

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**БАРАНОВА ДАРИНА ІВАНІВНА**

УДК 655.4/5:655.02:655.2:655.3.022.6:655.3.062.2:655.3.062:002.2:655.3.066:004.932.72'1

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДТВОРЕННЯ МАРКЕРІВ  
ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ НА ДРУКОВАНІЙ ПРОДУКЦІЇ  
ВУЛИЧНОЇ РЕКЛАМИ**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

186 Видавництво та поліграфія

18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

---

Дарина БАРАНОВА

Науковий керівник: Скиба Василь Миколайович, кандидат технічних наук, доцент

Київ — 2025

## АНОТАЦІЯ

*Баранова Д. І.* Удосконалення технології відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції вуличної реклами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 186 «Видавництво та поліграфія» (18 – Виробництво та технології). – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2025.

Дисертація присвячена удосконаленню технологічного процесу поліграфічного виконання друкованої продукції вуличної реклами з маркерами доповненої реальності.

Доповнена реальність є новою цифровою технологією, що дозволяє поєднати елементи друкованого світу із цифровим за рахунок використання пристроїв таких як телефон, смартфон чи планшет. Все відбувається шляхом наведення камери пристрою на спеціальне надруковане зображення маркер, потім система порівнює його із закодованим у базі даних та за умови співпадіння надрукованого та цифрового програватиметься цифровий контент. Таким чином можна «оживити» статичний друкований контент та зробити продукт більш конкурентоспроможним на ринку, залучаючи якомога більшу аудиторію. Новою сферою для застосування доповненої реальності стала продукція вуличної реклами – сітілайти, плакати, білборди. Для них характерним є наявність великої кількості факторів, зокрема умов використання, характеристик самих маркерів, особливостей задрукованого матеріалу та матеріалів для друку (тонерів, фарби), умов друку, які слід враховувати при її розробленні та вивчати, визначаючи кількісні показники впливу, що дозволить розробити систему нормалізації процесу відтворення маркерів доповненої реальності. Саме тому робота є актуальною, оскільки результатом її буде розроблення рекомендацій, що дозволять виготовляти якісну продукцію з врахуванням різних умов використання, що у свою чергу дозволить розширити знання у сфері доповненої реальності та її застосуванні для друкованої продукції.



Дисертаційна робота виконувалася в межах наукової теми, що виконується у межах робочого часу на кафедрі репрографії «Стандартизація технологій друкованих і електронних видань» (державний реєстраційний номер 0119U001988, науковий керівник доц., к.т.н. Розум Т. В.).

Метою роботи є удосконалення технології відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції шляхом встановлення закономірностей впливу зовнішніх факторів на зміну параметрів маркерів для стабілізації процесу відтворення контентної складової.

Для виконання поставленої мети у роботі, що складається з чотирьох розділів, було виконано ряд завдань.

У першому розділі було виконано аналіз сучасного стану та тенденцій на ринку доповненої реальності з розробленням на його основі систематизацій маркерів доповненої реальності, задруковуваних матеріалів для створення продукції з доповненою реальністю, систем доповненої реальності та сфер застосування даної технології. Також проведено патентний пошук у даній сфері за такими темами «Доповнена реальність», «AR-технології», «Продукція з доповненою реальністю», «ПЗ для створення доповненої реальності», «Прилади для відтворення доповненої реальності». На основі проведеного дослідження було визначено за допомогою діаграми Парето та матриці експертних оцінок найбільш вагомі параметри, що впливають на процес коректного зчитування AR-маркерів, що було відображено та підтверджено за допомогою причинно-наслідкової діаграми.

У другому розділі на основі проведеного аналітичного огляду було виконано побудову інформаційної та математичної моделі процесу зчитування маркерів доповненої реальності, що дозволила визначити взаємозв'язки між складниками цього процесу, на основі чого було визначено критерії якості зчитування маркерів доповненої реальності, серед яких найважливішими є безвідмовність цього процесу та відповідність параметрів маркерів, а також розроблено домінантну ієрархічну впорядковану модель критеріїв впливу на відтворення маркерів доповненої реальності з визначенням рівня їх вагомості та побудовою системи факторів впливу на роботу

системи «оригінал-здруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів». На основі аналізу отриманих результатів було сформовано методику проведення експериментального дослідження для встановлених груп продукції вуличної реклами із встановленням необхідних матеріалів, обладнання, умов та норм, а також особливостей підготовки тестових зразків та проведення оцінювання отриманих результатів.

У третьому розділі з використанням розробленої методики проведення експерименту та оцінювання отриманих результатів було проведено експериментальне дослідження з визначенням раціональних показників маркерів доповненої реальності відповідно до умов та терміну експлуатації, а також параметрів друку відповідної групи встановленої продукції – сітілайти, плакати та білборди. Результатом виконання проведених досліджень стали допустимі мінімальні значення конструктивно-технологічних показників маркерів доповненої реальності (розмір, ступінь контрасту, ступінь деталізації рисунку маркеру).

У четвертому розділі було проведено визначення параметрів маркерів для відповідної продукції з використанням імітаційної моделі процесу створення AR-маркерів, що стало основою для проведення регресійного аналізу для прогнозування коректного зчитування AR-елементів для кожного виду продукції з визначенням відповідних параметрів маркерів. На основі цього були визначені практичні рекомендації з підбору параметрів маркерів, а також їх поліграфічного виконання для відповідних видів продукції – сітілайтів, плакатів та білбордів, що дозволило удосконалити процес виготовлення продукції вуличної реклами з елементами доповненої реальності.

У результаті виконання дисертаційної роботи було отримано такі наукові результати:

1. Вперше розроблено метод визначення факторів впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності для друкованої продукції із інтенсивними умовами використання, розроблено домінантну ієрархічну впорядковану модель критеріїв впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності друкованої продукції.

2. Вперше встановлено взаємозв'язок основних конструктивно-технологічних параметрів маркеру (розмір, колір, ступінь деталізації рисунку маркеру), умов експлуатації продукції із доповненою реальністю та показників якості процесу відтворення елементів доповненої реальності.

3. Вперше розроблено алгоритм вибору параметрів маркерів відповідно до умов їх подальшої експлуатації та встановлено критерії оцінки якості процесу відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції відповідно до впливу зовнішніх факторів.

4. Розроблено цифрову імітаційну модель процесу створення маркерів доповненої реальності, що дозволяє визначати раціональні значення основних технічних показників маркерів для стабілізації процесу їх розпізнання відповідно до впливу зовнішніх факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому що на основі проведених досліджень було розроблено рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу репродукування друкованої продукції з елементами доповненої реальності, а саме продукції вуличної реклами на основі проведених досліджень в умовах експлуатації такого роду продукції, а також розроблених математичних залежностей з визначенням факторів, вплив яких найбільше слід передбачати завчасно та застосовувати заходи щодо їх усунення. Отримані наукові результати та напрацювання дисертаційної роботи були випробувані в рамках виконання ряду тестових робіт на підприємстві ТОВ «Салютіс Прінт» та пройшли вдале тестування, що підтверджено актом впровадження. Основні положення роботи впроваджені у навчальний процес підготовки фахівців за спеціалізацією «Технології електронних та мультимедійних видань» (спеціальність 186 «Видавництво та поліграфія») в межах лекцій, лабораторних та практичних занять дисциплін «Технології доповненої реальності».

**Ключові слова:** *доповнена реальність, процес оцифровування, фактори якості, струминний друк, кольоровідтворення, цифрова камера, графічне зображення, графічна точність відбитків, колірні показники, штрихові елементи, колірна відмінність, офсетний друк, AR-маркер, якість*

## ANNOTATION

*Baranova D. I.* Improving the technology of reproducing augmented reality markers on printed street advertising products. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 186 «Publishing and Printing» (18 – Production and Technologies). – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to improving the technological process of printing and producing other street advertising products with augmented reality markers.

Reality is supplemented by new digital technology, which allows you to combine elements of light from digital ones into various devices such as a telephone, a smartphone or a tablet. Everything is done by pointing the camera at the device on a special hand-held image marker, then the system matches the data encoded in the database and matches the hand-held digital content. In this way, you can «revive» static content and create a product that is more competitive in the market, thereby gaining a larger audience. A new area for the development of augmented reality has become the production of street advertising – signs, posters, billboards. They are characterized by the presence of a large number of factors, the focus of the minds of the creator, the characteristics of the markers themselves, the characteristics of the material used and the materials for each other (toners, inks), the minds of each other, which is the basis for their care. The process of creating markers of augmented reality is divided and twisted, meaning a number of indicators are infused, which allows for the development of a system of normalization for the process of creating markers of augmented reality. This work itself is relevant, since the result will be a disaggregated recommendation to allow the preparation of clear products from the input of different minds of the world, which will allow the expansion of knowledge in the sphere of augmented reality and They are frozen for processed products.

The dissertation work was completed within the boundaries of science by those who are completed within working hours at the department of reprography

«Standardization of electronic and electronic media technologies» (state registration number 0119U001988, scientific kerivnik associate professor, candidate of technical sciences Rozum T.V.).

The method involves improving the technology of creating augmented reality markers on other products by establishing patterns of influx of external factors into changing the parameters of markers to stabilize the process creation of a content warehouse.

To select the assigned mark from the robot, which consists of several sections, a number of tasks were completed.

The first section included an analysis of the current trends in the augmented reality market with divisions on its basis, systematization of augmented reality markers, related materials for the creation of products augmented reality, augmented reality systems and areas of application of this technology. A patent search was also conducted in this area for the following topics: «Augmented reality», «AR-technologies», «Products with augmented reality», «PP for the creation of augmented reality», «Appliances for the creation of augmented reality». Based on the research carried out, the most important parameters were identified based on additional Pareto diagrams and matrices of expert assessments that influence the process of correct reading of AR-markers, which was displayed and confirmed by additional causal-inheritance diagrams.

In another section, on the basis of an analytical survey, a data-driven and mathematical model was developed for the process of reading markers of augmented reality, which allowed for significant interactions between the collaborators of this process, on the basis of which the criteria for the readability of augmented reality markers were determined, among which the most important are the serenity of the process and the consistency of the parameters of the markers, as well as the breakdown dominant and hierarchical the model of criteria for infusing the created markers of augmented reality with the values of the level of their mobility and the per-unit system of factors into the work of the system «original-designed material-sampling-scanning system» has been ordered markers. Based on the analysis of the obtained results, a

methodology for conducting experimental research was formed to identify groups of street advertising products from the established necessary materials, equipment, minds and standards, as well as features of the preparation of test tests. from the results of the assessment.

In the third section, using a different method of conducting experiments and evaluating the results, an experimental investigation was carried out of the significant rational indicators of markers of augmented reality, similar to the minds of terms of operation, as well as parameters of each type of installed product – web, posters and billboards. As a result of the investigation, the acceptable minimum values of the design and technological indicators of augmented reality markers (size, level of contrast, level of detail of the marker drawing) have become acceptable.

In the fourth section, the parameters of markers were determined for specific products based on the simulation model of the AR-marker creation process, which became the basis for regression analysis to predict the correct reading AR elements for skin products with selected marker parameters. Based on this, practical recommendations for steam selection were made meters of markers, as well as their printing output for similar types of products – sitelights, posters and billboards, which made it possible to streamline the process of preparing street advertising products elements of augmented reality.

The following scientific results were obtained as a result of this dissertation work:

1. First, the method of identifying factors inflowing into the process of creating markers of augmented reality for other products from intensive minds has been broken down, a dominant and hierarchical ordered model of criteria has been broken down joining the process of creating augmented reality markers for man-made products.

2. First, the interrelationships between the main design and technological parameters of the marker (size, color, level of detail in the marker design), the principles of product operation from augmented reality and performance indicators have been established. the process of creating elements of augmented reality.

3. First, the algorithm for selecting the parameters of markers has been broken down according to the minds of their further operation, and criteria have been

established for assessing the efficiency of the process of creating augmented reality markers on other products. depending on the influx of external factors.

4. A digital simulation model has been developed for the process of creating augmented reality markers, which makes it possible to determine the rational values of the main technical indicators of markers to stabilize the process of their recognition depending on the influx of external factors.

The practical significance of the obtained results lies in the fact that, on the basis of the research, recommendations were developed to improve the technological process of reproducing manufactured products with elements of augmented reality, and products of street advertising on the basis of research in the minds of the operation of this kind of product, as well as the disaggregation of mathematical deposits with significant factors, the influx of which are the greatest traces of transfer immediately and stagnation of entries Thankfully Ikh uzunennaya. The scientific results and the dissertation work were tested within the framework of a series of test robots at the enterprise of LLC «Salutis Print» and were further tested, which was confirmed by the certificate of approval. The main provisions of the work are introduced in the initial process of training facists for the specialization «Electronic and multimedia technologies» (specialty 186 «Printing and printing») in between lectures, laboratory and practical classes in the discipline «Augmented Reality Technologies».

***Keywords: augmented reality, digitization process, quality factors, inkjet printing, color reproduction, digital camera, graphic image, graphic accuracy of prints, color indicators, bar elements, color shift, offset printing, AR-marker, quality***

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:**

### **I. Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази Scopus (категорія А, квартиль Q3):**

1. Baranova, Daryna and Skyba, Vasyl and Rozum, Tetiana and Zolotukhina, Kateryna, Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements (February 25, 2022). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (115)), 51–65, 2022. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4068854>. – DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>. *Здобувачем розроблено систему факторів впливу на безвідмовність роботи системи «оригінал-задруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів» та методи і засоби їх вимірювання з використанням методу графів для визначення найбільш вагомих факторів*

### **II. Публікації у наукових фахових виданнях України категорії Б:**

2. Баранова Д. І. Критерії коректного відтворення елементів доповненої реальності у друкованій продукції / Д. І. Баранова // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – К., 2022. – № 1(75) – С. 48-58

3. Баранова Д. І. Дослідження процесу відтворення елементів доповненої реальності / Д. І. Баранова // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – К., 2022. – № 3(77) – С. 54-63

4. Баранова, Д. І. (2023). Рационалізація розміру AR-маркерів залежно від способу репродукування та умов експлуатації друкованої продукції із доповненою реальністю. Технологія і техніка друкарства, (3(81), 46-58. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(81\).2023.290945](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(81).2023.290945).

5. Баранова, Д. І., Скиба, В. М. (2023). Дослідження кольоровідтворення AR-маркерів за різних умов експлуатації друкованої продукції. Технологія і техніка друкарства, (4(82), 49–60. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(82\).2023.291100](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(82).2023.291100). *Здобувачем проведено дослідження щодо визначення раціонального кольору для відтворення AR-маркерів в межах продукції вуличної реклами.*



6. Баранова Д. І. Визначення раціонального ступеня деталізації рисунка надрукованих AR-маркерів / Д. І. Баранова // Поліграфія і видавнича справа: зб. наук. пр. – Львів: УАД, – Вип. №2 (86). 2023. – С.49–59.

7. Баранова Д. І. Розроблення інформаційної моделі технологічної операції тестування об'єктів доповненої реальності / Д. І. Баранова, В. М. Скиба, Т. В. Розум // Наукові записки: зб. наук. пр. – Львів: УАД, – Вип. №1 (62). 2021. – С.29-41. *Здобувачем розроблено інформаційну модель зчитування AR-маркерів з визначенням взаємодії між інформаційним, енергетичним та матеріальним потоками та побудовою математичної моделі цього процесу для визначення закономірностей цього процесу.*

### **III. Публікації у збірниках матеріалів міжнародних конференцій**

8. Баранова Д. І. Визначення параметрів маркерів в залежності від умов використання друкованої AR-продукції [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». – К.: НАУ, 2024 – С. 201-204

9. Баранова Д. І. Регресійне математичне моделювання успішного зчитування AR-елементів [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». – К.: НАУ, 2024 – С. 205-208

10. Баранова Д. І. Systematization of AR-technology [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та системи». – Харків: ФОП Бровін О.В., 2021. – С. 5

11. Баранова Д. І., Скиба В. М. Чинники, що визначають коректність зчитування маркерів доповненої реальності[Текст]: матеріали I Міжнародної науково-теоретичної конференції «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives». – Вільнюс: European Scientific Platform, 2021. – С. 20-22. *Здобувачем проведено аналітичне дослідження з визначенням основних груп факторів, що впливають на процес зчитування AR-маркерів, їх особливостей та характеристик.*

12. Баранова Д.І. Дослідження тенденцій розвитку застосування технології доповненої реальності [Текст]: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної

конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2023). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. – С. 76-78

13. Баранова Д. І. Тенденції розвитку технології доповненої реальності [Текст]: тези доповідей 19-ї між. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів «Друкарство молоде» – К.:ВПК «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 39-42.

