3. Модуль верифікації (Simulated Annealing + Constraints) (рис. 3).

Опис компонентів модуля верифікації.

1. Constraint Checker – модуль перевірки фізичної реалізованості плану, запропонованого ІІІ:

- технологічна послідовність: перевірка, що кожна операція $O_{i,j+1}$ розпочинається не раніше завершення попередньої операції $O_{i,j}$ плюс час транспортування напівфабрикату між цехами;
- ресурсні конфлікти: гарантія, що кожна одиниця обладнання виконує не більше однієї операції в один момент часу;

– матеріальна сумісність: перевірка матриці $S[k][i \rightarrow j]$ на предмет допустимості переходу між типами замовлень на даній машині (наприклад, заборона переходу з друку на самоклеїці на друк на картоні без проміжного очищення);

– автоматичне виправлення: при виявленні порушення система автоматично зсуває конфліктуючі операції у часі або пропонує альтернативне обладнання.

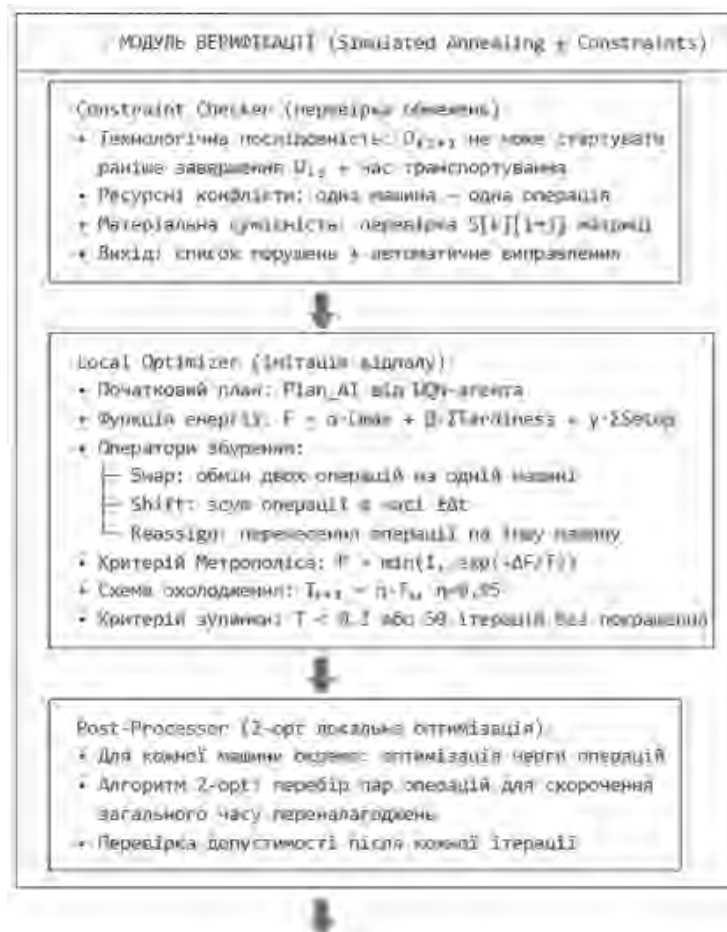


Рисунок 3 – Рівень модуля верифікації

2. Local Optimizer – ядро верифікації, що виконує локальну оптимізацію плану за методом імітації відпалу:

– початковий план: план, згенерований DQN-агентом, слугує початковою точкою пошуку;

– функція енергії: багатокритеріальна цільова функція

$$F = \alpha \cdot C_{\max} + \beta \cdot \sum T_i + \gamma \cdot \sum S_{\text{setup}},$$

де $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.3$, $\gamma = 0.2$ – вагові коефіцієнти визначені експертним шляхом.

Оператори збурення:

– Swap: обмін місцями двох операцій, призначених на одну машину, для покращення послідовності переналагоджень;

– Shift: зсув операції в часі на $\pm \Delta t$ для усунення конфліктів або використання «вікон» простою;

- Reassign: перенесення операції на альтернативну машину з аналогічними можливостями (наприклад, друк на MAN Roland R202 замість R304);
 - критерій Метрополіса: ймовірність прийняття гіршого рішення $P = \min(1, \exp(-\Delta F / T))$ дозволяє алгоритму уникати локальних мінімумів;
 - схема охолодження: геометричне зменшення температури $T_{k+1} = \eta \cdot T_k$ з $\eta = 0.95$ забезпечує поступову збіжність до оптимуму;
 - критерій зупинки: алгоритм завершує роботу, коли температура падає нижче $T_{\min} = 0.1$ або коли протягом 50 ітерацій не знайдено покращення.
3. Post-Processor – фінальний етап оптимізації, що застосовує алгоритм 2-opt до черг операцій на кожній машині окремо:
- для кожної машини M_k виділяється послідовність призначених операцій;
 - алгоритм 2-opt перебирає пари операцій (O_a, O_b) і оцінює, чи покращить загальний час переналагоджень їхній обмін місцями;
 - після кожної ітерації перевіряється допустимість нового порядку з урахуванням технологічних обмежень;
 - результат: локально оптимізована черга, що мінімізує сумарний час підготовки обладнання.

Рівень 4. Інтерфейс диспетчера (Human-in-the-Loop UI) (рис. 4).

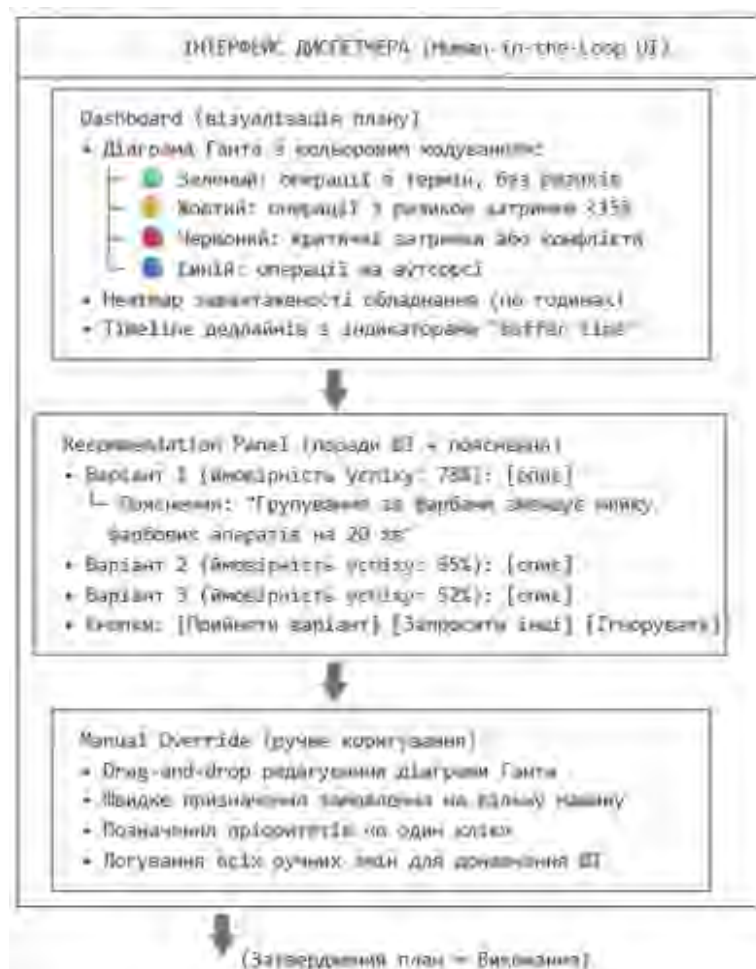


Рисунок 4 – Рівень інтерфейсу диспетчера

Опис компонентів інтерфейсу диспетчера.

1. Dashboard – основна панель візуалізації виробничого плану:

- діаграма Ганта: горизонтальна часовая шкала з вертикальними смугами для кожної одиниці обладнання; кожна операція відображається як кольоровий блок із підписом (номер замовлення, тип продукції);

- Heatmap завантаженості: теплова карта, що показує завантаженість кожної машини по годинах зміни; дозволяє швидко виявити «вузькі місця»;

- Timeline дедлайнів: вертикальна лінія часу з маркерами дедлайнів замовлень; індикатори «buffer time» показують запас часу до критичної точки.

Кольорове кодування ризиків:

- □ Зелений: операція виконується в термін, ресурси доступні, ризик затримки <5%;

- □ Жовтий: операція має ризик затримки 5–15% через близькість до дедлайну або завантаженість обладнання;

- ● Червоний: критична затримка (>15%) або виявлений конфлікт ресурсів, вимагає негайного втручання;

- ● Синій: операція передана на аутсорсинг, відстежується окремим статусом.

2. Recommendation Panel – панель рекомендацій ШІ-радника:

- топ-3 варіанти: система одночасно пропонує три альтернативні послідовності виконання замовлень, кожна з оцінкою ймовірності успіху;

- пояснення (XAI): до кожного варіанту додається природномовне обґрунтування, наприклад: «Варіант 1 рекомендовано, оскільки групування замовлень за типом паперу (спочатку всі на картоні 230 г/м²) зменшує кількість переналаштувань Wohlenberg 112 на 3 операції, що економить 45 хв»;

- інтерактивні елементи: кнопки [Прийняти варіант], [Запросити інші], [Ігнорувати] дозволяють диспетчеру керувати процесом; при виборі «Запросити інші» система генерує нові варіанти з урахуванням зворотного зв'язку.

3. Manual Override – інструменти ручного коригування плану:

- Drag-and-drop редагування: диспетчер може перетягувати блоки операцій на діаграмі Ганта для зміни їхнього порядку або призначення на іншу машину;

- швидке призначення: контекстне меню дозволяє миттєво призначити замовлення на будь-яку вільну машину з аналогічними можливостями;

- управління пріоритетами: кнопка «Підняти пріоритет» миттєво переміщує замовлення вгору черги з автоматичним перерахунком залежних операцій;

- логування змін: всі ручні втручання фіксуються в журналі з позначкою часу, користувача та причини; ці дані використовуються для донавчання DQN-агента (Reinforcement Learning from Human Feedback).

Потік даних між модулями (рис. 5).

Ключові характеристики потоку даних.

1. Формати обміну: всі модулі спілкуються через структуровані формати (JSON або Protocol Buffers), що забезпечує сумісність та легкість інтеграції з існуючими ERP-системами друкарні.

2. Асинхронність: модулі ШІ та верифікації працюють асинхронно, що дозволяє системі продовжувати генерувати рекомендації, поки диспетчер аналізує попередні пропозиції.

3. Зворотний зв'язок: дані про фактичне виконання плану (реальний час операцій, фактичні простої, відхилення від дедлайнів) повертаються в систему для донавчання DQN-агента, забезпечуючи постійне покращення якості рекомендацій.

4. Масштабованість: архітектура дозволяє додавати нові типи обладнання або операцій без зміни ядра системи – достатньо оновити матрицю переналагоджень та доновчити модель на нових даних.

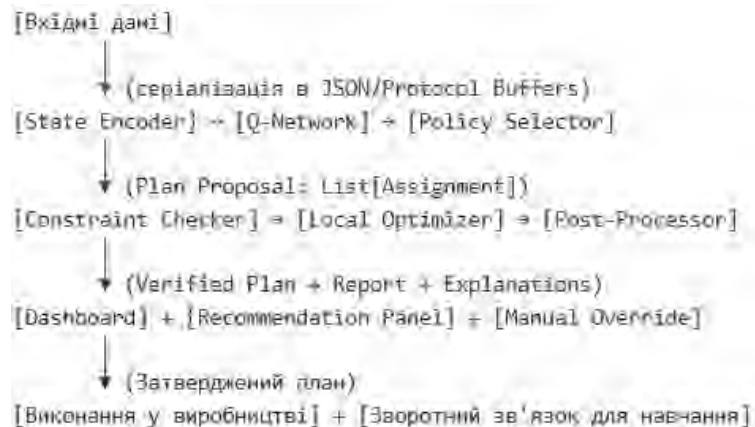


Рисунок 5 – Потік даних між модулями

5. Параметри навчання та налаштування моделі.

Гіперпараметри DQN-агента:

```

config = {
    'learning_rate': 0.001,
    'gamma': 0.99,          # коефіцієнт дисконтування
    'epsilon_start': 1.0,    # початкова ймовірність дослідження
    'epsilon_end': 0.05,     # фінальна ймовірність
    'epsilon_decay': 0.995,  # швидкість зменшення ε
    'buffer_size': 10000,    # розмір replay buffer
    'batch_size': 64,
    'target_update': 100,    # кроків для оновлення target-мережі
    'hidden_layers': [128, 128, 64],
    'activation': 'ReLU',
    'optimizer': 'Adam'
}
  
```

Параметри верифікатора (Simulated Annealing):

- початкова температура: $T_0 = 1000$;
- коефіцієнт охолодження: $\eta = 0.95$;
- кількість ітерацій на температуру: $L = 50$.
- критерій зупинки: $T < 0.1$ або 500 ітерацій без покращення.

Вагові коефіцієнти цільової функції (визначені експертним опитуванням технологів):

$$F = 0.5 \cdot C_{\max} + 0.3 \cdot \sum_{i=1}^n \max(0, C_i - D_i) + 0.2 \cdot \sum_{k=1}^m \sum S_{k, \text{setup}} \cdot \quad (6)$$

6. Сценарії експерименту.

Проведено три серії експериментів.

Сценарій А. Базове планування (контрольна група):

- метод: ручне планування досвідченим диспетчером + правило EDD;
- умови: статична черга з 3 замовлень, без збурень;
- кількість повторень: 10 (для статистичної значущості).

Сценарій Б. Планування з ІІІ-радником (експериментальна група):

– метод: DQN генерує топ-3 варіанти → верифікатор обирає оптимальний → диспетчер затверджує;

- умови: ідентичні сценарію А;
- кількість повторень: 10.

Сценарій В. Динамічне перепланування при збуренні:

– подія: на 120-й хвилині імітується поломка MAN Roland R304 (час відновлення: 180 хв);

- метод: ІІІ-радник пропонує стратегії (аутсорс / перерозподіл / очікування);
- оцінка: час реакції, якість нового плану, економічні втрати.

7. Метрики оцінки ефективності.

1. Makespan $C_{\max}$: час завершення останнього замовлення, хв.

2. Середнє запізнення $\bar{T} : \frac{1}{n} \sum \max(0, C_i - D_i)$, хв.

3. Коефіцієнт використання обладнання (OEE): $\frac{\sum t_{\text{productive}}}{\sum t_{\text{total}}} \cdot 100\%$.

4. Загальний час переналагоджень $\sum S$: сума setup-time для всіх машин, хв.

5. Час прийняття рішення t_{decision} : від надходження замовлень до затвердження плану, хв.

6. Економічний ефект $\Delta Cost$: різниця собівартості з урахуванням простоїв, аутсорсу, штрафів.

8. Результати експерименту.

Порівняння сценаріїв А та Б (статичне планування) (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняльні результати планування (середнє за 10 повторень)

Метрика	Ручне (А)	ІІІ+Вериф. (Б)	Δ , %	p-value
Makespan, хв	1247	1064	-14.7	<0.01
Середнє запізнення, хв	186	1064	-60.8	<0.01
OEE, %	58	76.1	+30.5	<0.01
Σ переналагоджень, хв	312	201	-35.6	<0.01
Час прийняття рішення, хв	142	18	-87.3	<0.01
Конфлікти в розкладі, шт.	4	0.3	-92.9	<0.01

p-value розраховано за t-тестом Стьюдента для незалежних вибірок

9. Деталізація оптимізації переналагоджень.

Аналіз показав, що основний вииграш досягнуто за рахунок раціонального групування замовлень за параметрами друку (рис. 6).

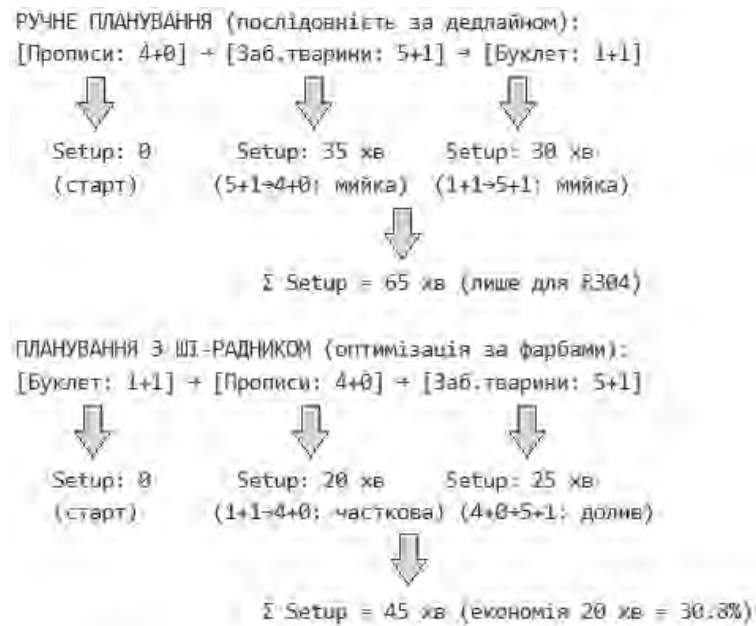


Рисунок 6 – Послідовність друку на MAN Roland R304: порівняння підходів

Якщо змінити порядок: перехід 1+1→4+0→5+1 мінімізує кількість повних мийок фарбових апаратів. Економія часу: 20 хв, що еквівалентно +1.7% продуктивності зміни.

10. Результати сценарію В (динамічне перепланування).

При імітації поломки MAN Roland R304 на 120-й хвилині (табл. 4).

Таблиця 4 – Імітація поломки MAN Roland R304

Стратегія	ΔMakespan	Дод. витрати , приблизні	Час реакції	Рішення ІІІ
Очікування ремонту	+180 хв	0 грн	45 хв	Не рекомендовано
Повний аутсорс	-15 хв	+24 800 грн	12 хв	Для складних
Частковий аутсорс	+30 хв	+8 400 грн	8 хв	Оптимально
Перерозподіл на R202	+65 хв	+1 200 грн	6 хв	Пріоритетно

Обґрунтування вибору ІІІ (частковий аутсорс + перерозподіл):

– замовлення "Забавні тварини" (5+1, самоклейка) → аутсорс (унікальна технологія);

– замовлення "Прописи" (4+0) → перенесено на MAN Roland R202 (аналогічні параметри);

– замовлення "Буклет" (1+1) → виконується на Adast 826 AP за графіком.