14. Баранова Д. І., Скиба В. М. Систематизація сфер застосування доповненої реальності [Текст]: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів. – Львів : УАД, 2021. – С. 125-127. *Здобувачем визначено основні сфери застосування доповненої реальності з подальшою їх систематизацією.*

15. Баранова Д.І. Дослідження тенденцій розвитку застосування технології доповненої реальності [Текст]: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2023). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. – С. 76-78

16. Баранова Д. І. Увираження елементів системи «чорна скринька» для технологічного процесу створення AR-елементів [Текст]: матеріали міжнародної наукової конференції «Відповідні тенденції наукових досліджень у країнах Центральної та Східної Європи». – Рига: Baltija Publishing, 2020. – С. 183-187

17. Баранова Д. І. Екологічні тенденції у сфері друку, окреслені на виставці DRUPA [Текст]: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2021). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2021. – С. 40-41

Баранова Д. І., Штефан Є. В. Проблемно-орієнтовані засоби забезпечення якості ar-технологій поліграфічних виробництв [Текст]: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 "Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів". – Луцьк : ЛНТУ, 2022. – С. 218-219. *Здобувачем визначено основні складові інформаційної системи типу «визначення параметрів якості маркерів – засоби контролю відхилень показників AR маркеру від нормативних значень – система прогнозування довговічності виробу" та особливостей взаємозв'язків між ними.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	24
1.1. Аналітичний огляд сучасного стану і перспектив розвитку технології, обладнання, програмного і апаратного забезпечення для випуску друкованої продукції з елементами доповненої реальності .....	24
1.1.1. Тенденції розвитку технологій доповненої реальності .....	24
1.1.2. Систематизація маркерів доповненої реальності .....	26
1.1.3. Особливості програмного та апаратного забезпечення для створення елементів доповненої реальності і.....	28
1.1.4. Особливості зчитування та відтворення AR-елементів .....	29
1.2. Тенденції розвитку сфери застосування доповненої реальності .....	32
1.2.1. Перспективи розвитку та сфери застосування доповненої реальності .....	32
1.2.2. Патентний пошук у сфері доповненої реальності .....	33
1.2.3. Сфери застосування доповненої реальності .....	42
1.2.4. Види друкованої продукції, що використовуються для нанесення AR-маркерів .....	45
1.3 Визначення чинників впливу на процес відтворення AR-елементів.....	48
1.4. Розроблення гіпотези та завдання дослідження .....	51
Висновки до першого розділу.....	53
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧИТУВАННЯ AR-МАРКЕРІВ НА ВУЛИЧНІЙ РЕКЛАМІ .....	53
2.1. Встановлення взаємозв'язків між складниками процесу зчитування маркерів доповненої реальності .....	53
2.2. Критерії коректного зчитування елементів доповненої реальності .....	54

2.3. Розроблення системи факторів впливу	
на процес зчитування маркерів доповненої реальності .....	57
2.4. Вибір друкованої продукції та їх технологій репродукування .....	65
2.5. Вибір обладнання та матеріалів для проведення дослідження	
і оцінювання результатів .....	65
2.6. Методика планування і проведення експерименту .....	66
2.6.1. Методика планування експерименту .....	66
2.6.2. Методика проведення дослідження .....	67
2.7. Розроблення тестового файлу для друкування AR-маркерів	
та їх подальшого оцінювання .....	70
2.8. Методики опрацювання	
експериментальних результатів дослідження.....	71
Висновки до другого розділу .....	76
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ	
ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ ТА ПАРАМЕТРІВ МАРКЕРІВ	
НА ВІДТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	77
3.1. Визначення раціонального розміру AR-маркерів.....	77
3.1.1. Визначення розміру мінімально можливих розмірів	
маркерів для визначених відстаней сканування	
та розпізнавання .....	77
3.1.1.1. Визначення розмірів маркерів	
для сітілайтів та плакатів .....	77
3.1.2. Визначення раціонального розміру AR-маркерів	
для сітілайтів та плакатів .....	78
3.1.2.1. Визначення раціонального розміру AR-маркерів,	
що віддруковані цифровим способом друку .....	80
3.1.2.2. Визначення раціонального розміру AR-маркерів, що	
віддруковані плоским офсетним способом друку.....	93
3.1.3. Визначення раціонального розміру	
AR-маркерів для білбордів .....	104
3.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності.....	112

3.2.1. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності для сітілайтів та плакатів .....	113
3.2.1.1. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності, що віддруковані цифровим способом друку .....	113
3.2.1.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності, що віддруковані плоским офсетним способом друку.....	126
3.2.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності для білбордів .....	135
3.3. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності .....	140
3.3.1. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності для сітілайтів та плакатів.....	140
3.3.1.1. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності, що віддруковані цифровим способом друку .....	140
3.3.1.2. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності, що віддруковані плоским офсетним способом друку .....	156
3.3.2. Визначення раціонального ступеня деталізації рисунку AR-маркеру для білбордів .....	170
Висновки до третього розділу .....	175
РОЗДІЛ 4. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ МАРКЕРІВ ДЛЯ ПРОДУКЦІЇ ВУЛИЧНОЇ РЕКЛАМИ .....	176
4.1. Визначення параметрів маркерів в залежності від умов їх використання за допомогою імітаційної моделі процесу створення AR-маркеру .....	176
4.2. Регресійні математичні моделі прогнозування надійного зчитування AR-маркерів .....	182

4.2.1. Прогнозування коректності зчитування AR-маркерів для сітілайтів та плакатів .....	182
4.2.2. Прогнозування коректності зчитування AR-маркерів для білбордів .....	191
4.3. Удосконалення технологічного процесу створення друкованих продукції з елементами доповненої реальності.....	196
Висновки до четвертого розділу.....	206
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	207
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	210
ДОДАТОК А. ПАТЕНТНИЙ ПОШУК.....	220
ДОДАТОК Б. ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗЧИТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	236
ДОДАТОК В. АНАЛІЗ БІНАРНОЇ МАТРИЦІ ДОСЯЖНОСТІ М' .....	244
ДОДАТОК Г. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	249
ДОДАТОК Д. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ .....	253
ДОДАТОК Е. ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПОЯВИ ВІДМОВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КОНТРАСТУ ВІДБИТКУ МАРКЕРУ ТА ФОНУ .....	279
ДОДАТОК Ж. ПІДСИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТУ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....	282
ДОДАТОК К. РОЗРАХУНКИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ .....	291
ДОДАТОК Л. ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОЯВИ ВІДМОВ ПІД ДІЄЮ РІЗНОГО СТУПЕНЯ ОСВІТЛЕНOSTІ .....	295
ДОДАТОК М. АКТИ ВПРОВАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВОЇ РОБОТИ.....	297

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВП – вологість повітря;

ВФ – відстань фокусування;

ДМ – ступінь деталізації рисунку маркеру;

кін. – заміри показника наприкінці досліджуваного періоду;

КМ – контрастність маркеру та фону;

ОФ – обсяг файлу елемента доповненої реальності;

поч. – початковий замір;

РЗ – роздільна здатність;

РМ – розмір маркеру;

РО – рівень освітленості;

сер. – замір показника через проходження половини досліджуваного періоду;

ЧС – час сканування маркерів;

AR – доповнена реальність (augmented reality);

ΔE – метрика колірної різниці;

a – колірна координата колірної моделі CIE Lab, що позначає відтінок кольору у межах від синьо-зеленого до червоно-пурпурного кольорів;

b – колірна координата колірної моделі CIE Lab, що позначає відтінок кольору у межах від блакитного до жовтого кольорів;

b2b – сфера «business-to-business», у якій здійснюється обмін товарами або послугами між компаніями, при цьому не включаючи кінцевого фізичного споживача

L – колірна координата колірної моделі CIE Lab, що позначає рівень світлоти кольору;

S – випадкові фактори для інформаційної моделі створення AR-маркерів;

t – технологічні режими для інформаційної моделі створення AR-маркерів;

VR – віртуальна реальність (virtual reality);

WYSIWYG – система what you see is what you get;

X – вхідні параметри для інформаційної моделі створення AR-маркерів;

Y – вихідні параметри для інформаційної моделі створення AR-маркерів

## ВСТУП

**АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ.** Доповнена реальність є однією з нових технологій, яка дозволяє поєднати друковану продукцію та цифровий світ в єдиний конкурентоспроможний продукт, що буде мати високий попит серед потенційних клієнтів. Ця технологія полягає у відтворенні віртуальних об'єктів на екрані пристрою при наведенні його камери на спеціальне зображення-маркеру.

Ця технологія застосовується у різних сферах, зокрема новою стала друкована продукція. У сфері продукції з доповненою реальністю можна виділити два напрямки – книжки, журнали, газети, листівки та вироби з текстилю, пакування та вулична реклама. Другий напрямок у порівнянні з першим є малодослідженим, хоча й є більш популярним зараз серед користувачів на фоні падіння популярності класичної поліграфії за рахунок наявності цифрових більш зручних аналогів. Для цієї продукції характерним є значний вплив умов використання та наявності інших різноманітних факторів, які слід вивчати, визначаючи кількісні показники впливу, що дозволить розробити систему нормалізації процесу відтворення маркерів доповненої реальності. Це в свою чергу дозволить зробити технологічний процес розроблення продукції з доповненою реальністю більш стабільним, точним, простим та ефективним та зробити сам кінцевий продукт більш якісним та коректно працюючим за будь-яких умов.

Саме тому робота є актуальною, оскільки результатом її буде розроблення рекомендацій, що дозволять виготовляти якісну продукцію з врахуванням різних умов використання, що у свою чергу дозволить розширити знання у сфері доповненої реальності та її застосуванні для друкованої продукції.

**ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ.** Робота виконана в межах наукової теми, що виконується у межах робочого часу на кафедрі репрографії «Стандартизація технологій друкованих і електронних видань» (державний реєстраційний номер 0119U001988, науковий керівник доц., к.т.н. Розум Т. В.).



**МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Мета роботи – удосконалення технології відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції шляхом встановлення закономірностей впливу зовнішніх факторів на зміну параметрів маркерів для стабілізації процесу відтворення контентної складової.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі проведення аналітичного дослідження встановити фактори впливу на показники надійності та довговічності надрукованих маркерів доповненої реальності, що впроваджуються у контент друкованої продукції вуличної реклами із елементами доповненої реальності;
- проаналізувати проблеми та визначити напрями стабілізації процесу відтворення елементів доповненої реальності;
- теоретично обґрунтувати та розробити концепцію формування параметрів маркерів доповненої реальності в залежності від їх поліграфічного виконання та умов подальшого використання друкованої продукції в який вони впроваджуються;
- розробити методи і засоби вдосконалення технологічного процесу відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції.

*Об'єкт дослідження:* процес відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції вуличної реклами під впливом зовнішніх факторів.

*Предмет дослідження:* параметри маркерів доповненої реальності, режими сканування маркерів доповненої реальності, параметри відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю.

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Для досягнення поставленої мети буде використано ряд методів, а саме:

- аналітичні методи дослідження фахових та науково-технічних джерел, проведення патентного пошуку;
- систематизація факторів впливу на якість процесу відтворення елементів доповненої реальності;
- розроблення інформаційної моделі технологічної операції тестування елементів доповненої реальності для увиразнення процесу відтворення AR-елементів;

- математичне моделювання з використанням регресійного аналізу прогнозування успішного зчитування маркерів доповненої реальності;
- оцінка параметрів маркерів за допомогою мікроскопії та спектрофотометрії;
- проведення статистичного та регресійного аналізу отриманих результатів експерименту;
- побудова імітаційної моделі впливу параметрів маркерів на обсяг файлу AR-елементу;
- аналітичні дослідження впливу параметрів маркерів доповненої реальності на показники надійності відтворення контентної складової.

#### НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.

1. Вперше розроблено метод визначення факторів впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності для друкованої продукції із інтенсивними умовами використання, розроблено домінантну ієрархічну впорядковану модель критеріїв впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності друкованої продукції.

2. Вперше встановлено взаємозв'язок основних конструктивно-технологічних параметрів маркеру (розмір, колір, ступінь деталізації рисунку маркеру), умов експлуатації продукції із доповненою реальністю та показників якості процесу відтворення елементів доповненої реальності.

3. Вперше розроблено алгоритм вибору параметрів маркерів відповідно до умов їх подальшої експлуатації та встановлено критерії оцінки якості процесу відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції відповідно до впливу зовнішніх факторів.

4. Розроблено цифрову імітаційну модель процесу створення маркерів доповненої реальності, що дозволяє визначати раціональні значення основних технічних показників маркерів для стабілізації процесу їх розпізнання відповідно до впливу зовнішніх факторів.

**ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.** На основі проведених досліджень розроблена методика вибору параметрів маркерів відповідно до їх поліграфічного виконання, умов експлуатації та характеристик

друкованої продукції, де вони застосовуються, яка дозволяє стабілізувати процес відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю та сприяє раціоналізації процесу тестування.

Розроблено рекомендації щодо поліграфічного виконання маркерів доповненої реальності відповідно до умов експлуатації друкованої продукції.

Розроблено рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу репродукування друкованої продукції з елементами доповненої реальності, а саме продукції вуличної реклами на основі проведених досліджень в умовах експлуатації такого роду продукції, а також розроблених математичних залежностей з визначенням факторів, вплив яких найбільше слід передбачати завчасно та застосовувати заходи щодо їх усунення.

Отримані наукові результати та напрацювання дисертаційної роботи були випробувані в рамках виконання ряду тестових робіт на підприємстві ТОВ «Салютіс Прінт» та пройшли вдале тестування, що підтверджено актом впровадження.

Основні положення роботи впроваджені у навчальний процес підготовки фахівців за спеціалізацією «Технології електронних та мультимедійних видань» (спеціальність 186 «Видавництво та поліграфія») в межах лекцій, лабораторних та практичних занять дисциплін «Технології доповненої реальності».

**ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ЗДОБУВАЧА.** Отримані результати дослідження та ідеї, що виносяться на захист, а саме: визначення вагомих факторів впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності з використанням причинно-наслідкової діаграми та діаграми Парето [1]; встановлення критеріїв оцінки якості та вибору альтернативи виконання процесу створення маркерів доповненої реальності з використанням методики на основі методу Т. Сааті [2]; проведення експерименту в умовах, максимально наближених до реальних умов використання друкованої продукції із доповненою реальністю, для визначення раціональних параметрів її поліграфічного виконання [3-4]; визначення співвідношення між показниками маркерів та характеристиками друкованої продукції, в контент якої вони впроваджуватимуться, з використанням розробленої імітаційної моделі процесу створення маркерів доповненої

реальності [5]; регресійний аналіз отриманих результатів дослідження з визначенням найбільш вагомих факторів впливу на показники надійності процесу відтворення маркерів відповідно до їх поліграфічного виконання та умов їх експлуатації [6] отримані здобувачем самостійно. Результати дослідження, що отримані у співавторстві, наступні: розроблення інформаційної моделі розпізнавання маркерів доповненої реальності з визначенням взаємодії між інформаційним, енергетичним та матеріальним потоками та побудовою математичної моделі цього процесу для визначення закономірностей цього процесу [7]; розроблення системи факторів впливу на безвідмовність роботи системи «оригінал - задруковуваний матеріал - відбиток - система сканування маркерів» та методи і засоби їх вимірювання, а саме на процес відтворення маркерів доповненої реальності з використанням методу графів для визначення найбільш вагомих факторів [8], проведення дослідження щодо визначення раціонального кольору для відтворення маркерів в межах продукції вуличної реклами з інтенсивними умовами використання як одного з найбільш вагомих показників [9].

**АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.** Результати досліджень опубліковано у виданні «Східно-Європейський журнал передових технологій» статті «Ранжування технологічно-вагомих чинників, що визначають якість відтворення елементів доповненої реальності» у співавторстві з Скибою В. М., Розум Т. В., Золотухіною К. І.; у фаховому виданні «Наукові записки» УАД за темою «Розроблення інформаційної моделі технологічної операції тестування об'єктів доповненої реальності»; у фаховому виданні «Технологія та техніка друкарства» за темами «Критерії коректного відтворення елементів доповненої реальності у друкованій продукції», «Дослідження процесу відтворення елементів доповненої реальності», «Дослідження кольоровідтворення AR-маркерів за різних умов експлуатації друкованої продукції», «Раціоналізація розміру AR-маркерів залежно від способу репродукування та умов експлуатації друкованої продукції із доповненою реальністю»; у фаховому виданні «Поліграфія і видавнича справа» за темою «Визначення раціонального ступеня деталізації рисунка надрукованих AR-маркерів»; оприлюднено на міжнародній науковій

конференції «Відповідні тенденції наукових досліджень у країнах Центральної та Східної Європи» у Ризі, 2020 р.; міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології та системи», «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології», «Results of modern scientific research and development», «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives» у Харкові, у Львові, у Мадриді й у Вільнюсі, 2021 р.; на 22-ій міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде», 2022 р; на міжнародній науково-технічній конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-«Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів», 2022 р.

ПУБЛІКАЦІЇ. За результатами досліджень опубліковано 18 наукових праць, серед яких: 1 стаття у видання, яка індексується у міжнародній наукометричній базі SCOPUS [8], 6 статей у наукових фахових виданнях [1-4, 7, 9], 11 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій, з них 3 в іноземних виданнях [5-6, 11, 23, 42, 46-47, 53-54, 87].

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1. Аналітичний огляд сучасного стану і перспектив розвитку технології, обладнання, програмного і апаратного забезпечення для випуску друкованої продукції з елементами доповненої реальності

Доповнена реальність (надалі AR) – це один із нових методів увиразнення контенту різноманітних виробів, найчастіше друкованих, а також електронних, який полягає у застосуванні різноманітних технологій – мов програмування, онлайн-додатків, методу WYSIWYG тощо – для введення цифрових об'єктів (текстова, ілюстраційна, анімаційна, відео та аудіо-інформації) для посилення ефекту від використання такого роду продукції [10-12]. При цьому немає необхідності у використанні складного чи дорогого програмного та апаратного забезпечення, оскільки віртуальні об'єкти відтворюються за допомогою смартфона, планшету, окулярів тощо та як правило встановленої безкоштовної програми. Таким чином немає необхідності у володінні високим рівнем знань і навичок для використання продукції з доповненою реальністю.

#### 1.1.1. Тенденції розвитку технологій доповненої реальності

Технології доповненої реальності можна поділити за різними параметрами, а саме за об'єктом розпізнавання, характеристиками наповнення, основою для розроблення, принципом розпізнавання тощо. Систематизація технологій була розроблена відповідно до [10, 12-20] та представлена на рисунку 1.1 [10].

Найбільш простою та легкою у створенні та застосуванні є маркерна технологія. Основою для розпізнавання слугує спеціальне зображення-маркер. Це може бути будь-що – від простих чорно-білих геометричних фігур у квадратній рамці (прості маркери) до складних деталізованих зображень, якісних фотографій високої якості, 3D-фігур, людського обличчя тощо [10, 18-20].

Ще однією найбільш застосовуваною є безмаркерна технологія. У випадку використання цієї технології маркер-зображення все таки є – складне деталізоване зображення, проте основою для розпізнавання слугують

різноманітні дані – положення користувача у просторі, його геолокація, кут повороту пристрою тощо [10, 18-20].

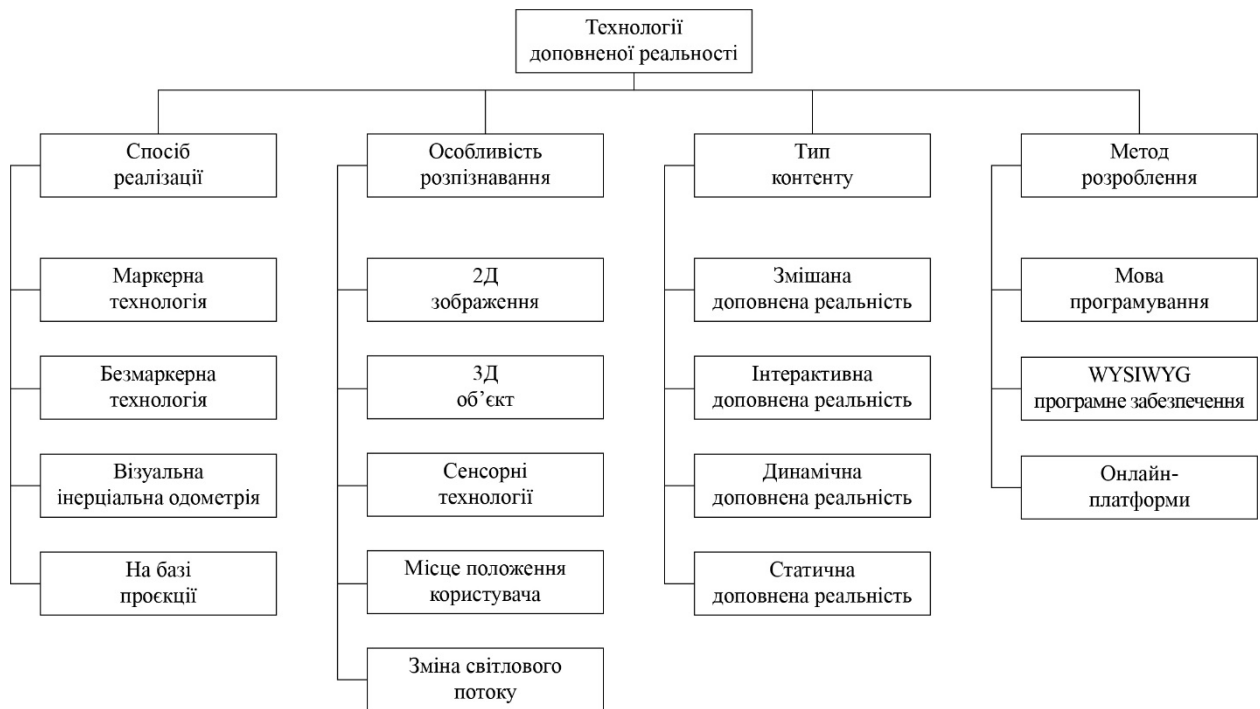


Рисунок 1.1 – Систематизація технологій доповненої реальності [10]

Найбільш складними для створення є технології, засновані на візуальній інерціальній одометрії та на базі проєкції. Перший варіант базується на основі розпізнавання об'єктів. Спочатку розробляється 3D-модель об'єкта та прописується код, на основі якого відбувається співставлення розробленої моделі та реального об'єкта та її розпізнавання та відтворення на екрані скануючого пристрою. Така технологія застосовується зазвичай у інтернет магазинах одягу чи меблів з метою того, щоб побачити як та чи інша продукція буде виглядати в реальному житті. Другий варіант базується на проєктуванні світлового променя на реальну поверхню. Такий метод чимось схожий на принцип голограми і він дозволяє користувачу бачити зображення у реальному режимі часу. Доволі часто цей метод застосовується у кінотеатрах [10, 18-20].

Для створення доповненої реальності необхідний певний набір елементів, а саме [21-22]:

а) апаратне забезпечення для створення доповненої реальності (графічна станція, гарнітура, камера, графічний планшет тощо);

б) апаратне забезпечення для тестування коректності відтворення віртуального контенту (смартфон, планшет з камерою, окуляри спеціальні, робоча станція для тестування тощо);

в) програмне забезпечення для створення та відтворення доповненої реальності;

г) розроблений об'єкт (маркер, зображення, 3D-модель тощо), який буде основою для розпізнавання.

#### 1.1.2. Систематизація маркерів доповненої реальності

Маркер доповненої реальності – це основа для використання маркерної технології [23-25]. Це чорно-біле або кольорове просте або деталізоване зображення, при наведенні на яке камери скануючого пристрою відбувається відтворення віртуальних об'єктів. Маркер може бути надрукований або ж розміщений в електронному вигляді на сторінці сайту. Маркери бувають різні.

Одним із найпоширеніших є простий маркер, оскільки його легко створювати та вводити у контент реальної продукції. Є ряд характеристик, яким має відповідати такого роду маркер: він має бути чорно-білим, інваріантним до поворотів, квадратним та мати товсту чорну рамку, яка займатиме 10% його площі. Основні алгоритми розпізнавання, що застосовуються – це розпізнавання кутів, країв, точок та контурів. Цей вид маркеру має найбільші показники стабільності та легкості при використанні [23-25].

Наступний найбільш застосовуваний вид маркеру є так званий «безмаркерний» тип. Не дивлячись на назву маркер все-таки є – це деталізоване зображення. Воно має мати велику кількість деталей і бути дуже якісним, кольоровим та інваріантним до поворотів. Розпізнавання базується на зміні градієнту, розпізнавання кутів зображення або ж локаційних координатах. До основних причин широкого застосування можна віднести легкість введення таких зображень у реальний світ через відсутність необхідності створення чорної рамки навколо зображення [23-25].



Комбінація маркерів застосовується для технології, що базується на розпізнаванні 3D-об'єктів, наприклад для представлення продукції у реальних умовах. Тобто спочатку створюється 3D-модель об'єкту, потім розробляється код, і при наведенні камери на реальний об'єкт відтворюється контент [23-25].

Frame Marker застосовується для шифрування логотипів чи слоганів компанії для їх індивідуальної ідентифікації. Такі маркери мають бути маленькими, інваріантними до поворотів, квадратними, уніфікованими та мати контраст між рамкою та наповненням [23-25].

До основних класифікаційних параметрів маркерів можна віднести наступні: основою для розпізнавання, метод розпізнавання, колір маркерів, складність рисунку маркеру, сфера використання тощо [23-25]. Відповідно до проведеного аналізу було розроблено класифікацію маркерів доповненої реальності, що представлена на рисунку 1.2 [23].

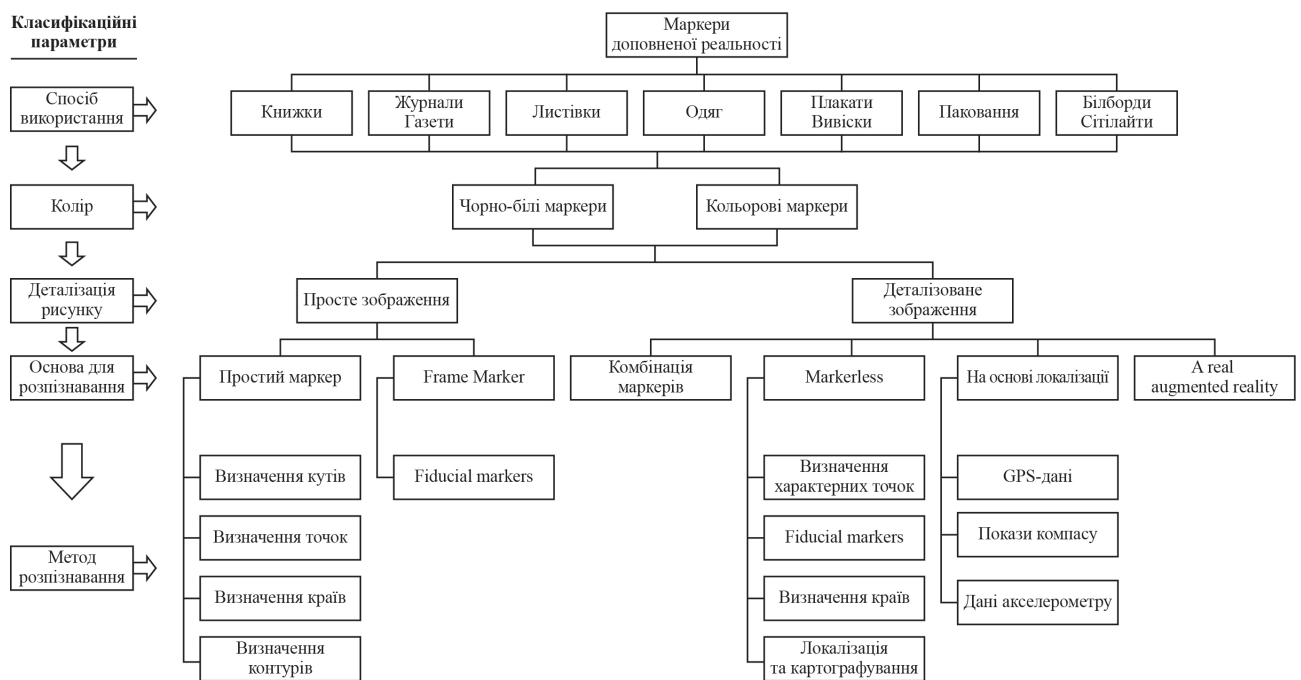


Рисунок 1.2 – Класифікація маркерів доповненої реальності [23]

### 1.1.3. Особливості програмного та апаратного забезпечення для створення елементів доповненої реальності

Програмне забезпечення для створення доповненої реальності можна поділити на додатки з використанням мов програмування, системи WYSIWYG та онлайн-платформи [12-13].

Перші варіанти зазвичай застосовуються у випадку володіння основними навичками роботи з мовами програмування, наприклад Java. Такого роду програми є доволі легкими у використанні, адже мають доволі простий інтерфейс із мінімумом інструментів та вкладок меню. Такі редактори являють собою поле, у якому прописується код, та нижнє поле, у якому можна побачити процес виконання коду та можливі помилки у разі їх виникнення та номер рядка, у якому вони виникають. Для створення доповненої реальності слід підключати спеціальні бібліотеки, що дозволять підключати зображення у якості маркерів та перевіряти правильність виконання коду за допомогою додаткового вікна. Такого роду програми дозволяють значно скоротити час на виконання процесу створення елементів доповненої реальності, адже відпадає необхідність у застосування додаткового програмного забезпечення для створення віртуальних об'єктів (тексту, ілюстрацій, аудіо, відео тощо). Проте недоліками такого роду програм є відсутність можливості паралельно, з написанням коду, бачити, що буде отримано на виході; необхідність володіння мовою програмування та її синтаксису хоча б на базовому рівні; відсутність шаблонів елементів тощо. До найбільш поширених можна віднести Processing, SublimeText, TextPad, Brackets, Coda тощо [12-13].

Системи WYSIWYG або візуальні редактори дозволяють показувати паралельно з написанням коду результату його виконання. До переваг візуальних редакторів відносять можливість відразу бачити, як буде виглядати вебсторінка, наявність підказок і шаблонів елементів, відсутність необхідності знання мов програмування тощо. Недоліком же є їхня вартість, збільшення розміру сторінок тощо. До такого роду програм можна віднести Vuforia, Wikitude, ARKit, ARCore, Blippbuilder тощо [12-13].

Також ще є онлайн-платформи для створення елементів доповненої реальності. Зазвичай вони працюють з безмаркерною технологією, тобто основою для розпізнавання є не лише саме деталізоване зображення, а й геолокаційні дані, положення людини в просторі тощо. Вони дозволяють легко об'єднувати між собою віртуальні об'єкти та самостійно їх зашифровують у елемент доповненої реальності. Вони дають змогу працювати з певним набором безкоштовних функцій та певною кількістю «маркерів». Проте для більш деталізованого додатку слід активувати платну версію. До таких додатків можна віднести BlippAR, Vuforia, RoAR, PlugXR тощо [12-13].

Для створення доповненої реальності необхідна робоча станція з усім необхідним обладнанням та пристрій для відтворення елементів доповненої реальності – смартфон, планшет, AR-окуляри, ноутбук тощо [26-29]. Відповідно до огляду літератури [26-29] було розроблено систематизацію AR-систем, що представлена на рисунку 1.3. Апаратні засоби можна класифікувати наступним чином: за способом кріплення (без кріплення, до голови, до транспортного засобу), за специфікою відображення (з подачею відео-сигналу, оптичні), за видом пристрою (смартфон, планшет, ноутбук, EOM, AR-шоломи, AR-окуляри), за характеристиками дисплею (LCD, VRD, NPS, OLED), за РЗ (середня, висока, дуже висока) [26-29].

#### 1.1.4. Особливості зчитування та відтворення AR-елементів

Важливим етапом створення елементів доповненої реальності, що коректно працюють у реальних умовах, є процес тестування об'єктів-маркерів на коректність їх відтворення. Процес відтворення маркерів доповненої реальності полягає у тому, що після зчитування AR-маркеру за допомогою камери телефону, планшету чи будь-якого іншого пристрою відтворення на його екрані відображається розроблений цифровий контент.

Для зчитування та відтворення маркеру важливими є три складові [23, 26-29]: апаратне забезпечення з можливістю зчитування об'єктів, сам об'єкт-маркер та програмне забезпечення.

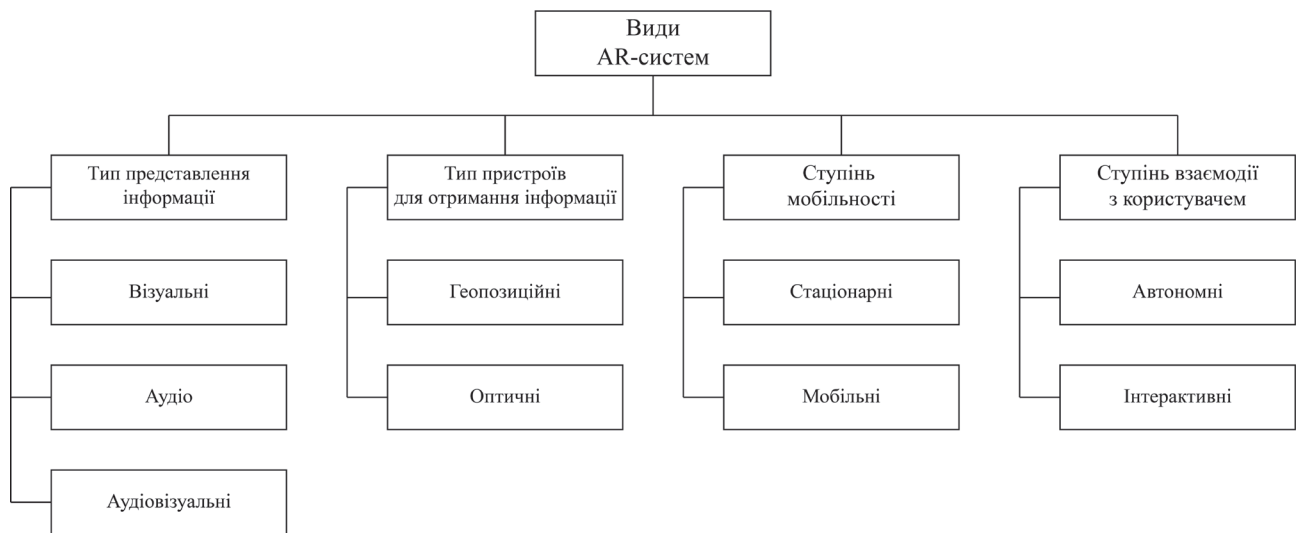


Рисунок 1.3 – Види AR-систем [23]

Зчитування, розпізнавання та подальше відтворення маркерів може базуватися на різних принципах, а саме [26-29]:

1) прив'язування до маркера – принцип, який полягає у тому, що камера пристрою наводиться на певне зображення-маркер, після чого відбувається програвання віртуального контенту;

2) прив'язування до площини – принцип, за якого об'єкт доповненої реальності виникає в просторі, що прив'язаний до обраної в процесі сканування точки. Такий принцип використовується у випадку відсутності необхідності тримання об'єкту-маркеру в межах пристрою;

3) прив'язування до геолокації – принцип, за якого основою для розпізнавання маркеру є GPS-дані;

4) портал – принцип, за якого у AR-середовищі з'являється простір з кутом зору 360°. Цим простором може бути фото-, відео-інформація тощо;

5) взаємодія з фізичним об'єктом – принцип, який полягає у застосуванні 3D-моделі готового об'єкту у реальному житті, що дозволяє відтворювати елементи доповненої реальності при наведенні камери на реальні об'єкти;

6) інтеграція реалістичних персонажів у віртуальний світ (2D-відео; 4D-зйомка);

7) збільшення функціональних можливостей – принцип, який дозволяє додати інтерактивні елементи (анімаційні елементи, можливості ведення діалогу з персонажами, можливість переходу по посиланню тощо);

8) мультипрогравач – принцип, що дозволяє спільну роботу декількох пристроїв;

9) Web-AR – передбачає можливість роботи з AR-контентом в онлайн-просторі (перегляд у браузері або ж завантаження програми безпосередньо на пристрій).

Правильність та точність перевірки коректності зчитування та відтворення маркерів є дуже важливим етапом процесу створення продукції з доповненою реальністю, оскільки від цього залежить якість готового видання та можливість його використання. На цей процес впливає багато факторів. До них можна віднести апаратні та системні можливості пристроїв, відстань до маркера, його розмір, колір, форма, деталізація, характеристики задрукованого матеріалу.

Розробниками програмного забезпечення Vuforia було визначено, що відношення між максимальною відстанню для розпізнавання і коректного відтворення маркера та його розмірів має становити  $\approx 10:1$  [30].

Тоді для встановлення правильного розміру маркера відповідно до ситуації можна застосувати наступну формулу (1.1) [30]:

$$s = 10c, \quad (1.1)$$

де  $s$  – дистанція,

$c$  – діагональ маркера.

Однак слід зважати на те, що отримана величина приблизна та на неї впливають певні фактори, а саме [30]: умови освітлення; чутливість сенсора камери; режим фокусування камери; деталізація маркера; кут повороту камери.

Мінімально можливий розмір маркера, який здатний розпізнати пристрій відтворення, становить близько 25 мм в ширину та висоту [12,13,15]. Проте все залежить від концепції продукції, технічного завдання та її розмірів.

При зчитуванні та відтворенні елементів слід враховувати такі умови [12,13,15]:

а) слід враховувати обмеження по дальності при зчитуванні – чим більшим є маркер за розміром, тим далі є відстань розпізнавання;

б) маркер має бути простим та зрозумілим – це зробить процес розпізнавання та відтворення більш простим, легким, швидким та зменшить ймовірність помилок при зчитуванні;

в) на відстань розпізнавання має вплив орієнтація маркера відносно камери пристрою – чим більшим є відхилення об'єкта розпізнавання від перпендикулярності відносно камери, тим менш помітний центр маркеру, що погіршує його зчитування, розпізнавання та подальше відтворення;

г) освітлення має істотний вплив на відтворення елементів доповненої реальності – недостатні умови освітлення можуть призвести до утворення зайвих тіней та елементів на відбитку, що у свою чергу ускладнить процес зчитування та відтворення маркеру.

## 1.2. Тенденції розвитку сфери застосування доповненої реальності

### 1.2.1. Перспективи розвитку та сфери застосування доповненої реальності

Дослідження перспектив розвитку та сфери застосування AR-галузі показало наступне: галузь доповненої реальності є цілком перспективною, хоча цей ринок є новим та невеликим. Для неї характерним буде стрімкий розвиток протягом 5-10 років. Але оскільки популярність доповненої реальності в основному залежить від особливостей та ступеня якості наповнення, то розвиток цієї сфери буде йти від вирішення легких завдань до більш складних. Це сприятиме вдосконаленню апаратного забезпечення. Поява зручних та компактних пристроїв відтворення цифрових об'єктів приведе до появи широкого спектру застосування AR-технології [31-33].

Доповнена реальність має великі можливості для розширення та підтримки бізнесу та маркетингу в наданні своїх послуг. Цю технологію можна обрати для забезпечення зв'язків між пропозиціями для потенційних клієнтів, Інтернет-ресурсами та точками продажу [31-33]. Розвиваюча література та енциклопедії

для дітей, крос-медійні книжки, підручники та додаткові матеріали для них, фахова література, поліграфічна продукція, інтернет-сайти тощо – все це та багато чого іншого може стати середовищем для застосування доповненої реальності [31-33].

Відповідно до результатів дослідження фірми Digi-Capital, у 2017 році інвестори в США вклали в AR- і VR-стартапи більше \$3000000000. У результаті збори на ринку значно перевершили прогнозовані значення [31-33]. Найбільше кошти інвесторів йдуть на підтримку стартапу Magic Leap. За декілька років їх проект надсекретних AR-окулярів отримав більше \$2 млрд.

Щодо питання розвитку ринку доповненої реальності в цілому, то він також поки нестабільний. Наприклад, у липні 2017 р аналітики компанії IDC вважали, що світовий обсяг продажів AR-товарів та AR-послуг зросте з \$11,4 млрд до \$215 млрд, а також в 2021 році середній приріст обсягів становитиме 113,2%. Проте в 2018 р їх думка змінилася. Нові прогнози полягали в наступному: з 2017-го до 2022 років ринок AR-технологій у середньому буде рости на 71,6% в рік [31-33].

Тім Кук, генеральний директор компанії Apple, багаторазово казав, що доповнена реальність зараз є найбільш перспективною технологією. Він вважав, що її створення – настільки ж грандіозна ідея, наскільки й поява смартфона [31-33].

Є один важливий факт, який підтверджує безумовну перспективність розвитку AR-технології – створення в 2015 році альянсу Augmented Reality for Enterprise Alliance (AREA). В нього увійшли великі компанії, такі як Bosch і Boeing. Мета створення – відкритий та безкоштовний (для ринку США) обмін найкращими практичними навичками, новими знаннями та технологічними можливостями, що допоможуть підприємствам якомога ефективніше впроваджувати доповнену реальність у свою продукцію [31-33].

#### 1.2.2. Патентний пошук у сфері доповненої реальності

Для визначення напрямків розвитку та досліджень у сфері доповненої реальності було проведено патентний пошук, регламенти якого представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Регламенти патентного пошуку

Предмет пошуку	Мета	Країни	Класифікаційні індекси	Ретроспективність	Джерела інформації
1. Доповнена реальність 2. Технологія доповненої реальності 3. Програмні засоби для створення AR-елементів 4. Продукція з елементами доповненої реальності 5. Пристрої для відтворення елементів доповненої реальності	Визначення напрямків розвитку сфери доповненої реальності	Республіка Корея; Федеративна республіка Німеччина; США; Китайська Народна Республіка, Японія, Французька Республіка, Канада, Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії	G06T19/00; G06T7/00 G06F1/16; G06F3/0346; G06F3/0488; G06F3/16; H04N5/232; H04R1/02; H04R1/10	10 років (2014-2023)	Інтернет ресурси: <a href="http://ep.espacenet.com">ep.espacenet.com</a> , <a href="http://tgs.freshpatents.com">tgs.freshpatents.com</a> , Google Patents



Провівши патентний пошук (див. [34-40] та Додаток А), було отримано ряд наступних результатів. На рисунку 1.4 представлено розподіл патентів різних великих відомих компаній у сфері дослідження доповненої реальності за 2014-2023 роки. Серед компаній, що зареєстрували найбільшу кількість патентів, виділяються гіганти-виробники мікроелектроніки, споживчих пристроїв, ПО Google, Facebook і Tencent. Але варто звернути увагу на Magic Leap – розробника AR-окулярів [41].

Також було побудовано графіки розподілу патентів у відсотковому співвідношенні за сферою застосування та графік кумулятивної кривої, що наведені на рисунках 1.5-1.8 [42].

Також на основі проведеного аналізу та патентного пошуку було побудовано графіки розподілу патентів у відсотковому співвідношенні за предметом патентного пошуку з розподілом по країнах та роках, що наведені на рисунках 1.9-1.11.

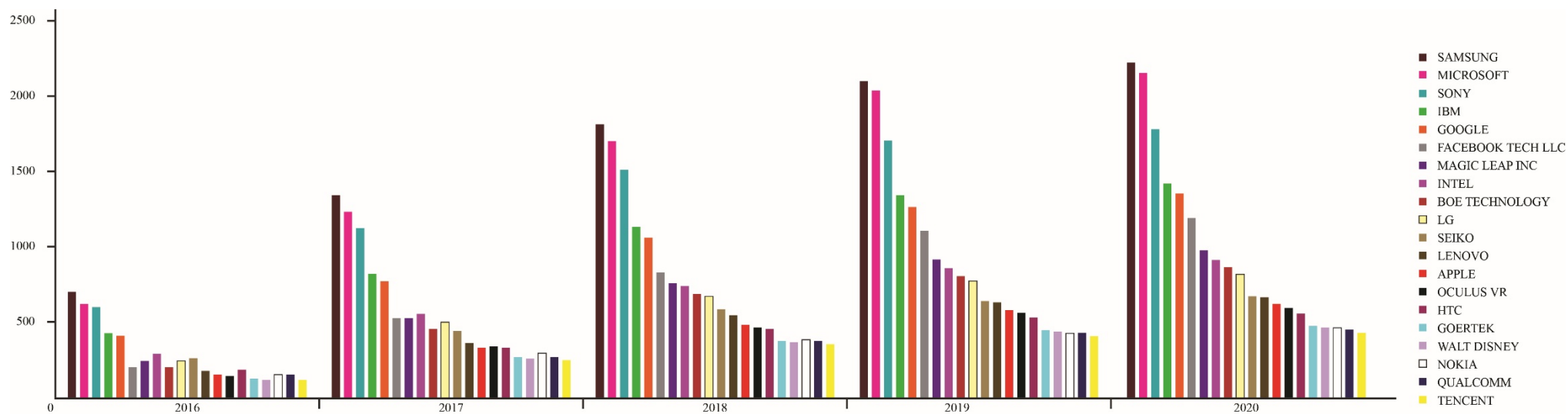


Рисунок 1.4 – Розподіл зареєстрованих патентів у сфері доповненої реальності серед компаній [41]