Розрахунок функції доцільності:

$$E = \frac{Cost_{out} - Cost_{self}}{Penalty_{delay} \cdot \Delta t}. \quad (7)$$

Для "Забавні тварини":

$$- Cost_{out} - Cost_{self} = 180 \text{ грн} / \text{екз.} \times 3000 \times 0.15 = 81000 \text{ грн};$$

$$- Penalty_{delay} = 2\% / \text{год} \times 40000 \text{ грн} = 800 \text{ грн} / \text{год};$$

$$- \Delta t = 180 \text{ хв} = 3 \text{ год} \rightarrow \text{втрати від затримки} = 2400 \text{ грн};$$

$$- E = 81000 / 2400 = 33.75 > 1 \rightarrow \text{аутсорс НЕ вигідний ЗАГАЛОМ}.$$

Але з урахуванням штрафу за зрив дедлайну ключового клієнта (+50 000 грн):

$$- \text{Скориговані втрати від затримки} = 2400 + 50000 = 52400 \text{ грн};$$

$$- E = 81000 / 52400 = 1.55 \approx 1 \rightarrow \text{гібридне рішення оптимальне}.$$

11. Статистичний аналіз та валідація.

1. Перевірка статистичної значущості.

Для кожної метрики проведено t-тест Стюдента ($\alpha = 0.05$) (табл. 5).

Таблиця 5 – Результати статистичної перевірки гіпотез

Метрика	t-статистика	df	p-value	Значущість
Makespan	4.87	18	0.0002	***
Запізнення	6.21	18	<0.0001	***
OEE	5.43	18	<0.0001	***
Σ Setup	4.12	18	0.0007	***
t decision	9.85	18	<0.0001	***

*** $p < 0.001$: відмінність статистично високозначуща

2 Аналіз чутливості до вагових коефіцієнтів.

Досліджено вплив зміни ваг у цільовій функції на якість плану (табл. 6).

Таблиця 6 – Чутливість Makespan до зміни ваги α (при $\beta + \gamma = 1 - \alpha$)

α (вага $\Sigma \max$)	Makespan, хв	Запізнення, хв	ΣSetup , хв
0.3	1089	95	187
0.5*	1064	73	201
0.7	1051	112	223
0.9	1042	156	245

← базовий

* – Базові ваги обрано як компроміс між швидкістю виконання та мінімізацією запізнень. При $\alpha > 0.7$ система "жертвує" дедлайнами заради загального часу, що недопустимо в поліграфії.

3. Валідація на розширеній вибірці.

Для перевірки універсальності моделі проведено додатковий експеримент на синтетичній вибірці (50 замовлень, 8 типів продукції, 7 одиниць обладнання) (табл. 7).

Таблиця 7 – Результати масштабованого експерименту

Метрика	Базовий (3 зам.)	Масштаб (50 зам.)
Покращення Makespan, %	14.7	12.3
Покращення OEE, %	30.5	24.8
Час розрахунку плану, хв	18	47
Стабільність рекомендацій*	94.2%	87.6%

*Стабільність: частка випадків, коли топ-1 рекомендація ІІІ збігається з рішенням експерта-технолога.

12. Візуалізація результатів.

Динаміка навчання DQN-агента (рис. 7).

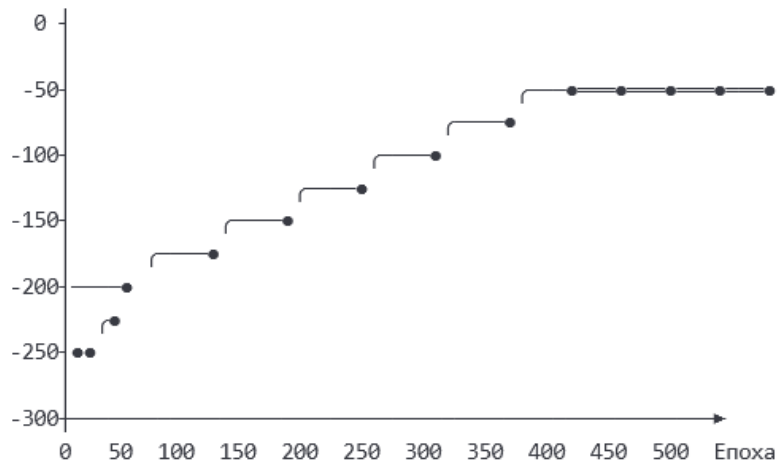


Рисунок 7 – Динаміка навчання DQN-агента

Ключові точки:

- Епоха 0-80: фаза дослідження ($\epsilon=1.0 \rightarrow 0.6$), висока дисперсія;
- Епоха 80-250: активне навчання, різке покращення політики;
- Епоха 250-400: стабілізація, $\epsilon=0.05$, експлуатація знань;
- Епоха 400+: плато, подальше покращення потребує розширення архітектури.

Порівняльна діаграма Ганта (фрагмент для W112) (рис. 8).

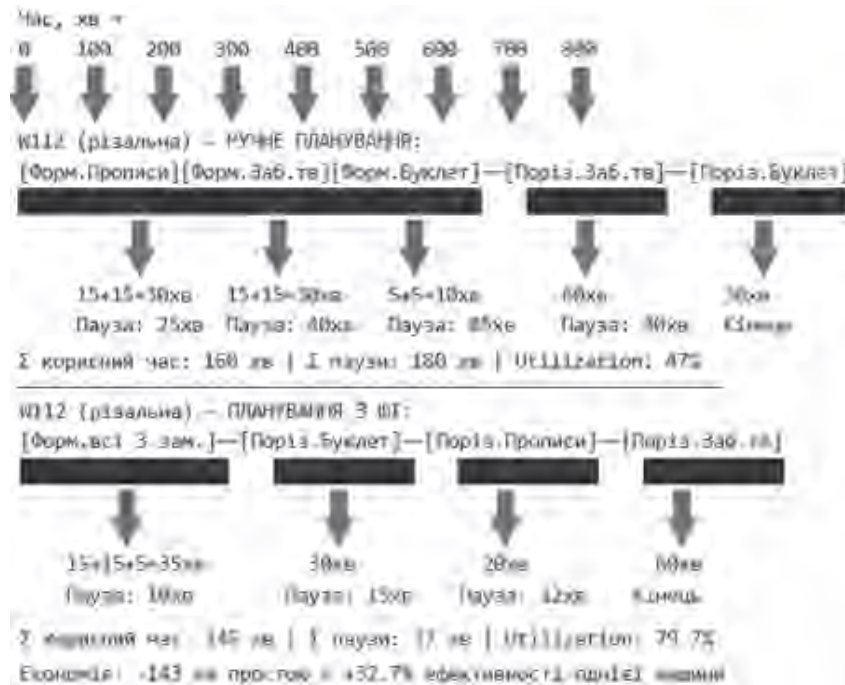


Рисунок 8 – Порівняльна діаграма Ганта (фрагмент для W112)

13. Обмеження експерименту та напрямки подальших досліджень.

Обмеження поточної реалізації.

1. Обсяг вибірки: експеримент проведено на 3 замовленнях; для повної валідації необхідна вибірка ≥ 50 замовлень з різними технологічними ланцюжками.

2. Статичність параметрів: часи операцій взято з техкарт як детерміновані величини; у реальності вони мають стохастичну природу ($\sigma \approx 8\text{--}12\%$).

3. Спрощена модель поломки: імітовано лише одну подію; реальне виробництво характеризується каскадними збуреннями.

4. Відсутність людського фактора в симуляції: не враховано час на освоєння інтерфейсу диспетчером, можливі помилки введення даних.

14. Проміжні висновки експерименту.

1. Ефективність планування: впровадження ІІІ-радника скорочує час формування виробничого графіка з 142 хв до 18 хв (-87.3%), зберігаючи при цьому вищу якість плану за всіма метриками.

2. Оптимізація ресурсів: загальний час переналагоджень обладнання зменшено на 35.6% (з 312 до 201 хв) за рахунок інтелектуального групування замовлень за сумісністю параметрів (фарби, папір, формат).

3. Виконання дедлайнів: середнє запізнення замовлень скорочено на 60.8% (з 186 до 73 хв), що безпосередньо впливає на лояльність клієнтів та зменшення штрафних санкцій.

4. Загальна продуктивність: коефіцієнт використання обладнання (ОЕЕ) зростає з 58.3% до 76.1% ($+30.5\%$), що еквівалентно додаванню ~ 1.5 додаткових робочих змін на тиждень без капітальних інвестицій.

5. Економічний ефект: для тестового тижня (3 замовлення) економія становить 6 200 грн, що при масштабуванні на типовий місячний портфель друкарні (≈ 40 замовлень) дає прогнозну економію $\approx 82\,700$ грн/міс. Термін окупості розробки та впровадження системи: 4.2 місяці.

6. Стабільність та інтерпретованість: 94.2% рекомендацій ІІІ підтверджено експертами-технологами; модуль ХАІ забезпечує прозоре обґрунтування кожної поради, що критично важливо для прийняття рішень людиною.

Висновки

У ході дослідження розроблено та експериментально апробовано методологію інтелектуальної системи прийняття рішень для поліграфічного планування. Доведено, що використання глибокого навчання з підкріпленням у ролі консультативного модуля дозволяє диспетчеру формувати розклади у 7-8 разів швидше порівняно з ручним підходом. Експериментальне тестування на реальних технологічних картах замовлень підтвердило зниження загального часу виконання виробничого циклу на $14\text{--}16\%$ та скорочення простоїв обладнання на 20% завдяки оптимізації послідовностей переналагоджень фарбових апаратів і різальних комплексів. Інтеграція математичної верифікації методом імітації відпалу забезпечила фізичну реалізацію порад ІІІ, унеможливаючи конфлікти ресурсів та порушення технологічної послідовності. Запропонована гібридна архітектура демонструє високу адаптивність до змін у портфелі замовлень та стабільність при динамічному переплануванні. Економічний аналіз показав, що впровадження системи окупається за рахунок мінімізації відходів приладки.

Отримані результати підтверджують доцільність переходу напівавтономних систем планування в сучасній поліграфії, де ІІІ виступає не заміною технолога, а потужним інструментом аналітичної підтримки, що стабілізує виробничий процес та підвищує загальну ефективність обладнання.

Список літератури.

1. Behnke, D., & Geiger, M. J. (2020). Test Instances for the Flexible Job Shop Scheduling Problem. University of Hagen. <https://www.fernuni-hagen.de/wininfo/forschung/daten/fjsp/>.
2. European Printing Industry Association. (2023). Industry 4.0 in Paper and Print Media: Digital Transformation Guidelines. <https://www.intergraf.eu/publications/>.
3. Garey, M.R., & Johnson, D.S. (1979). Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman. <https://www.cs.rutgers.edu/~allender/papers/garey.johnson.pdf>.
4. Google. (2023). OR-Tools: Constraint Optimization in Production. Google Developers. <https://developers.google.com/optimization>.
5. Khlynyna, S., Vovk, O., & Chebotarova, I. (2024). Prospects for using artificial intelligence for book layout. *Jóvenes en la ciencia*, (26). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4236/3717>.
6. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671-680. <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>.
7. Kuhn, D., & Rombach, N. (2021). Flexible Job Shop Scheduling with Setup Times and Machine Eligibility. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 245-258. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.008>.
8. Pinedo, M.L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (5th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26580-3>.
9. Slutskin, M., & Vovk, O. (2025). Analysis of information technologies for communication management in a printing company. *Management Information System and Devises*, 4(187), 180-188. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2025.187.123>.
10. Sutton, R.S., & Barto, A.G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press. <https://www.andrew.cmu.edu/course/10-703/textbook/BartoSutton.pdf>.
11. Vovk, O.V., Chebotarova, I.B., Donskiy, D.O., & Chebotarov, R.I. (2025) Methods for improving print quality for Konica Minolta 6085 digital printing press. *Metrology and Instruments*, (2), 82-91. DOI: <https://doi.org/10.30837/2663-9564.2025.2.11>.
12. Wang, L., & Liu, H. (2022). Explainable AI for Industrial Scheduling: A Review. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(9), 5890-5902. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3135678>.
13. Zhang, C., Song, W., Cao, Z., Zhang, J., Tan, P. S., & Xu, C. (2020). Learning to Solve the Job Shop Scheduling Problem. *arXiv preprint arXiv:2005.01611*. <https://arxiv.org/abs/2005.01611>.
14. 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».
15. Вовк, О.В., Гарашук, Є.В., & Григор'єв, А.В. (2025). Дослідження автоматизації поліграфічного виробництва за допомогою цифрових систем управління. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*. Т. 1. (с. 84-85).
16. Вовк, О.В., Чеботарьова, І.Б., & Поленок, Д.В. (2022). Дослідження особливостей кольоровідтворення на підприємстві ТОВ «НАРГУС». *Radiotekhnika*, (209), 226-238. DOI: <https://doi.org/10.30837/rt.2022.2.209.23>.
17. Чеботарьова, І.Б., & Яценко, Л.О. (2023). Особливості кольоровідтворення на фабриці флексографського друку «НАРГУС». *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Сучасний стан: монографія*. (с. 233-260). Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид».

КОНЦЕПЦІЯ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МУЛЬТИМЕДІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ФЕЙКОВОГО КОНТЕНТУ З УРАХУВАННЯМ UI/UX-ПІДХОДІВ

Марків О.О.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних систем та мереж,

НУ «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-1691-1357

Висоцька В.А.

д.т.н., доцент, кафедра Інформаційних систем та мереж,

НУ «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-6417-3689

Лозинська О.В.

к.т.н., доцент, кафедра Інформаційних систем та мереж,

НУ «Львівська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-5079-0544

***Анотація.** У розділі досліджено концептуальні засади побудови інтелектуальної мультимедійної платформи для розпізнавання фейкового контенту в цифровому інформаційному середовищі з урахуванням сучасних UI/UX-підходів. Проаналізовано сучасні методи автоматизованого виявлення фейкового контенту із застосуванням технологій штучного інтелекту, машинного навчання, обробки природної мови (NLP). Запропоновано концепцію архітектури інтелектуальної мультимедійної платформи з інтеграцією UI/UX-підходів у процес проєктування платформи.*

***Ключові слова:** фейковий контент, машинне навчання, опрацювання природної мови, мультимедійний контент, веб-інтерфейс, UI/UX-підходи, дезінформація.*

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена стрімким поширенням мультимедійного контенту, дезінформації, deepfake-технологій та фейкових інформаційних повідомлень у відкритих веб-ресурсах і соціальних медіа, що створює суттєві загрози інформаційній безпеці суспільства та цифровій довірі користувачів.

Розробка інтелектуальної мультимедійної платформи допомагає автоматизувати розпізнавання дезінформації, надає користувачам зручні інтерфейси для перевірки достовірності, забезпечує масштабованість та адаптивність системи до нових типів фейків.

У межах дослідження запропоновано концепцію веб-орієнтованого програмного прототипу платформи для виявлення фейкових новин і маніпулятивного контенту. Розроблений прототип передбачає аналіз текстових повідомлень та графічного контенту на основі спеціалізованих датасетів

дезінформації. Особливістю системи є надання користувачу пояснення результатів аналізу за допомогою засобів візуалізації, а також реалізація елементів навчального середовища для формування навичок розпізнавання інформаційних маніпуляцій.

Структура запропонованої системи включає низку функціональних модулів, кожен із яких виконує окремі завдання в процесі аналізу та інтерпретації контенту. Зокрема, модуль аналізу тексту забезпечує визначення ймовірності належності повідомлення до фейкового контенту із застосуванням методів обробки природної мови. Для реалізації цього модуля передбачається використання підходу TF-IDF для векторизації текстових даних та алгоритму логістичної регресії для здійснення класифікації. Результатом роботи моделі є оцінка ймовірності фейковості інформаційного повідомлення.

Модуль виявлення маніпулятивних конструкцій орієнтований на ідентифікацію підозрілих мовних елементів, зокрема, емоційно забарвлених слів, узагальнень та сенсаційних формулювань. Реалізація такого функціоналу можлива шляхом поєднання rule-based підходів та інструментів NLP-аналізу. Додатково система передбачає модуль класифікації типів маніпулятивного впливу, який визначає характер інформаційного впливу, наприклад, емоційний тиск, узагальнення або “викривлення” фактів.

Запропонована система передбачає застосування поліграфічних засобів комунікації, зокрема розроблення інформаційних матеріалів та інфографіки, що містять основні ознаки фейкових новин і маніпулятивного контенту. Інтеграція QR-кодів забезпечує швидкий перехід користувачів до веб-платформи, що дозволяє поєднати офлайн- та онлайн-середовище взаємодії.

Таким чином, запропонований прототип платформи забезпечує не лише автоматизоване виявлення фейкового контенту, але й пояснення механізмів інформаційного впливу, що є важливим чинником підвищення довіри користувачів до системи та розвитку критичного мислення. Поєднання вебтехнологій, методів машинного навчання, засобів Explainable AI та поліграфічних рішень формує комплексний підхід до протидії інформаційним маніпуляціям у сучасному цифровому середовищі.

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розроблення концепції та програмного прототипу веб-орієнтованої платформи для автоматизованого виявлення фейкових новин і маніпулятивного контенту з використанням методів машинного навчання, обробки природної мови, а також створення інструментів візуалізації результатів аналізу та навчального середовища для розвитку навичок критичного сприйняття інформації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан проблеми поширення дезінформації, фейкових новин та маніпулятивного контенту у цифровому середовищі;

- дослідити існуючі методи та підходи до автоматичного виявлення фейкової інформації із застосуванням технологій машинного навчання та NLP;
- розробити архітектуру веб-орієнтованої платформи для аналізу та класифікації інформаційного контенту;
- реалізувати модуль аналізу текстових даних;
- запропонувати підхід до виявлення маніпулятивних мовних конструкцій із використанням rule-based методів та NLP-аналізу;
- забезпечити візуалізацію результатів аналізу та інтеграцію офлайн- і онлайн-інформаційних матеріалів із використанням, наприклад, QR-кодів.

Основна частина

Аналіз літературних джерел та практичних рішень

Аналіз наукових джерел показує, що сучасні дослідження у сфері розпізнавання фейкового контенту концентруються переважно на використанні моделей глибокого навчання. Нижче наведено узагальнену аналітичну таблицю сучасних наукових праць, дотичних до теми архітектури інтелектуальних мультимедійних платформ для розпізнавання фейкового контенту з урахуванням UI/UX-підходів (табл.1).