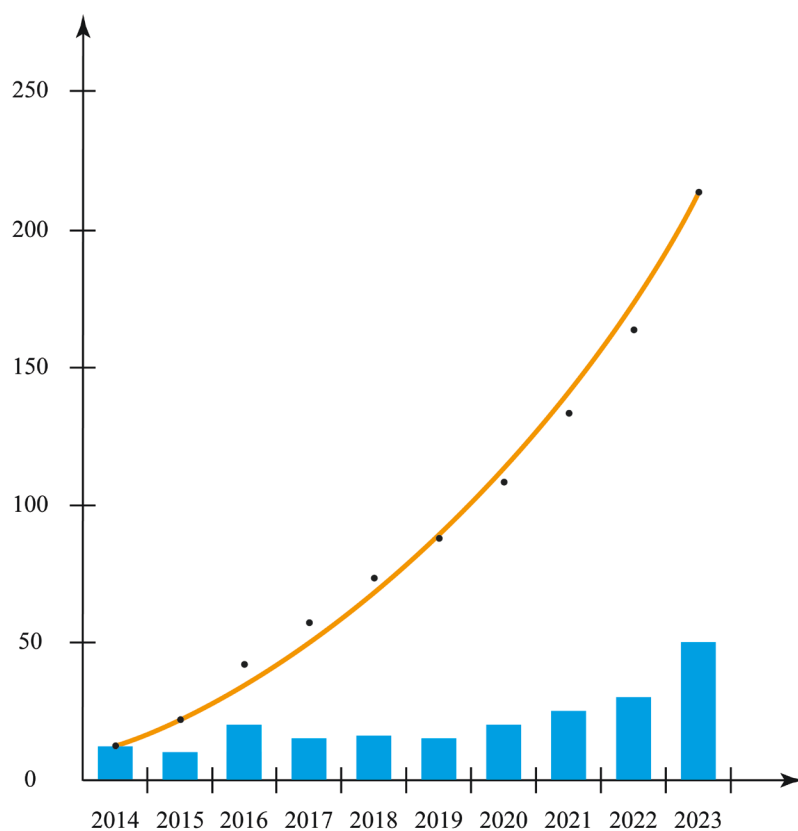


Рисунок 1.5 – Кумулятивна крива розвитку патентної інформації за роками

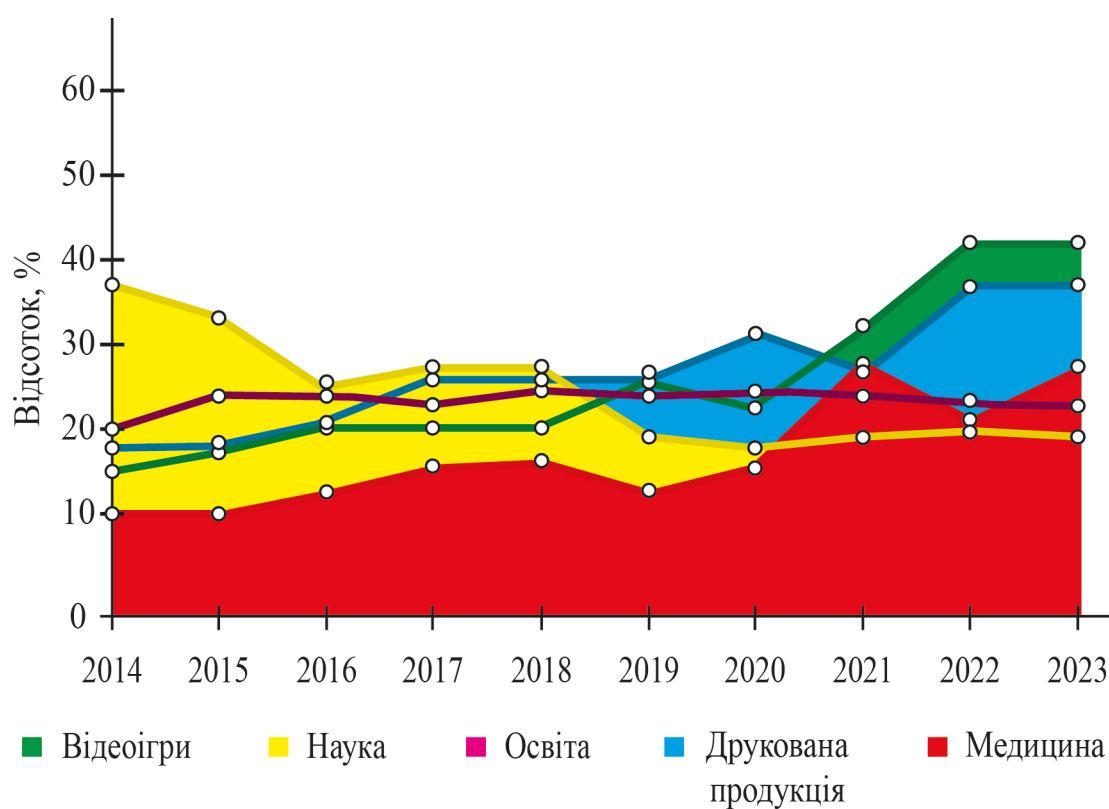
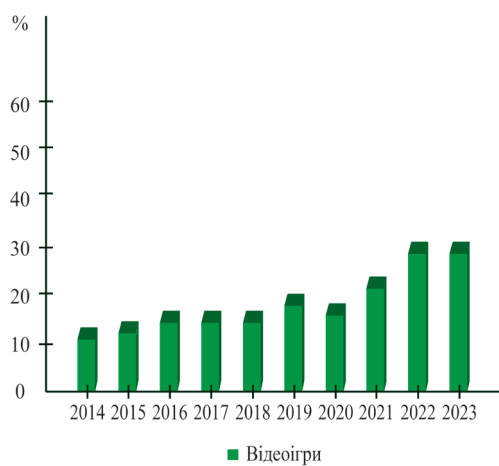
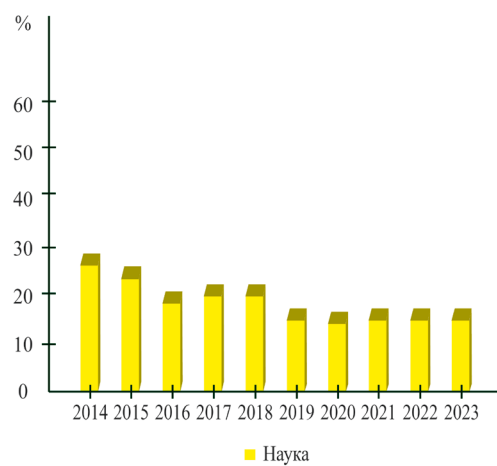


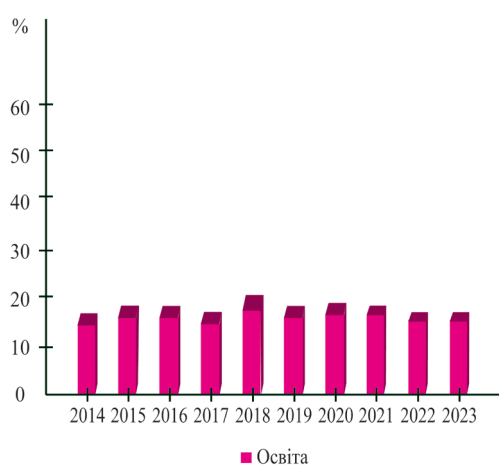
Рисунок 1.6 – Розподіл за роками та тематикою



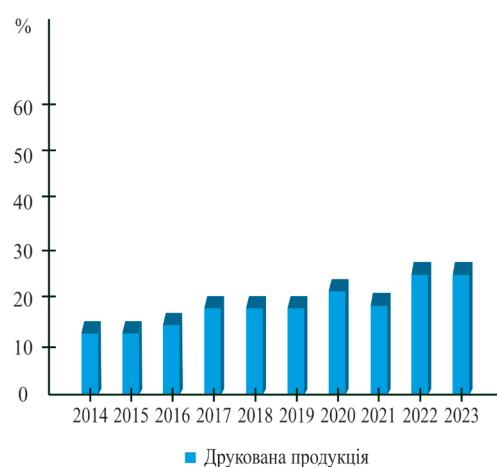
а)



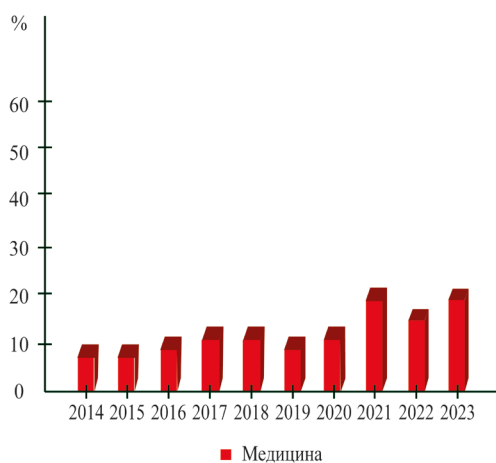
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1.7 – Розподіл патентів за роками та сферами:

а – відеоігри; б – наука; в – освіта; г – друкована продукція; д – медицина

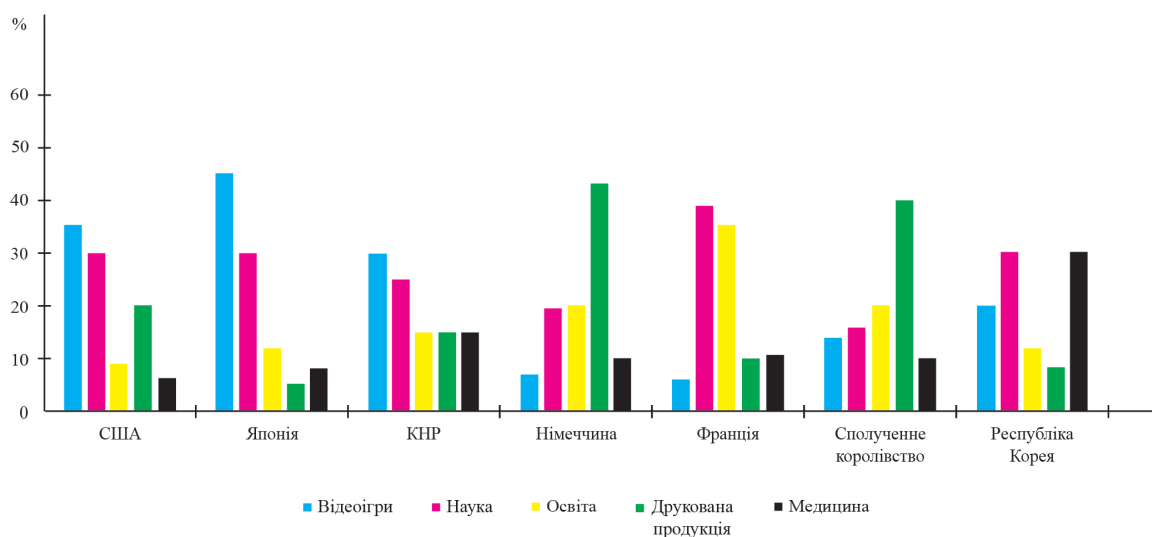


Рисунок 1.8 – Розподіл патентів за країнами і тематичними групами

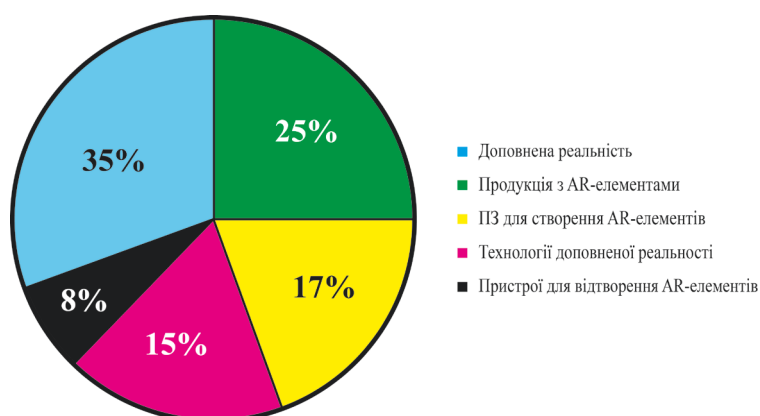


Рисунок 1.9 – Розподіл патентної інформації за головними напрямками

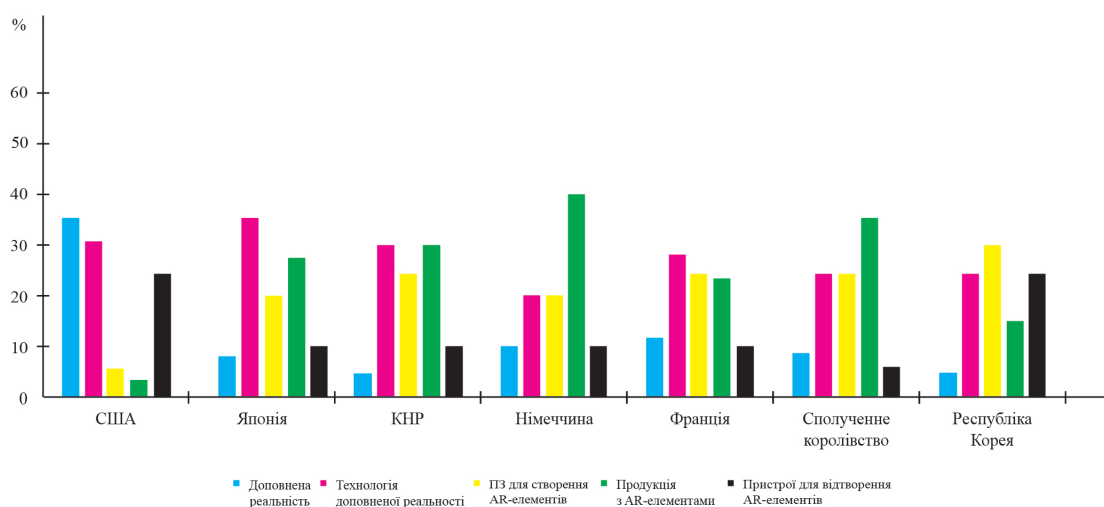


Рисунок 1.10 – Розподіл патентів за країнам та тематикою досліджень

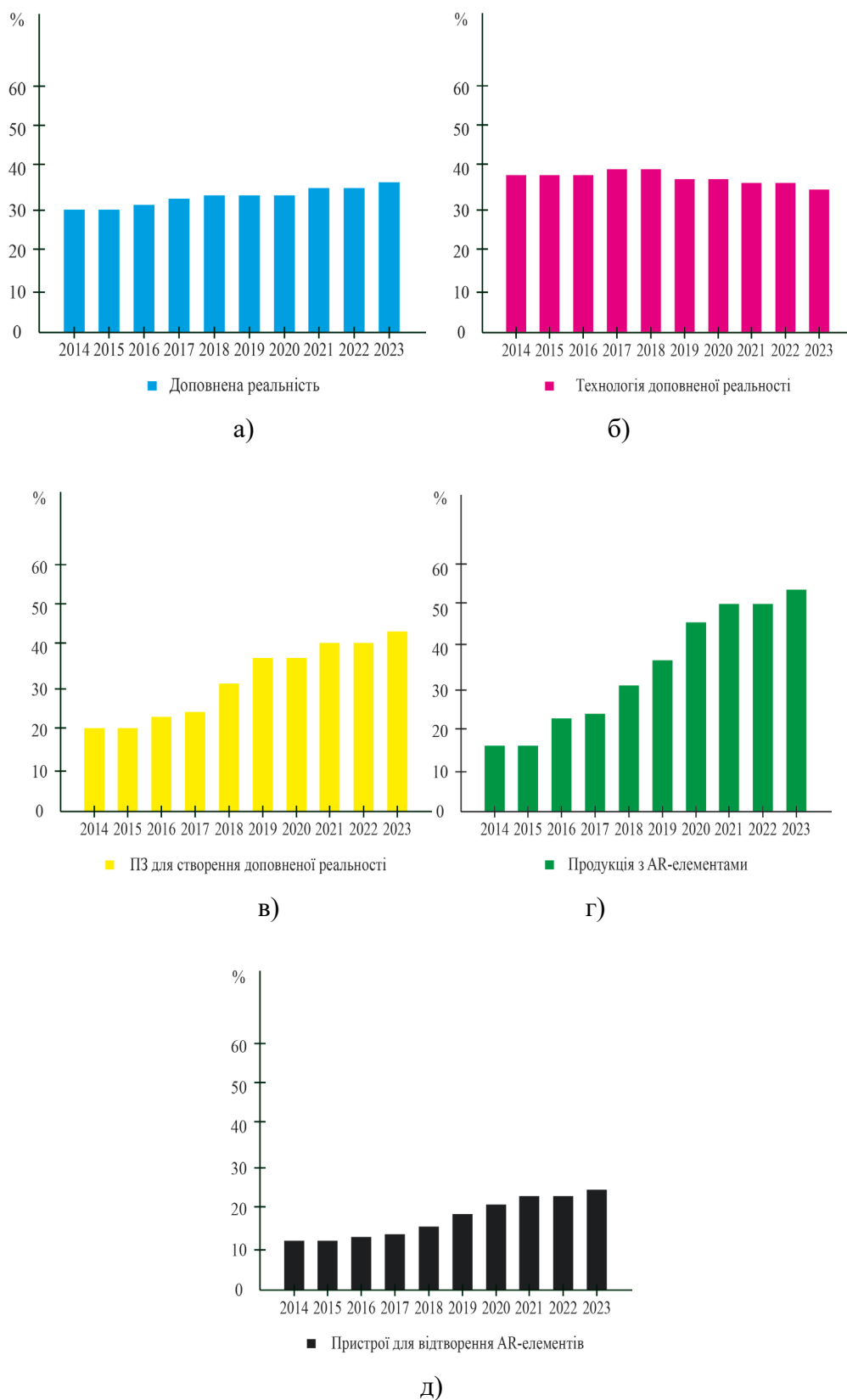


Рисунок 1.11 – Розподіл патентів за роками та сферами:

а – доповнена реальність як продукту; б – AR-технологія; в – ПЗ для створення доповненої реальності; г – продукція з AR-елементами; д – пристрої для відтворення AR-елементів

Графік кумулятивної кривої розподілу патентів (див. рисунок 1.5) демонструє, що AR-технології є доволі стрімко розвиваються та є перспективним напрямком для дослідження. Особливо розвиток пришвидшився з 2017 року. Це можна пояснити потужним розвитком цифрових технологій, що дозволило полегшити розробку додатків та продукції з доповненою реальністю, а, отже, й досліджень з вдосконалення технологій у цій сфері значно збільшилось.

Аналізуючи графік розподілу патентів по роках та сферах застосування, (див. рисунок 1.6) можна констатувати, що на початку ретроспективи розгляду патентів (2014-2015 рр.) найбільше технології доповненої реальності використовувалися у науці, оскільки не були чітко встановлені можливості та користь від використання у інших сферах. Але з часом інтерес до AR-технології набував все більших масштабів та вона почала масово застосовуватися в інших сферах таких, як відеоігри та освіта. Найбільш перспективною є сфера друкованих медіа, яка дозволяє продукувати вироби з доповненою реальністю для широкого кола застосування.

На графіках (див. рис. 1.7) видно, що потужне впровадження AR-сфери у розробку відеоігор розпочалося з 2014 року та, звичайно, продовжується й зараз, що можна пояснити знову ж таки бурхливим розвитком цифрових технологій та віртуальної сфери в цілому та розширення уявлень про можливості технологій доповненої реальності; у науці ж інтерес до доповненої реальності значно зменшився у порівнянні з початковим значенням; найменше розвивається застосування доповненої реальності у сфері медицини, оскільки можливості та сучасний рівень розвитку AR-сфери та цифрових технологій у медицині недостатні для застосування доповненої реальності у повній мірі, а, отже, поки немає необхідності у значних дослідженнях; також з 2017 року ще однією сферою, в якій доповнена реальність отримала розвиток, стала друкована продукція.

Аналізуючи графік розподілу патентів за країнами та сферами застосування (див. рис. 1.8), можна визначити, що в таких країнах, як США та Японія, AR-технології найбільше застосовуються у сферах відеоігор та науки. Також у США, так само як і в Німеччині та Сполученому Королівстві, AR-елементи

застосовуються для увиразнення контенту друкованої продукції. У Франції ж AR-технології найбільше застосовуються у сфері науки та освіти, а от у Республіці Корея більшу популярність вони мають у сфері медицини, зважаючи на її бурхливий розвиток у регіоні, що розглядається.

Проводячи аналіз графіку (див. рисунок 1.10) можна прийти до висновку, що в США, наприклад, найбільше пошуків та досліджень виконувалися у сфері доповненої реальності як такої та її технологій, а також розроблювалися пристрої для створення доповненої реальності. Японські вчені більше досліджували та розробляли саме AR-технологію та AR-продукцію. У Німеччині, окрім попереднього варіанту, було проведено багато досліджень програмного забезпечення для створення елементів доповненої реальності. Схожі тенденції можна спостерігати й у інших країнах, представлених на рисунку 1.11. Сама доповнена реальність як продукт також стабільно розвивається та досліджується.

Аналізуючи дані графіків (див. рисунки 1.9-1.11) можна прийти до висновку, що обрана сфера для дослідження є доволі актуальною, оскільки інтерес до дослідження її можливостей та складових у всіх сферах, що були обрані у якості предметів патентного пошуку, не знижується й зараз, що підтверджує велика кількість патентів. Найбільше розвивається сфера продукції та програмного забезпечення для створення доповненої реальності, оскільки збільшується інтерес звичайних користувачів до розробки власних додатків доповненої реальності. Технологія доповненої реальності, починаючи з 2016-2017 років, має тенденцію до зниження розвитку досліджень. Найменше поки досліджується сфера приладів для відтворення елементів доповненої реальності, адже доповнена реальність на сьогоднішньому етапі розвитку не потребує складного і дорогого обладнання для її відтворення.

### 1.2.3. Сфери застосування доповненої реальності

Digi Capital провела певне дослідження у сфері розвитку доповненої реальності, і було виявлено, що приблизно 75% обсягу доходів AR-ринку – це продаж апаратного забезпечення, реклами із AR-елементами, електронна комерція та сфера розваг [40]. Рисунок 1.12 демонструє розподіл основних сфер застосування відповідно до описаного дослідження.



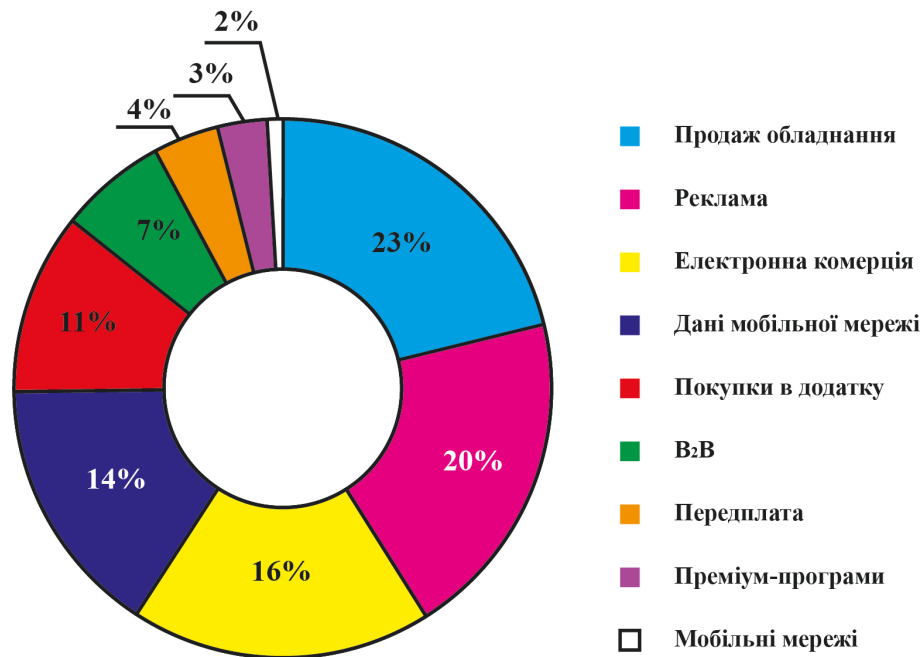


Рисунок 1.12 – Діаграма розподілу доходів між основними сферами застосування доповненої реальності [41]

Як можна побачити з рисунку 1.12, доволі велику частину AR-ринку займає сфера b2b та Premium-сектор. Цей результат дає змогу сказати, що процес створення такого роду продукції ще досить незрозумілий та складний для простого користувача. Тому великим виробництвам простіше замовити свою програму з елементами доповненої реальності у компаній, що спеціалізуються на цьому, ніж розробляти додаток власними силами.

Можна спрогнозувати, що у майбутньому скоріше всього розвиток AR-технологій буде спрямований у сферу інтернет-продажів.

До основних сфер застосування доповненої реальності можна віднести: ігри, рекламу, освіту, туризм, медицину, поліграфічну галузь тощо. Відповідно до проведеного огляду було систематизовано сфери використання доповненої реальності, що представлена на рисунку 1.13 [8, 42-52].

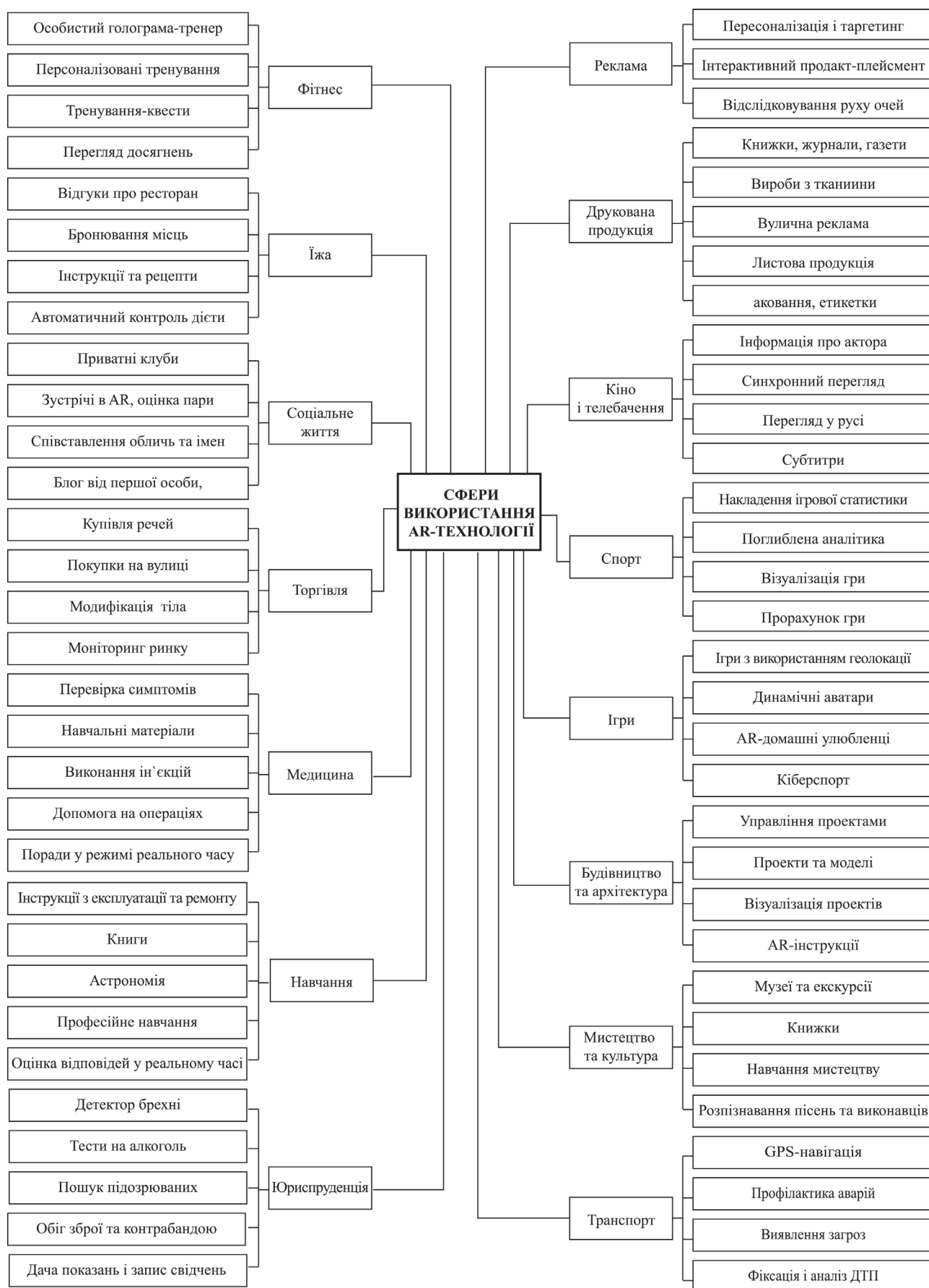


Рисунок 1.13 – Сфери застосування доповненої реальності [8]

Новою сферою застосування, яка набуває дедалі більшого поширення є навчальні видання, зокрема для дітей. Вони дають змогу заохотити дитину до навчання та читання. Такого роду видання дозволяють дитині пізнати світ, розкрити зміст різноманітних незрозумілих понять та термінів з різних категорій знань через прості рисунки та пояснення, вивчити іноземну мову тощо. Вони поєднують у собі друкований текст, статичні зображення та динамічний цифровий контент, що у купі дає можливість компаніям охопити якомога більше аудиторії та зайняти найвигідніші ніші на ринку.

#### 1.2.4. Види друкованої продукції, що використовуються для нанесення AR-маркерів

Виходячи з проведеного аналізу та визначених тенденцій розвитку AR-технологій, а також нових сфер застосування можна констатувати, що з часом діапазон видів друкованої продукції з AR-маркерами значно розшириться, а умови експлуатації такої продукції будуть ненормовані. Так наприклад, розвиток етикетково-пакувальної продукції з AR-маркерами буде вимагати стабільного зчитування маркеру з неплоскої поверхні, з наявністю крапель води, інію, нерівномірним освітленням тощо. Окрім того, на відтворюваність маркерів впливатиме хімічний склад, форма та специфічні особливості використання продукції, на яку кріпиться етикетки з AR-маркерами чи яку захищає такого роду пакування. Використання AR-технологій для збільшення інформативності контенту продукції з одного боку дозволить розширити цільову аудиторію за рахунок привернення більшої уваги від потенційних клієнтів за рахунок постійно існуючого вау-ефекту, а з іншої впливатиме на розмір готової продукції та можливості застосування тої чи іншої технології доповненої реальності в тому чи іншому випадку. Все це у свою чергу впливатиме на коректність відтворення елементів доповненої реальності.

Основним типом продукції, у якому можна застосувати доповнену реальність є книжки, газети, журнали, листівки, буклети, брошури тощо. Це «традиційний» напрямок застосування такої технології. Такого роду продукція застосовується у різних сферах – освіта, наука, розваги, політика, медицина тощо. Виготовлення та використання такого роду продукції передбачає в

основному стабільні умови із визначеними вимогами до виконання процесів та використовуваних матеріалів без значного впливу навколишнього середовища на характеристики маркеру.

Ще однією сферою застосування є пакування та етикетка. Вони мають вже менш стабільні умови використання, ніж попередній тип продукції, що слід враховувати та нормувати процеси на етапах його розробки. Зокрема слід враховувати вплив матеріалу та подальше використання – форма об'єкта, його хімічний склад, що матиме вплив під час контактування з надрукованим маркером, характеристики матеріалу – його міцність, гнучкість, колір тощо – та інші характеристики.

Наступний доволі новий напрямок у застосуванні доповненої реальності є одяг і вироби з тканини. Це нова сфера, яка набиратиме популярність у майбутньому. Вона дозволить, наприклад, приміряти обраний одяг чи взуття на свої параметри або ж дізнаватися цікаву інформацію про склад продукту та компанію. Цей тип продукції також має динамічніші та невизначеніші умови використання, які слід контролювати та нормувати. Перш за все слід враховувати можливість багаторазового механічного тертя та взаємодії маркеру з хімічними речовинами під час прання, а також характеристики тканини – її пористість, гнучкість, «маркість» – та тьмяніння кольорів з часом, що може значно вплинути на зчитування та відтворення маркерів.

Також ще одним типом продукції, у якій можна застосовувати доповнену реальність, є продукція для вуличної реклами – плакати, білборди, вивіски, дороговкази тощо. Вплив зовнішніх факторів на їх використання, а особливо на зчитування та розпізнавання маркерів, що надруковані на них, є найбільш вагомим у порівнянні з попередніми групами. Однак умови та можливості впровадження доповненої реальності в їх контент є мало дослідженими, оскільки AR-сфера тільки набирає популярності, а, отже, потребують детального вивчення та розроблення вимог до їх нормування та контролю. Зокрема слід враховувати термічний вплив, що впливатиме на відтворення кольорів та їх вигорання, наявність скла та вплив відблисків на зчитування та відтворення

маркерів, можливість сканування маркерів у динаміці, хімічний вплив, вплив вітру та вологи, гнучкість матеріалів тощо.

На основі проведеного попереднього аналізу та огляду літератури [8, 41-51] було розроблено класифікацію друкованої продукції, у дизайн якої можна впровадити елементи доповненої реальності, що представлена на рисунку 1.14 [8].