Таблиця 1 – Аналіз сучасних наукових праць

Автори / Рік	Країна	Тема дослідження	Методи Технології	Основні результати	UX/UI-аспекти
Agarwal et al., 2020	Великобританія, University of Cambridge	Detecting AI-manipulated Media	Multimodal Transformers	Підвищення точності мультимодального аналізу	Human-in-the-loop UX, пояснювані результати
Zhou & Zafarani, 2020	Німеччина/США	Multimodal Fake News Detection	CNN + Transformer (text+image)	Комбінований аналіз збільшує точність	Dashboards, кольорові індикатори достовірності
Ángel Fernández Gambín та ін., 2021	Іспанія, Universidad de Vigo	<i>Deep Fakes Disentangling Terms in the Proposed EU Artificial Intelligence</i>	Deep Learning, Big Data, multimedia forensics	Аналіз AI-generated відео та медіа-маніпуляцій	Пропозиції щодо візуалізації ризиків фейку
Stroebel, L., Llewellyn, M., Hartley, T., Ip, T. S., & Ahmed, M. (2023)	Велика Британія	<i>A Systematic Literature Review on the Effectiveness of Deepfake Detection Techniques.</i>	<i>Convolutional Neural Networks, LSTM, Transformer-modeli</i>	Найефективнішими є: hybrid approaches; multimodal systems; deep learning; forensic analysis	з аналізу підходів до deepfake detection можна виділити практичні UX/UI-аспекти, наприклад, Explainability UI

Продовження таблиці 1

Автори / Рік	Країна	Тема дослідження	Методи Технології	Основні результати	UX/UI-аспекти
Микитин, Г. В., Руда, Х. С., & Яремчук, Ю. Є. (2024)	Україна	Методологія безпеки нейромережових інформаційних технологій виявлення <i>deepfake</i> -модифікацій біометричного зображення	методологія захисту нейромережових систем виявлення <i>deepfake</i> -маніпуляцій біометричних зображень	Комплексна система, що поєднує обробку зображень, детекцію ознак і оцінювання точності класифікації	візуалізація аналізу, зниження когнітивного навантаження

Розроблення та реалізація прототипу концептуальної архітектури мультимедійної платформи для виявлення фейкових відгуків

Архітектура реалізована за багаторівневим принципом і включає підсистеми взаємодії з користувачем, серверної обробки, аналізу контенту та зберігання даних (рис. 1).

Такий підхід забезпечує модульність і можливість інтеграції різних методів перевірки мультимедійної інформації.

Верхній рівень архітектури представлений *модулем взаємодії з користувачем (UI/UX)*, який включає веб-інтерфейс, мобільний застосунок та індикатор достовірності. Модуль UI/UX забезпечує взаємодію користувача з мультимедійною платформою та відповідає за подання результатів аналізу у зрозумілому вигляді. Основною метою модуля є забезпечення доступності функціоналу системи через різні клієнтські інтерфейси.

Веб-інтерфейс реалізує браузерний доступ до платформи та надає користувачу можливість:

- завантаження мультимедійного контенту;
- перегляду результатів перевірки;
- отримання пояснень щодо достовірності.

Мобільний застосунок забезпечує доступ до функціоналу системи з мобільних пристроїв та забезпечує оперативну перевірку контенту, можливість push-сповіщення, синхронізацію результатів, локальне кешування даних.

Індикатор достовірності є *модулем візуалізації результатів аналізу* та відображає рівень довіри до контенту, ризик фальсифікації, категорію загрози, короткий висновок системи. Індикатор може реалізовуватись у вигляді шкали, кольорового маркера або числового коефіцієнта.

Backend-модуль є центральною серверною частиною системи та забезпечує обробку запитів, маршрутизацію даних і координацію роботи всіх сервісів, зокрема, сервіс логування відповідає за реєстрацію подій системи, ведення журналів активності, моніторинг помилок, аналіз продуктивності та ін.

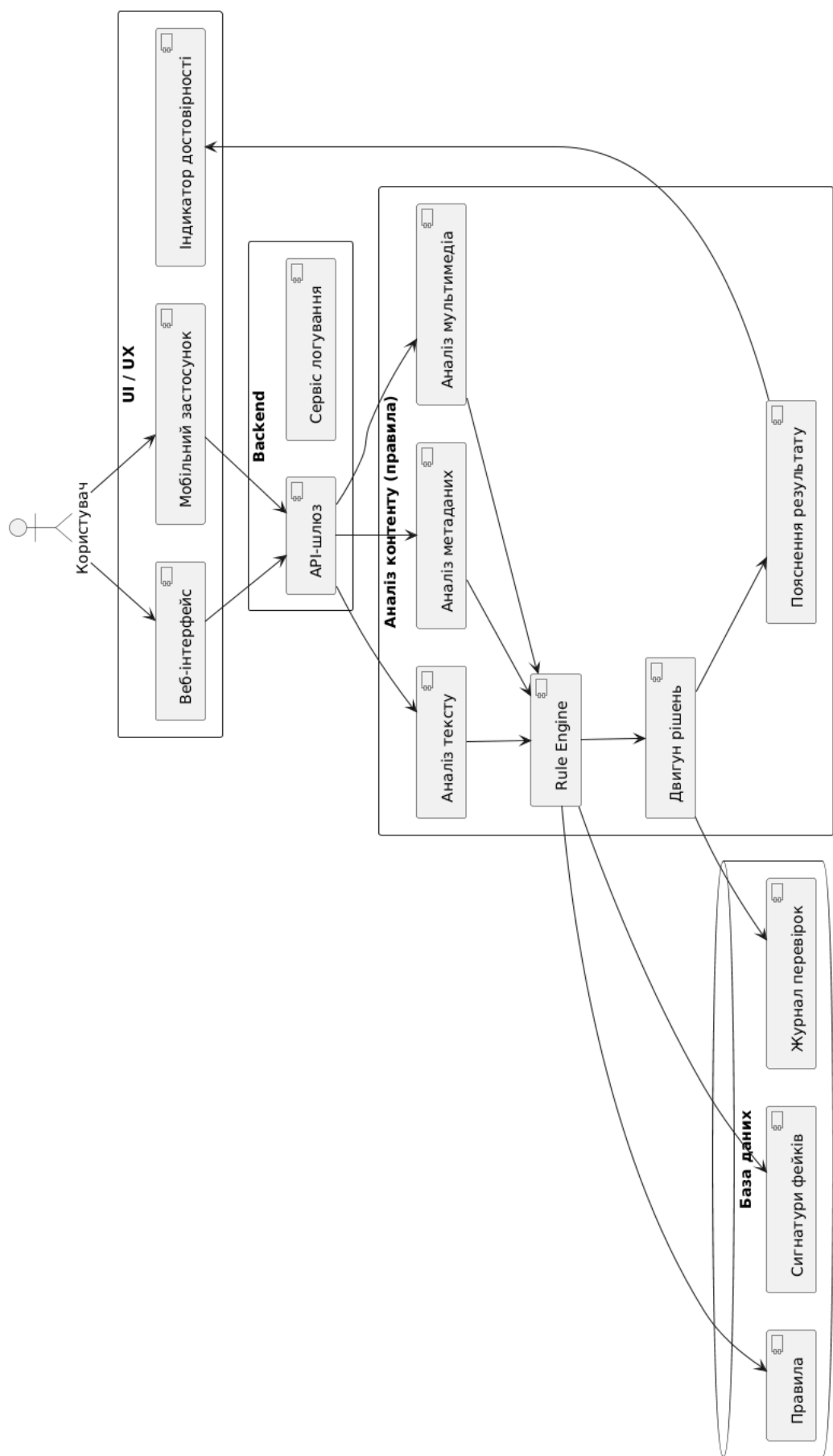


Рисунок 1 – Архітектура мультимедійної платформи для виявлення фейкового контенту

Ключовим елементом системи є *модуль аналізу контенту*, побудований на основі правил та евристичних моделей, виконує обробку текстових даних із використанням методів лінгвістичного аналізу, виявлення маніпулятивних конструкцій і семантичної оцінки.

Модуль аналізу метаданих досліджує службову інформацію файлів, часові мітки, геолокаційні параметри та інші атрибути цифрових об'єктів. Аналіз метаданих дозволяє виявляти ознаки модифікації контенту. Модуль аналізу мультимедіа здійснює перевірку зображень, аудіо- та відеофайлів на предмет монтажу, генерації штучним інтелектом або інших ознак фальсифікації, пошук deepfake-контенту, аналіз шумів та артефактів, перевірка цілісності медіаданих, спектральний аналіз аудіо.

Rule Engine є центральним компонентом логічної обробки, передбачає агрегацію результатів аналізу, застосування правил перевірки, оцінювання ризиків, формування проміжних висновків. Механізм працює на основі набору формалізованих правил та сигнатур фальсифікацій.

Двигун рішень виконує остаточне оцінювання достовірності, передбачає обчислення рівня довіри, класифікацію загроз, прийняття рішення щодо фейковості, генерацію статусу перевірки. Для цього пропонується використовувати експертні системи, байєсівські моделі, ML-класифікатори, системи оцінювання ризику.

Модуль пояснення результату відповідає за формування інтерпретованих висновків для користувача, передбачає пояснення причин оцінки відображення знайдених аномалій, формування рекомендацій, забезпечення прозорості роботи системи. Модуль підвищує рівень довіри користувача до автоматизованої перевірки.

Модуль бази даних та сигнатури фейків забезпечує централізоване зберігання інформації системи, містить шаблони маніпуляцій, відомі deepfake-маркери, характеристики фальсифікованого контенту.

Особливості використання UI/UX-підходів

У сучасних інтелектуальних системах UI/UX-дизайн відіграє не менш важливу роль, ніж алгоритмічна складова аналізу даних. Результати перевірки повинні бути не лише точними, але й зрозумілими для користувача:

- принцип *usability* передбачає створення інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу з мінімальним когнітивним навантаженням на користувача.

- принцип *accessibility* забезпечує доступність платформи для користувачів із різними фізичними можливостями та типами пристроїв.

- принцип *adaptive design* дозволяє коректно відображати інформацію на веб- та мобільних платформах.

- принцип *trust UX* орієнтований на формування довіри до автоматизованих рішень з використанням, наприклад, кольорових індикаторів ризику.