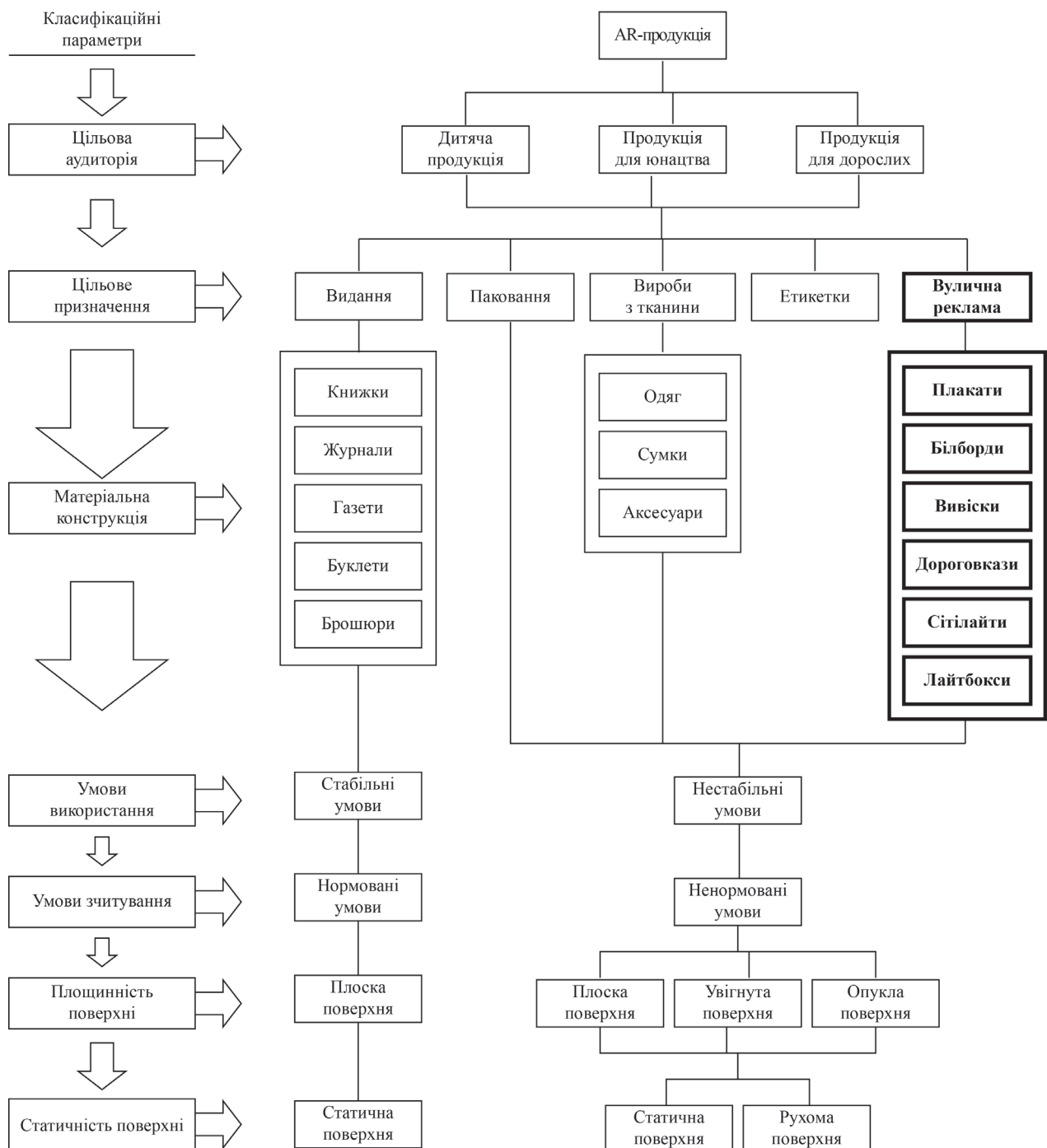


Рисунок 1.14 – Класифікація продукції з елементами доповненої реальності [8]

### 1.3. Визначення чинників впливу на процес відтворення AR-елементів

На відтворення елементів доповненої реальності мають вплив різні параметри – від системних та апаратних показників пристроїв для створення та перегляду віртуальних об’єктів до показників маркеру та умов його зчитування [2].

Всі їх можна розділити на певні групи факторів впливу – параметри програмного забезпечення (ПЗ), характеристики апаратного забезпечення (АЗ), особливості матеріалів для друку маркерів (М), навички та умови роботи персоналу (П), особливості обраної технології процесів (Т), умови використання продукції (УВ), параметри складових AR-елементів (інформація) (І), умови контролю якості (КЯ) [2].

Для розрахунку показника вагомості вище описаних груп показників була використана методика експертної розстановки пріоритетів [2]. У дослідженні приймала участь група експертів, які мали різний рівень знань у сфері доповненої реальності – студенти, фахівці, викладачі. Отримані результати досліджень представлені у [2]. На рисунку 1.15 представлена діаграма Парето, що відображає отримані результати визначення пріоритетності визначених вище факторів [2].

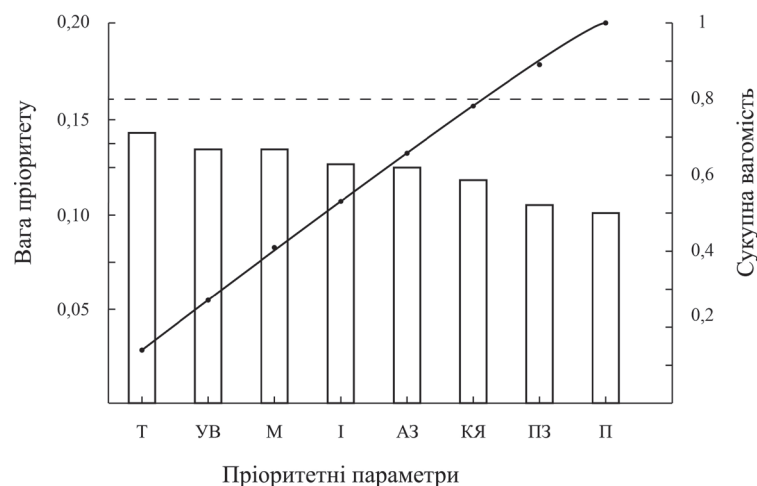


Рисунок 1.15 – Пріоритетні фактори впливу на зчитування AR-елементів [2]:

Т – технології; УВ – умови використання AR-продукції; М – матеріали; І – інформація; АЗ – апаратне забезпечення; КЯ – контроль якості; ПЗ – програмне забезпечення; П – персонал.

Проаналізувавши рисунок 1.15, можна визначити фактори, які мають найбільший вплив на відтворення AR-елементів – це технологія, умови використання AR-продукції, матеріали, інформація, апаратне забезпечення. Найменш вагомими є програмне забезпечення, персонал [2].

На основі проведеного аналізу було побудовано причинно-наслідкову діаграму для розкриття груп факторів, що впливають на відтворення AR-елементів, для їх більшого увиразнення. Вона наведена на рисунку 1.16. Як можна побачити з рисунку 1.16, найбільш вагомими є такі параметри, як технологія, умови використання продукції з доповненою реальністю, інформація, апаратне забезпечення, оскільки вони є найбільш розгалуженими гілками. Найменш пріоритетними є параметри програмного забезпечення та характеристики персоналу. Все це підтверджує результати, що були отримані у ході аналізу діаграми Парето (див. рис. 1.15) [2].

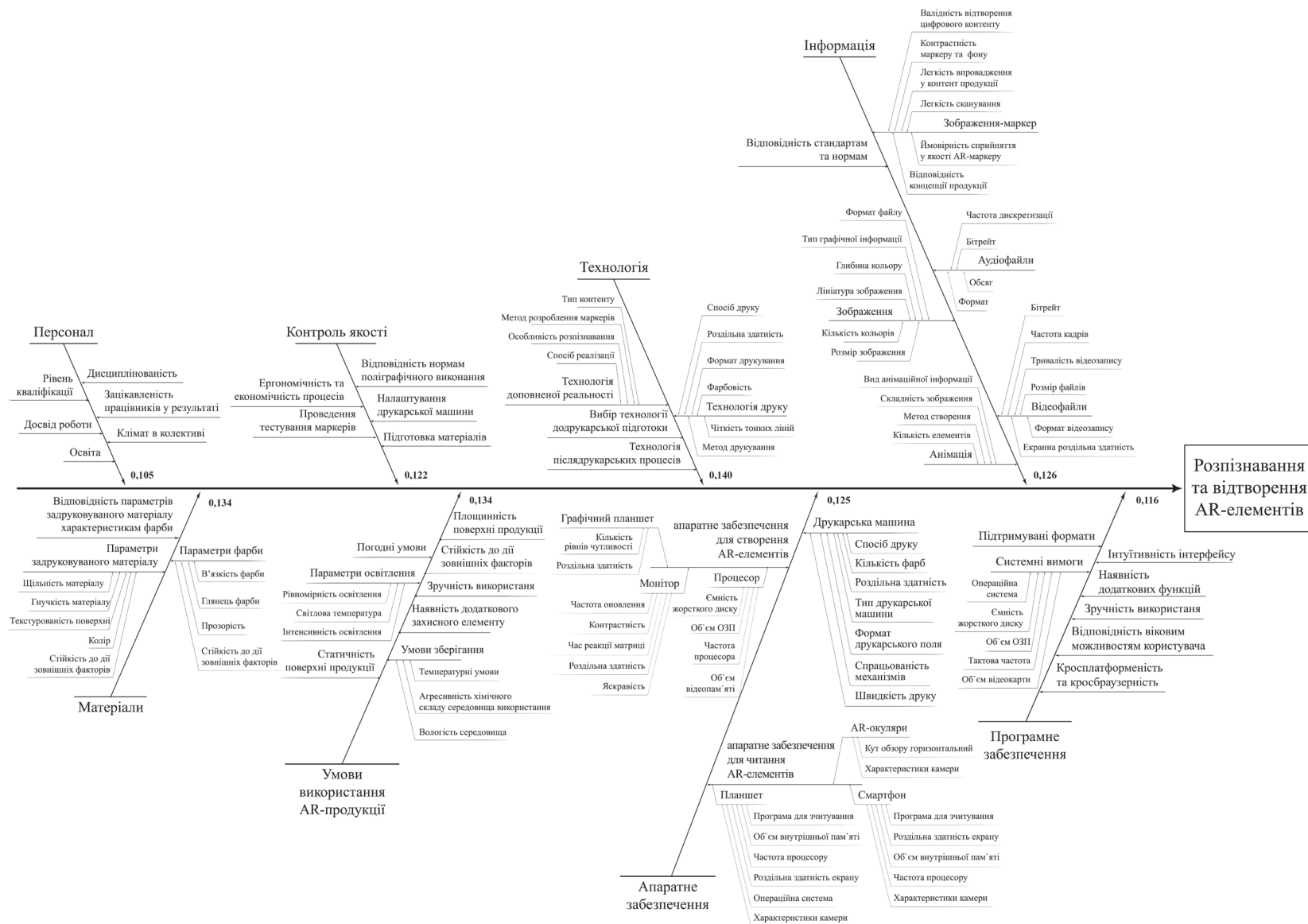


Рисунок 1.16 – Причинно-наслідкова діаграма факторів впливу на процес зчитування маркерів доповненої реальності [2]



#### 1.4. Розроблення гіпотези та завдання дослідження

Результати проведених досліджень показали, що найменш вивченим напрямком сфери доповненої реальності для друкованої продукції є продукція вуличної реклами і дуже важливо всебічно вивчити вплив зовнішніх факторів на якість процесу відтворення маркерів доповненої реальності.

Для нормалізації процесів відтворення елементів доповненої реальності слід в першу чергу дослідити можливості сканування та розпізнавання маркерів під впливом зовнішніх факторів та визначити як впливають на використання такого роду продукції.

Для цього слід провести ряд експериментів, що полягатимуть у розробці ряду тест-маркерів із заданими характеристиками для перевірки якості їх відтворення на різних матеріалах, що підходять для виготовлення продукції вуличної реклами. Також слід визначити як умови зберігання та зовнішні умови впливають на відтворення маркерів. Не менш важливим буде встановити вплив на відтворення маркерів характеристик матеріалів для друку та параметри друку.

Таким чином, можна висловити таку гіпотезу дослідження, що полягає у забезпеченні стабілізації процесу відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю під впливом зовнішніх факторів шляхом керування параметрами маркерів на стадії їх проєктування. Керування параметрами маркерів доповненої реальності полягає у встановленні таких характеристик маркерів, що здатні забезпечити їх мінімально можливі зміни в процесі визначених умов експлуатації друкованої продукції.

На підставі викладеного у підрозділах 1.1-1.3 та розробленої гіпотези ставляться такі завдання дослідження:

- на основі проведення аналітичного дослідження встановити фактори впливу на показники надійності та довговічності надрукованих маркерів доповненої реальності, що впроваджуються у контент друкованої продукції вуличної реклами із елементами доповненої реальності;

- проаналізувати проблеми та визначити напрями стабілізації процесу відтворення елементів доповненої реальності;

- теоретично обґрунтувати та розробити концепцію формування параметрів маркерів доповненої реальності в залежності від їх поліграфічного виконання та умов подальшого використання друкованої продукції в який вони впроваджуються;
- розробити методи і засоби вдосконалення технологічного процесу відтворення маркерів доповненої реальності на друкованій продукції.

### Висновки до першого розділу

1. Було проведено аналітичний огляд сучасного стану технологій доповненої реальності та перспектив її розвитку довів, що проблема удосконалення технології відтворення маркерів доповненої реальності для друкованої продукції є актуальною та має перспективи вирішення.

2. Увиразнено технологічні особливості різних видів AR-систем, проведено класифікацію видів маркерів доповненої реальності. Було визначено основні тенденції у сфері AR-технологій, апаратного та програмного забезпечення для створення елементів доповненої реальності, особливостей створення AR-маркерів.

3. На основі аналізу науково-технічних джерел розроблено інформаційну та математичну модель процесу сканування та розпізнавання маркерів та сформовано концепцію нормалізації процесів відтворення елементів доповненої реальності, яка полягає у прогнозуванні впливу умов використання друкованої продукції з доповненою реальністю та виборі конструктивно-технологічних параметрів AR-маркерів, що буде на ній друкуватися, що дозволить зменшити цей вплив або уникнути його у ході експлуатації.

## **РОЗДІЛ 2**

### **РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧИТУВАННЯ AR-МАРКЕРІВ НА ВУЛИЧНІЙ РЕКЛАМІ**

2.1. Встановлення взаємозв'язків між складниками процесу створення елементів доповненої реальності

Важливим етапом процесу виготовлення продукції з доповненою реальністю є створення елементів доповненої реальності. Він займає більшу частину цього процесу та має визначальну роль, оскільки від якісного результату цього етапу, що буде працювати за більшості умов тестування, буде залежати й подальша можливість використання такого роду продукції [53].

Цей процес можна розглядати як взаємодію трьох потоків – інформаційного, матеріального та енергетичного. За методикою [53] розроблено схему взаємодії трьох потоків (див. додаток Б), що показала що всі процеси етапу, що розглядається, відбуваються у цифровому варіанті, що у свою чергу показує, що взаємодія інформаційного, енергетичного та матеріального потоків відбувається на кожному етапі постійно [53].

Визначення параметрів, що впливатимуть не тільки на взаємодію цих потоків, але й на загальний процес створення та відтворення елементів доповненої реальності є доволі важливим питанням, оскільки це дозволить виготовляти якісну продукцію та зменшити витрати на виконання повторних операцій через перероблення невідповідних елементів.

Для цього було проведено дослідження [7], на основі якого було розроблено інформаційну та математичну модель взаємодії елементів трьох потоків у ході виконання процесу зчитування маркеру доповненої реальності, що дозволило побачити взаємозв'язки між елементами та сформулювати вимоги до тестових маркерів, що були розроблені для проведення експериментальних досліджень. Результати можна побачити в додатку Б.

## 2.2. Критерії коректного зчитування елементів доповненої реальності

Для процесу створення продукції з елементами доповненої реальності доволі важливим етапом є процес тестування самих AR-маркерів, оскільки від якості проведення цього процесу буде залежати вся подальша експлуатація друкованої продукції із доповненою реальністю. Особливо це стосується продукції вуличної реклами із доповненою реальністю, оскільки таких чітких критеріїв у даному напрямку ще не встановлено [1].

Найважливішою проблемою у напрямку дослідження є зчитування елементів доповненої реальності, оскільки від правильної розробки маркеру залежить взагалі можливість використання друкованої продукції з доповненої реальності в цілому. Було обрано наступні альтернативи-технології розроблення елементів доповненої реальності, які впливають на подальше зчитування AR-маркерів – це технологія на основі програмного коду ( $A_1$ ), на основі застосування онлайн-додатку ( $A_2$ ), на основі WYSIWYG систем ( $A_3$ ) [1].

Також було визначено ряд груп критеріїв, що наведені у таблиці 2.1 [1].