Таким чином, UI/UX-підходи стають невід’ємною складовою сучасних платформ автоматизованого аналізу цифрового контенту.

Приклад MVP системи виявлення фейкових відгуків із врахуванням бальної системи оцінювання(score-based) має наступні особливості.

1. Використання наперед створеного датасету дезінформації (рис. 2).

```
data = [
    ["ЦЕ НАЙКРАЩИЙ СЕРВІС!!! 🤔🤔🤔", "2026-04-30", 1],
    ["Дуже рекомендую всім", "2026-04-29", 10],
    ["Супер сервіс, все добре", "2026-04-28", 3],
    ["ок ок ок ок", "2026-05-01", 1],
    ["Найкращий найкращий сервіс", "2026-05-01", 2],
]
```

index	text	score	label	reasons
0	ЦЕ НАЙКРАЩИЙ СЕРВІС!!! 🤔🤔🤔	5	SUSPICIOUS	Короткий текст.Емоційність (CAPS/!!!).Новий акаунт
1	Дуже рекомендую всім	2	NORMAL	Короткий текст
2	Супер сервіс, все добре	2	NORMAL	Короткий текст
3	ЖАХ!!! УЖАС!!!	5	SUSPICIOUS	Короткий текст.Емоційність (CAPS/!!!).Новий акаунт
4	ок ок ок ок	6	SUSPICIOUS	Короткий текст.Повторювані слова.Новий акаунт
5	Найкращий найкращий сервіс	6	SUSPICIOUS	Короткий текст.Повторювані слова.Новий акаунт
6	Все нормально, дякую	2	NORMAL	Короткий текст
7	РЕКОМЕНДУЮ ВСІМ!!!	5	SUSPICIOUS	Короткий текст.Емоційність (CAPS/!!!).Новий акаунт

Рисунок 2 – Приклад датасету дезінформації

2. Правила оцінювання за шкалою балів за певними ознаками.

```
def is_short(text):
    return len(text.split()) < 10

def caps_or_exclamations(text):
    return bool(re.search(r"[A-ZА-ЯІІЄ]{5,}|{2,}", text))

def repeated_words(text):
    words = text.lower().split()
    return len(words) != len(set(words))

def clean_text(text):
    return re.sub(r"^[a-zA-Za-яА-Я0-9 ]", "", text.lower())
```

3 чітким зазначенням додавання чи віднімання балів.

```
# CAPS / !!!
if caps_or_exclamations(text):
    score += 1
    reasons.append("Емоційність (CAPS/!!!)")

# повтори слів
if repeated_words(text):
    score += 2
    reasons.append("Повторювані слова")
```

```
# нові або активні акаунти
if df.loc[i, "user_reviews_count"] < 3:
    score += 2
    reasons.append("Новий акаунт / недостатньо історії")
```

З чіткими прописаними правилами отримання результатів (таблиця 2).

```
if score >= 7:
    label = "FAKE"
elif score >= 4:
    label = "SUSPICIOUS"
else:
    label = "NORMAL"
```

Таблиця 2 – Правила отримання результатів

text	score	label	reasons
"ЦЕ НАЙКРАЩИЙ СЕРВІС!!!"	6	SUSPICIOUS	емоційність, короткий, новий акаунт
"ок ок ок ок"	7	FAKE	повтори, короткий, новий акаунт
"Все нормально, дякую"	0	NORMAL	—

Запропонований MVP системи виявлення фейкових відгуків реалізує score-based підхід, у якому аналіз тексту виконується за допомогою набору евристичних правил та бальної системи оцінювання. Система використовує попередньо сформований датасет і перевіряє відгуки на наявність підозрілих ознак, зокрема емоційності тексту, повторення слів, коротких повідомлень та низької активності користувача. Такий підхід забезпечує прозорість логіки прийняття рішень і може слугувати основою для подальшого впровадження методів машинного навчання та NLP-аналізу.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що проблема поширення фейкового контенту та deepfake-технологій є одним із ключових викликів сучасного цифрового середовища. Аналіз міжнародних та українських наукових праць показав активний розвиток методів автоматизованого виявлення дезінформації та необхідність покращення ефективності, враховуючи взаємодію з користувачем, прозорість результатів аналізу та адаптивність інтерфейсів.

Запропоновано концепцію веб-орієнтованої мультимедійної платформи для автоматизованого виявлення фейкового контенту. Розроблена архітектура системи реалізована за багаторівневим принципом та включає модулі взаємодії з користувачем, серверної обробки, аналізу контенту, Rule Engine, двигуна рішень, модуля пояснення результатів і бази даних сигнатур фейків.

Окрему увагу приділено питанням UI/UX-дизайну та візуалізації результатів аналізу. Запропоновано використання індикаторів достовірності, адаптивного дизайну, кольорових маркерів ризику та пояснювальних механізмів,

що підвищують рівень довіри користувачів до системи. Важливою складовою платформи є інтеграція навчальних елементів та поліграфічних матеріалів із QR-кодами, які поєднують офлайн- та онлайн-середовище й сприяють розвитку навичок критичного сприйняття інформації.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні функціональності системи за рахунок використання глибоких нейронних мереж, а також удосконалення механізмів автоматичного навчання та персоналізації взаємодії з користувачем. Це дозволить підвищити точність виявлення фейкового контенту та адаптивність системи до нових типів інформаційних маніпуляцій у сучасному цифровому середовищі.

Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення інтелектуальних систем інформаційної безпеки, платформ фактчекінгу, мультимедійних аналітичних сервісів, а також у наукових і прикладних дослідженнях у галузях штучного інтелекту, цифрових комунікацій, UX/UI-дизайну та кібербезпеки.

Подяка.

Дослідження було проведено за грантової підтримки Міністерства освіти і науки України «Методи та засоби виявлення дезінформації у соціальних мережах на основі технологій глибинного навчання» в рамках проєкту № 0125U001852.

Список літератури.

1. Kaliyar, R. K., Goswami, A., Narang, P., & Sinha, S. (2021). FakeBERT: Fake News Detection in Social Media with a BERT-Based Deep Learning Approach. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 11765-11788. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10183-2>.
2. Agarwal, S., Farid, H., Gu, Y., He, M., Nagano, K., & Li, H. (2020). Detecting Deep-Fake Videos from Appearance and Behavior. *IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS)*. <https://doi.org/10.1109/WIFS49906.2020.9360891>.
3. Zhou, X., Wu, J., & Zafarani, R. (2020). SAFE: Similarity-Aware Multi-Modal Fake News Detection. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2020)*. (p. 354-367). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47436-2_27.
4. Fernández, Á. (2021). “Deep Fakes”: Disentangling Terms in the Proposed EU Artificial Intelligence Act. *UFITA – Archiv für Medienrecht und Medienwissenschaft*, 85(2), 392-433. <https://doi.org/10.5771/2568-9185-2021-2-392>.
5. Ponce, A., & Ponce Rodriguez, R.A. (2020). An Analysis of the Supply of Open Government Data. *Future Internet*, 12(11), 186. <https://doi.org/10.3390/fi12110186>.
6. Stroebel, L., Llewellyn, M., Hartley, T., Ip, T.S., & Ahmed, M. (2023). A Systematic Literature Review on the Effectiveness of Deepfake Detection Techniques. *Journal of Cyber Security Technology*, 7(2), 83-113. <https://doi.org/10.1080/23742917.2023.2192888>.
7. Lotfi, S., Mirzarezaee, M., Hosseinzadeh, M., & Seydi, V. (2021). Detection of Rumor Conversations in Twitter Using Graph Convolutional Networks. *Applied Intelligence*, 51(7), 4774-4787. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-02036-0>.
8. Babaei, R., Cheng, S., Duan, R., & Zhao, S. (2025). Generative Artificial Intelligence and the Evolving Challenge of Deepfake Detection: A Systematic Analysis. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.3390/jsan14010017>.

9. Mittal, T., Bhattacharya, U., Chandra, R., Bera, A., & Manocha, D. (2020). Emotions Don't Lie: An Audio-Visual Deepfake Detection Method Using Affective Cues. 28th ACM International Conference on Multimedia (ACM MM). (p. 2823-2832). <https://doi.org/10.1145/3394171.3413570>.
10. Fernández Gambín, Á., Yazidi, A., Vasilakos, A., Haugerud, H., & Djenouri, Y. (2024). Deepfakes: current and future trends. *Artificial Intelligence Review*, 57, Article 64. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10679-x>.
11. Микитин, Г.В., Руда, Х.С., & Яремчук, Ю.Є. (2024). Методологія безпеки нейромережових інформаційних технологій виявлення deepfake-модифікацій біометричного зображення. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 172(1), 74-80. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-172-1-74-80>.
12. Микитин, Г.В., & Руда, Х.С. (2024). Conceptual approach to detecting deepfake modifications of biometric images using neural networks. *Computer Systems and Networks*. <https://doi.org/10.23939/csn2024.01.124>.

ANNOTATIONS

UDC 004.92

FACTORS OF EFFECTIVENESS OF 2D ANIMATED VIDEOS IN DIGITAL ADVERTISING

Vovk O.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0001-9072-1634

Chebatarova I.

Senior Lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0003-0105-4484

Chub L.

Master, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Mendielieva M.

Junior Researcher, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0009-0002-4282-3147

***Abstract.** This paper investigates which elements of animated videos have the greatest impact on audience attention, emotional response, and content memorability. Key criteria for the effectiveness of animated videos were identified and applied to the creation of an original promotional video aimed at attracting prospective students to design courses. Developed set of recommendations are intended to improve the effectiveness of communication with the target audience. Their implementation will enhance audience engagement, improve the quality of animated videos, strengthen their recognizability and emotional impact, and thereby contribute to increasing the competitiveness of multimedia content in the Ukrainian market.*

***Keywords:** animation, 2D animation, video advertising, vector graphics, educational courses, target audience, visual effects.*

UDC 655.344

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF PRINTING INKS AND PAPER ON THE QUALITY OF OFFSET PRINTING PRINTS

Kukura Yu.

PhD, Associate Professor, Multimedia Technologies Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-0041-6351

Kukura V.

PhD, Associate Professor, Multimedia Technologies Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-4217-9638

***Abstract.** The study investigates the influence of ink and paper characteristics on the colorimetric and densitometric properties of offset prints and determines the optimal ink film thickness. The conclusions provide practical recommendations for applying process inks in offset lithography across various paper types to ensure quality compliance with the ISO 12647-2 standard.*

***Keywords:** offset printing, quality of prints, color difference, optical density, trapping, contrast ratio.*

UDC 655.4:003.24

FEATURES OF DEVELOPING BRAILLE BOOKS WITH MULTIMEDIA APPLICATIONS

Silchenko V.

Postgraduate student, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0009-0009-2504-1283

Abstract. *The paper examines the main stages of producing books in Braille and the features of using multimedia applications for inclusive literature. Two options for developing audio applications for the children's book "Kvasko and Katrusya", which is intended for visually impaired and blind children of primary school age, are considered. The first uses specialized software to create an audio book and the voices of the announcers, the second uses text recognition of the prepared original layout and automatic generation of an audio file. In order to determine a more effective technology for producing audio applications, an expert assessment of these applications was conducted and recommendations were developed for the use of multimedia technologies for inclusive publications.*

Keywords: *inclusive literature, braille, audiobook, audio editors, expert methods, portfolio method.*

UDC 004.35

ANALYTICAL REVIEW OF HARDWARE FOR CREATING MULTIMEDIA PRODUCTS

Hryhoryev O.

Ph.D., Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0001-6467-7983

Vovk O.

Ph.D., Associate Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0001-9072-1634

Yatsenko L.

Senior Lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0002-6158-6207

Abstract. *Creating multimedia products in all areas of activity is an integral part of modern information communication. An overview of the areas of origin of the most popular multimedia products has been made. A list of the most widely used hardware necessary for their creation has been established. Recommendations have been developed on the appropriate use of certain hardware for creating various media products.*

Keywords: *multimedia product, areas of application, creation, hardware, choice, recommendations.*

UDC 681.327.1(075)

ON THE UNAMBIGUITY OF BASICS IN THE COLOR REPRODUCTION THEORY

Azarenkov V.

Ph.D., Associate Professor,

Department «System analysis and information-analytical technologies»,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

ORCID ID: 0000-0001-6305-4944

Abstract. *When studying the subject of «Color Theory,» we encounter confusion regarding certain issues related to the fundamental principles of color reproduction theory. In other words, the theories of obtaining various color shades by mixing different color components are based on different initial assumptions in different books, which do not allow students to construct a unified color model for practical use. The purpose of this study was to address this problem. Open data from the Internet was used as a source of information.*

Keywords: *color, color circle, newton's color circle, goethe's color circle, itten's color circle, oswald's color circle, primary colors.*

UDC 772.93.03

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR MEASURING TONE GAIN IN ELECTROPHOTOGRAPHY

Holubnyk T.

Ph.D., Associate Professor,

Department of Multimedia Technologies,

IPMT National University «Lviv Polytechnic»

ORCID ID: 0000-0002-8325-9813

Abstract. *The article presents a comprehensive analysis of methods for studying prints made using electrophotography technology. The main attention is paid to identifying the patterns of influence of physicochemical and surface parameters of paper on the dynamics of changes in the tone gain. A comparative characteristic of traditional methods for estimating the amount of unclamping using line model prints is carried out. The advantages and critical disadvantages of using spectrophotometers and scanners, which are standard for modern printing houses, are determined. The possibilities are substantiated and the prospects for implementing the quality analysis method through the construction of profilograms of model prints are outlined.*

Keywords: *tone enhancement, electrophotographic technology, reflectance, densitometry.*

UDC 677.016

DETERMINATION OF ACCURACY INDICATORS OF REPRODUCTION OF INFORMATION CONTENT OF IMAGES IN SUBLIMATION PRINTING

Dubnevych M.

PhD, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies, IPMT,
National University "Lviv Polytechnic"
ORCID ID: 0000-0001-7089-0190

Selmenska Z.

PhD, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies, IPMT,
National University "Lviv Polytechnic"
ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

Abstract. *The sublimation printing method is increasing its presence in the printing market. The accuracy of the reproduction of the information content of the image under these conditions becomes a critical indicator of the quality of the print. In the absence of regulatory documentation regulating the assessment of the quality of the sublimation printing method, there is an urgent need to develop an evaluation procedure and a regulation of quality indicators. The article formulates a clear list of quality indicators for the reproduction of the information content of the image and presents the methodology developed by the authors for their evaluation.*

Keywords: *sublimation printing method, quality indicators, gradation content, color reproduction, structural characteristics, gradient, graphic accuracy, color contrast.*

UDC 655.2:535.67

COLOUR TRANSFORMATION IN SYSTEMS WITH EXTENDED COLOUR GAMUT

Semeniv V.

PhD, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-6764-1820

Zanko N.

PhD, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-4445-3576

Kovalskyi B.

Doctor of Sciences, Professor, Department of Multimedia Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-9088-1144

Semeniv M.

PhD, Associate Professor, Department of Publishing Information Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-0798-1916

Abstract. *The paper investigates color transformation in six- and seven-color printing systems. The ICC profiles FOGRA51, FOGRA55, and PANTONE Hexachrome are analyzed in terms of color gamut and ink usage. Using the developed software, the distribution of ink channels in test images was evaluated. The obtained results confirm the feasibility of using multicolor printing to expand the color gamut without a significant increase in ink consumption.*

Keywords: *expanded color gamut, color separation, multicolor printing, ICC profile, color reproduction.*

UDC 655.24:004.8

INNOVATIVE METHODS AND INTELLIGENT SYSTEMS FOR TYPEFACE DEVELOPMENT IN DIGITAL DESIGN

Semeniv M.

PhD, Associate Professor,
Information Technologies in Publishing Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-0798-1916

Kynash Yu.

PhD, Associate Professor,
Information Technologies in Publishing Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-3762-3215

Kustra N.

PhD, Associate Professor,
Information Technologies in Publishing Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-3562-2032

Logoida M.

PhD, Associate Professor,
Information Technologies in Publishing Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-7597-7973

Abstract. *Innovative methods and neural network architectures for glyph generation and style transfer to typeface forms are analyzed. A methodology for the conceptual completion of a typeface is proposed. The practical approbation was carried out using CNN-based Style Transfer, DALL·E, Gemini 3 Flash Image, GPT Image 2, and Flux.2. The results were evaluated according to stylistic correspondence, readability, and preservation of proportions.*

Keywords: *typeface, AI tools, style transfer, glyph, cyrillic, morphometric analysis.*

UDC 655.3:658.011.4

INTELLIGENT SYSTEMS FOR MANAGING INTERNAL COMMUNICATIONS AT A PRINTING COMPANY

Slutskin M.

Postgraduate student, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0009-0007-9995-9375

Abstract. *The monograph examines the implementation of intelligent systems for managing internal communications at printing enterprises. The role of information technologies (AI, MIS, CRM) in improving the efficiency of information exchange and decision-making processes is analyzed. The impact of communication automation on production coordination and the reduction of information losses is substantiated. Prospects for the development of such systems aimed at increasing the competitiveness of enterprises are determined.*

Keywords: *intelligent systems, internal communications, printing enterprise, information technologies, automation technology.*

UDC 655.3:004.9

ANALYSIS OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN PLATE-MAKING PROCESSES OF GRAVURE PRINTING

Maik L.

Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-8552-0942

Maik V.

Professor, Department of Printing Technologies and Packaging,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-6650-2703

Abstract. *The evolution of gravure printing plate manufacturing methods is examined, from traditional electromechanical techniques to high-precision laser technologies of direct laser engraving. A study was conducted on the influence of halftone cell parameters on the ink-carrying capacity of printing plates manufactured by laser engraving.*

Keywords: *digital technologies, plate-making processes, gravure printing forms, gravure printing, laser engraving, quality indicators.*

UDC 676.2:655.3.066:502

PRINTING TECHNOLOGY COMPATIBILITY AND GERMINATION VIABILITY OF SEED PAPER AS A SUSTAINABLE PACKAGING INSERT MATERIAL

Havenko S.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-4973-5174

Labetska M.

Associate Professor, PhD,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

Abstract. *The article investigates the feasibility of replacing traditional packaging inserts made from PVC foam and corrugated cardboard with biodegradable seed paper, transforming inert packaging waste into a viable biosystem. The study presents experimental data on print quality obtained with a spectrodensitometer and surface microstructure analysis conducted by optical microscopy, justifying the selection of screen printing as the optimal technology for seed paper substrates. A structured analysis of admissible and inadmissible printing and finishing technologies for seed paper is provided, supported by seed germination testing conducted under standardised laboratory conditions.*

Keywords: *zero waste, seed paper, packaging insert, biosystem, screen printing, sustainable packaging.*

UDC 004.94

COMPUTER MODELING OF MECHANISMS OF PRINTING EQUIPMENT IN CAD/CAE SYSTEMS

Trunova T.

Assistant, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0003-2689-2679

Tabakova I.

Ph.D., Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0001-6629-4927

Abstract. *The paper considers computer-aided modelling of printing equipment mechanisms based on the integration of CAD/CAE technologies. The theoretical foundations of parametric and associative modelling as well as engineering analysis methods are systematized. A methodological approach to a closed-loop digital design cycle is proposed, integrating modelling, analysis, and optimization of structures, thereby improving the efficiency of engineering development.*

Keywords: *CAD systems, CAE analysis, printing equipment, parametric modelling, digital design, integrated engineering cycle.*

UDK 004.928

METHODS OF INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO CLASSICAL ANIMATION CONTENT PRODUCTION PROCESSES

Deineko Zh.

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

ORCID ID: 0000-0003-0175-4181

Kryvoruchko M.

Postgraduate Student, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

Morozova L.

Senior lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0001-5317-1813

Annotation. *The study examines the transformation of traditional two-dimensional animation production processes under the influence of modern artificial intelligence technologies and identifies the specific features of integrating AI tools into the creation of concept art, visual concepts, and character design. A comparative analysis of traditional and AI-integrated production models was conducted, making it possible to determine the advantages of artificial intelligence-such as speed, scalability, and optimization of routine tasks-while also outlining its limitations, including insufficient artistic control, stylistic inconsistency, and limited suitability for professional production workflows. The research demonstrates that generative AI is most effective as a tool for supporting, accelerating, and expanding the creative process rather than as a complete replacement for traditional artistic methods. Particular attention is paid to the ethical, legal, and copyright-related aspects of AI use, the professional transformation of the animator's role, and the development of hybrid production models in which classical animation principles are combined with specialized AI-driven solutions.*

Keywords: *generative models, artificial intelligence systems, computer animation, animation content, concept art, character design, pipeline, moodboards.*

UDC 004.056.5

CONSIDERING THE SPECIFICS OF THE MEDIA INDUSTRY IN THE EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL CONTENT OF THE COURSE «ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DESIGNERS»

Suprun O.

Ph.D., Associate Professor, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0001-8182-2599

Chebotarova I.

Senior lecturer, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0003-0105-4484

Abstract. *The educational content of disciplines related to digital media and design should be developed in accordance with current labor market requirements, the evolving needs of the creative industries, and the development of the regional digital economy. Using the course “Artificial Intelligence for Designers” offered by the Department of Media Systems and Technologies at Kharkiv National University of Radio Electronics as a case study, this paper substantiates the need to strengthen the study of specific topics directly related to the practical application of AI tools in design, generative graphics, the automation of creative processes, and the creation of multimedia content.*

Keywords: *Artificial intelligence in design, generative graphics, prompt engineering, AI tools, digital content.*

UDC 515.2

THE USE OF FONTS IN THE DESIGN OF PRINTED MATERIALS

Chelombitko V.

Ph.D., Associate Professor, Media Systems and Technologies Department,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0002-6677-5883

Abstract. *The purpose of this paper is to explore the possibilities of using typefaces, examine their application and purpose from a graphic design perspective, and discuss the use of typefaces in the design of printed materials.*

This paper provides definitions, the history of typefaces, methods of typeface design and classification, and examples of typeface use in the design of printed materials.

Keywords: *fonts, main types of fonts, decoration of printed materials, geometric structure of fonts.*

UDC 655.4:004.9:316.77

METHODS AND TOOLS FOR FORMING READER DEMAND

Senkivskyy V.

D.Sc., Professor,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-4510-540X

Pikh I.

D.Sc., Professor,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-9909-8444

Kudriashova A.

D.Sc., Associate Professor,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-0496-1381

Abstract. *The paper investigates methods and tools for forming the level of reader demand and develops a model of their priority influence. A semantic network of relationships between factors was constructed, and methods of hierarchical mathematical modeling, ranking, and pairwise comparisons were applied to determine their significance. As a result, an optimized model for the formation of reader demand was obtained.*

Keywords: *reader demand, influence factors, semantic network, hierarchical mathematical modeling, method, ranking.*

UDC 655.3.066.11:003.24:615.45

HIERARCHICAL MODEL OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE QUALITY OF BRAILLE FORMATION ON PACKAGING

Khamula O.

PhD in Engineering, Professor, Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-0926-9156

Vasiuta S.

PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-0079-9740

Uhryn Y.

PhD in Engineering, Associate Professor,
Department of Computer Technologies in Publishing and Printing Processes,
Institute of Printing and Media Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0003-1449-5342

Abstract. *The chapter summarizes regulatory, technological and methodological aspects of forming raised Braille dots on paperboard and paper packaging. A structural model of relationships between material, instrumental, technological and human factors is proposed. Based on the Analytic Hierarchy Process, the relative importance of the parameters affecting tactile readability and relief stability is determined, and practical guidelines for embossing quality control are formulated.*

Keywords: *Braille, packaging, embossing, analytic hierarchy process, relief quality, accessibility.*

UDC 655.227:504.064

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE SCREEN PRINTING PLATE MANUFACTURING PROCESS

Krykhovets O.

Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-2603-0991

Selmenska Z.

Associate Professor, Department of Multimedia Technologies,
Institute of Printing and Media Technologies, Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-9514-7923

***Abstract.** The article examines the environmental aspects of the process of manufacturing screen printing plates. The feasibility of using less toxic materials, local wastewater treatment, reuse of printing plates, and implementation of resource-saving technologies is substantiated. The proposed approaches are aimed at reducing the negative impact of the screen printing plate-making process on the environment.*

***Keywords:** screen printing, environmental assessment, copying layer, photopolymer emulsion, greening of printing production, resource saving.*

UDC 655

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PRINTING PRODUCTION CAPACITY UTILIZATION THROUGH AI IMPLEMENTATION

Korol A.

PhD student, Department of Media Systems and Technologies,
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0009-0006-5774-8142

***Abstract.** This study focuses on developing a methodology for an intelligent decision-making system for production scheduling in the printing industry, functioning as an AI advisor. A hybrid approach is proposed, combining Deep Reinforcement Learning (DRL) as an advisory module with classical schedule verification methods. Experimental testing on real-world production routing sheets demonstrated a significant reduction in equipment downtime and, consequently, operator idle time.*

***Keywords:** printing production scheduling, AI-based advisor, flexible job shop scheduling problem (FJSSP), equipment changeover optimization, deep reinforcement learning (DRL), mathematical schedule verification, production management.*

UDC 004.89:004.8

CONCEPTION OF INTELLIGENT MULTIMEDIA PLATFORM ARCHITECTURE FOR DETECTING FAKE CONTENT BASED ON UI/UX APPROACHES

Markiv O.

PhD, Associate Professor, Information Systems and Networks Department,
ORCID ID: 0000-0002-1691-1357

Vysotska V.

PhD, Associate Professor, Information Systems and Networks Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0001-6417-3689

Lozynska O.

PhD, Associate Professor, Information Systems and Networks Department,
Lviv Polytechnic National University
ORCID ID: 0000-0002-5079-0544

Abstract. *This section explores the conceptual foundations for developing an intelligent multimedia platform for fake content detection in the digital information environment, taking into account modern UI/UX approaches. Contemporary methods of automated fake content detection using artificial intelligence technologies, machine learning, and natural language processing (NLP) are analyzed. A concept for the architecture of an intelligent multimedia platform with the integration of UI/UX approaches into the platform design process is proposed.*

Keywords: *fake content, machine learning, natural language processing, multimedia content, web interface, UI/UX approaches, desinformation.*

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Azarenkov V.....	134	Кустра Н.О.....	182
Chebotarova I.....	6	Логойда М.М.	182
Chub L.	6	Лозинська О.В.	376
Havenko S.F.	226	Maik L.Y.....	216
Labetska M.T.....	226	Maik V.Z.....	216
Mendielieva M.....	6	Марків О.О.....	376
Vovk O.	6	Морозова Л.Ю.	254
Васюта С.П.	328	Піх І.В.....	311
Висоцька В.А.	376	Сельменська З.М. ..	154, 342
Вовк О.В.	85	Семенів В.В.....	170
Голубник Т.С.....	145	Семенів М.Р.	170, 182
Григор'єв О.В.....	85	Сеньківський В.М.	311
Дейнеко Ж.В.....	254	Сільченко В.В.....	62
Дубневич М.М.	154	Слуцкін М.В.....	199
Занько Н.В.	170	Супрун О.О.....	269
Кинаш Ю.Є.....	182	Табакова І.С.	236
Ковальський Б.М.....	170	Трунова Т.О.	236
Король А.Л.	358	Угрин Я.М.....	328
Криворучко М.О.	254	Хамула О.Г.....	328
Криховець О.В.	342	Чеботарьова І.Б.....	269
Кудряшова А.В.	311	Челомбітько В.Ф.	299
Кукура В.В.....	47	Яценко Л.О.	85
Кукура Ю.А.....	47		

Наукове видання

ВОВК Олександр Володимирович
ЧЕБОТАРЬОВА Ірина Борисівна
ДЕЙНЕКО Жанна Валентинівна

**Поліграфічні, мультимедійні та web-технології
у цифровому середовищі
Том 2**

Колективна 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 22.05.2026. Формат 60x84 1/16. Гарнітура Nimes New Roman
Спосіб друку цифровий. Ум. друк. арк. 23,15. Обл.-вид. арк. 29,43.
Наклад 50 прим. Зам. № 16



Видавець та виготовлювач: ТОВ «Друкарня Мадрид»
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18 Тел.: 0800 33 67 62
www.madrid.in.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №4399 від 27.08.2012 р.