Таблиця 2.1 – Критерії відтворюваності елементів доповненої реальності [1]

Фактор	Критерій	Стимулятор / Дестимулятор
$C_1$	Безвідмовність роботи маркеру	стимулятор
$C_2$	Легкість розпізнавання	стимулятор
$C_3$	Ймовірність появи друкарських дефектів	дестимулятор
$C_4$	Відповідність параметрів маркеру	стимулятор
$C_5$	Параметри збереження маркеру	стимулятор

Було проведено дослідження обраних критеріїв [1] та на основі нього було поділено обрані критерії на комплексні (показники функціональності маркеру та показники дизайну маркеру), групові (всі вищеперераховані групи) та одиночні (окремі критерії кожної з груп) [1]. На основі проведеного дослідження було сформовано схему формування ієрархії між визначеними параметрами, що наведена на рисунку 2.1 [1].

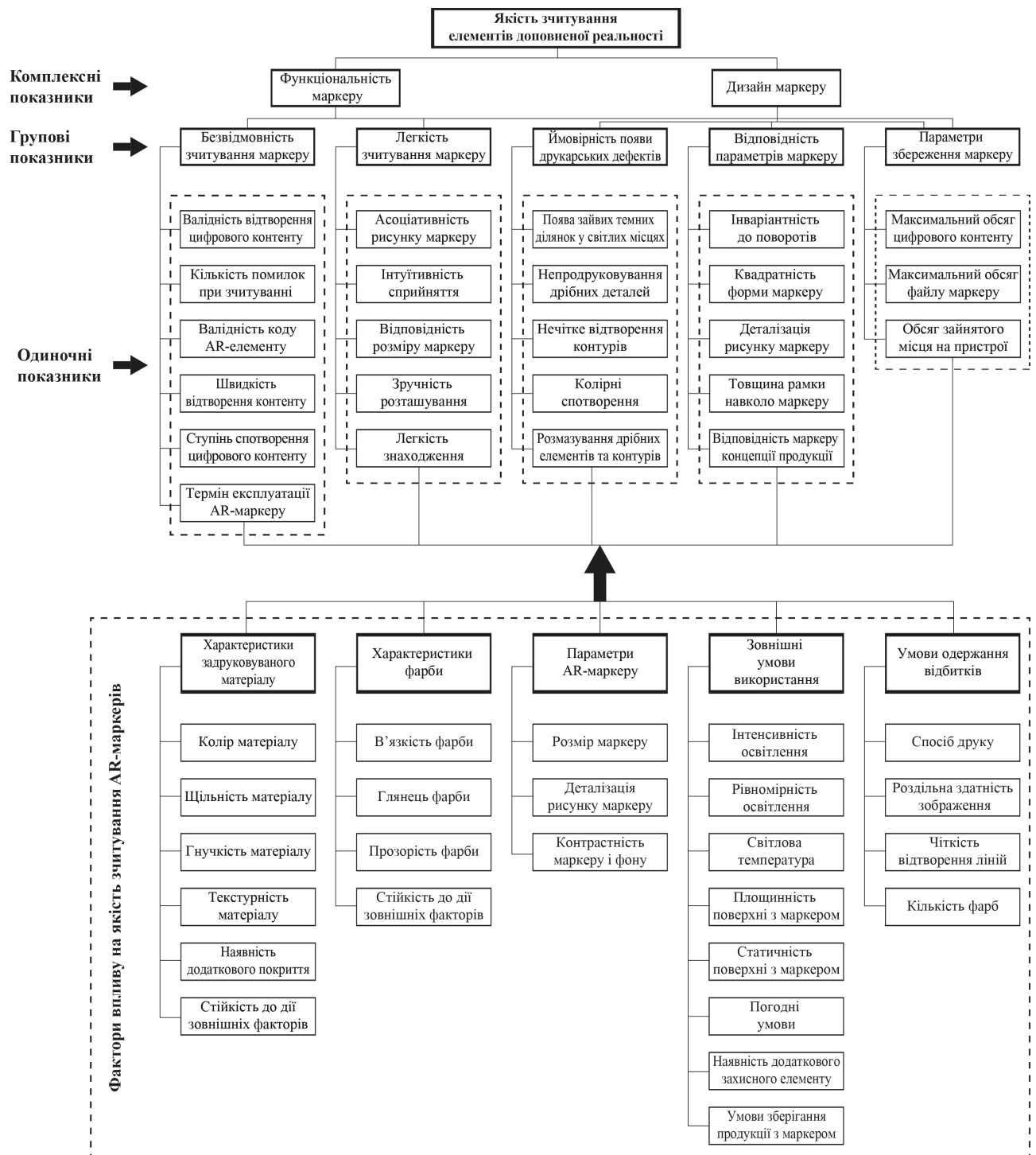


Рисунок 2.1 – Ієрархія показників якості процесу відтворення елементів доповненої реальності [1]

Після цього було виконано ранжування критеріїв за допомогою методики на основі використання методики Т. Сааті з використанням матриці парних порівнянь [62]. Результати експертного оцінювання наведені у таблиці 2.2 [1].

Таблиця 2.2 – Показники вагомості [1]

$X_i$	$X_i$					Добуток	Корінь	Вектор пріоритетів ( $w_i$ )
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$			
$C_1$	1	3	5	3	7	315,0000	3,1598	0,4431
$C_2$	1/3	1	4	1/3	5	2,2222	1,1732	0,1645
$C_3$	1/5	1/4	1	1/3	7	0,1167	0,6507	0,0912
$C_4$	1/3	3	3	1	9	27,0000	1,9332	0,2711
$C_5$	1/7	1/5	1/7	1/9	1	0,0005	0,2144	0,0301
$\sum a_j$							7,1313	
Власне значення матриці ( $\lambda_{\max}$ )							5,3870	
Індекс узгодженості (ІУ)							0,0967	
Усереднене значення ІУ							1,1200	
Відносна узгодженість (ВУ)							0,0864	

Після аналізу отриманих результатів було визначено, що найбільш вагомими критеріями якості зчитування AR-маркерів безвідмовність роботи маркеру ( $C_1$ ) та відповідність параметрів дизайну маркеру ( $C_4$ ).

Також було виконано аналіз та ранжування визначених раніше альтернатив [1] відносно критеріїв за методикою [62], на основі результатів яких було визначено вектор глобальних пріоритетів для вибору найкращої альтернативи, що наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вектор глобальних пріоритетів [1]

Альтернативи	Вектори пріоритетів альтернатив відносно критеріїв					Глобальний вектор
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	
$A_1$	0,2271	0,8000	0,0584	0,7007	0,7720	0,4507
$A_2$	0,7219	0,1333	0,2966	0,2021	0,1734	0,4289
$A_3$	0,0510	0,0667	0,6450	0,0972	0,0545	0,1204

Відповідно до таблиці 2.3 найкращим варіантом для розроблення елементу доповненої реальності, що забезпечить досягнення раціональних показників якості процесу зчитування елементів доповненої реальності, є перший варіант, а саме: розробка елементу доповненої реальності на основі програмного коду [1]. Саме ця технологія і використовувалася при розробленні тестових зразків для подальшого експериментального дослідження.

### 2.3. Розроблення системи факторів впливу на процес зчитування маркерів доповненої реальності

У поліграфії доволі важливими є різноманітні параметри, що впливають на якість не тільки готової продукції, але й виконання кожного етапу технологічного процесу виготовлення друкованої продукції. Це стосується й друкованої продукції із елементами доповненої реальності [8]. На основі проведеного аналізу інформаційних джерел, а також результатів, що висвітлені у підрозділах 2.1-2.2 було визначено ряд факторів, що впливали на зчитування маркерів доповненої реальності. Їх вплив має комплексний характер, оскільки поява різних дефектів на відбитках та відмов у ході експлуатації маркерів у більшості випадків спричинюється дією декількох вагомих чинників. Тому для дослідження цього напрямку було розглянуто параметри системи оригінал-здруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів та методи і засоби їх вимірювання [8].

У ній можна виділити три підсистеми: підсистема цифрового контенту, що наповнює елемент доповненої реальності; підсистема апаратного забезпечення для створення та відтворення елементів доповненої реальності; підсистема відбитка – сам відбиток, матеріал, чорнила, системи контролю. Перша підсистема має найбільш загальні вимоги щодо нормалізації, оскільки її параметри мають найменший вплив на процес відтворення маркерів, впливаючи лише на якість відтворюваного контенту. У другій підсистемі можна контролювати мінімальні значення характеристик апаратного забезпечення, що дозволить якісно вплинути на процес відтворення маркерів. Третя підсистема має найбільш істотний вплив на процес відтворення, оскільки від правильного підбору її складових буде залежати взагалі можливість зчитування та подальшого відтворення цифрового контенту друкованої продукції із доповненою реальністю [8].

У цій підсистемі можна виділити такі фактори, що впливають на процес відтворення маркерів, які можна розділити на певні групи [8]:

а) фактори, що відповідають характеристикам задрукованого матеріалу [8]:

c1 – колір задрукованого матеріалу (КЗМ); c2 – щільність задрукованого матеріалу (ЩЗМ); c3 – гнучкість задрукованого матеріалу (ГЗМ); c4 – текстурність задрукованого матеріалу (ТЗМ); c5 – наявність додаткового покриття (НДП); c6 – стійкість до дії зовнішніх факторів матеріалу (СЗФМ) [8];

б) фактори, що відповідають характеристикам фарби [8]:

c7 – в'язкість фарби (ВФ); c8 – глянець фарби (ГФ); c9 – прозорість фарби (ПФ); c10 – стійкість до дії зовнішніх факторів чорнила (СЗФЧ) [8];

в) характеристики маркеру-відбитку [8]:

c11 – розмір маркеру (РМ); c12 – деталізація рисунку маркеру (ДМ); c13 – контрастність маркеру і фону (КМФ) [8]

г) зовнішні умови використання [8]:

c14 – інтенсивність освітлення (ІО); c15 – рівномірність освітлення (РО); c16 – світлова температура (СТ); c17 – площинність поверхні з маркером (ПП); c18 – статичність поверхні з маркером (СП); c19 – погодні умови (ПУ); c20 – наявність додаткового захисного елементу (ДЗЕ); c21 – умови зберігання продукції з маркером (УЗП) [8];

д) умови одержання відбитків [8]:

c22 – спосіб друку (СД); c23 – роздільна здатність зображення (РЗ); c24 – чіткість відтворення ліній (ЧВЛ); c25 – кількість фарб (КФ) [8].

Наступним кроком було визначено і побудовано у вигляді рисунку 2.2 взаємозв'язки між факторами, наведеними вище. Далі побудовано матрицю досяжності, що представлена на рисунку 2.3 [8].

Потім було проведено аналіз матриці досяжності М' для множини вершин С. Аналіз першого рівня ітерацій наведено у таблиці 2.4 [8]. Повний аналіз представлений у Додатку В у таблиці В.1.

Далі було виконано побудову домінантну ієрархічну впорядковану модель критеріїв впливу, що представлена на рисунку 2.4 [8].



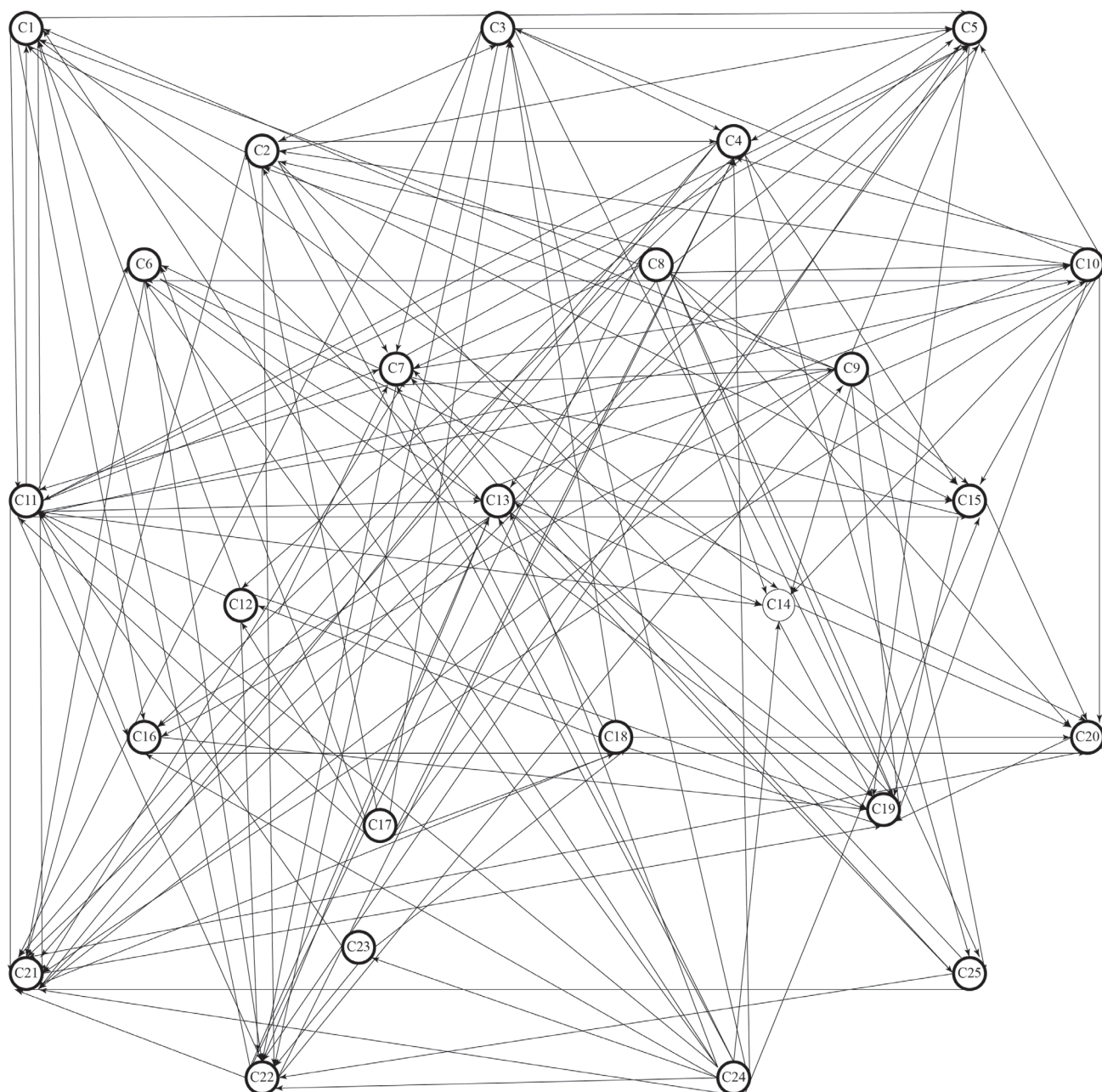


Рисунок 2.2 – Зв'язки між критеріями вибору параметрів, які впливають на процес відтворення маркерів [8]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
3	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
8	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
9	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
10	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
11	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
12	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
24	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

Рисунок 2.3 – Бінарна матриця досяжності  $M'$  для множини вершин  $C$  [8]

Таблиця 2.4 – Ітерація аналізу бінарної матриці досяжності  $M'$  [8]

№ рівня	i-й елемент	$L(c_i)$ – досягнуті вершини	$P(c_i)$ – вершини-попередниці	$L(c_i) \cup P(c_i)$
Визначення першого рівня ієрархії				
а	1	1,5, 14,15,16,18,21	1,8,9,11,12,13,22,24	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10,17,24	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10,17,18,24	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11,12,17,24	4
	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13,17	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13,17,24	6
	7	5,6,7,10,11,18,21,22	2,3,7,8,9, 12,13, 24,25	7
	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6,9,10,11,13,14,15,16,18,21,22,25	7,11,12,17,23,24	11
	12	1,4, 11,12,18,19,22	12,17,18	12
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14,24	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15,24	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16,24	16
	17	2,3,4,5,6,11,12,17,22	<b>17</b>	17
	18	1,2,3,5,11,12,13,18,19,20,21	17,18,23	18
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10, 12,13,14,15,16,18,19,20,21	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,18,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,18,20,21,22,24,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13, 22,23,24,25	22
	23	18,22,23	23,24	23
	24	1,2,3,4,6,7,11,12,13,14,15,16,20,21,22,23, 24	<b>24</b>	24
	25	7, 17,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25

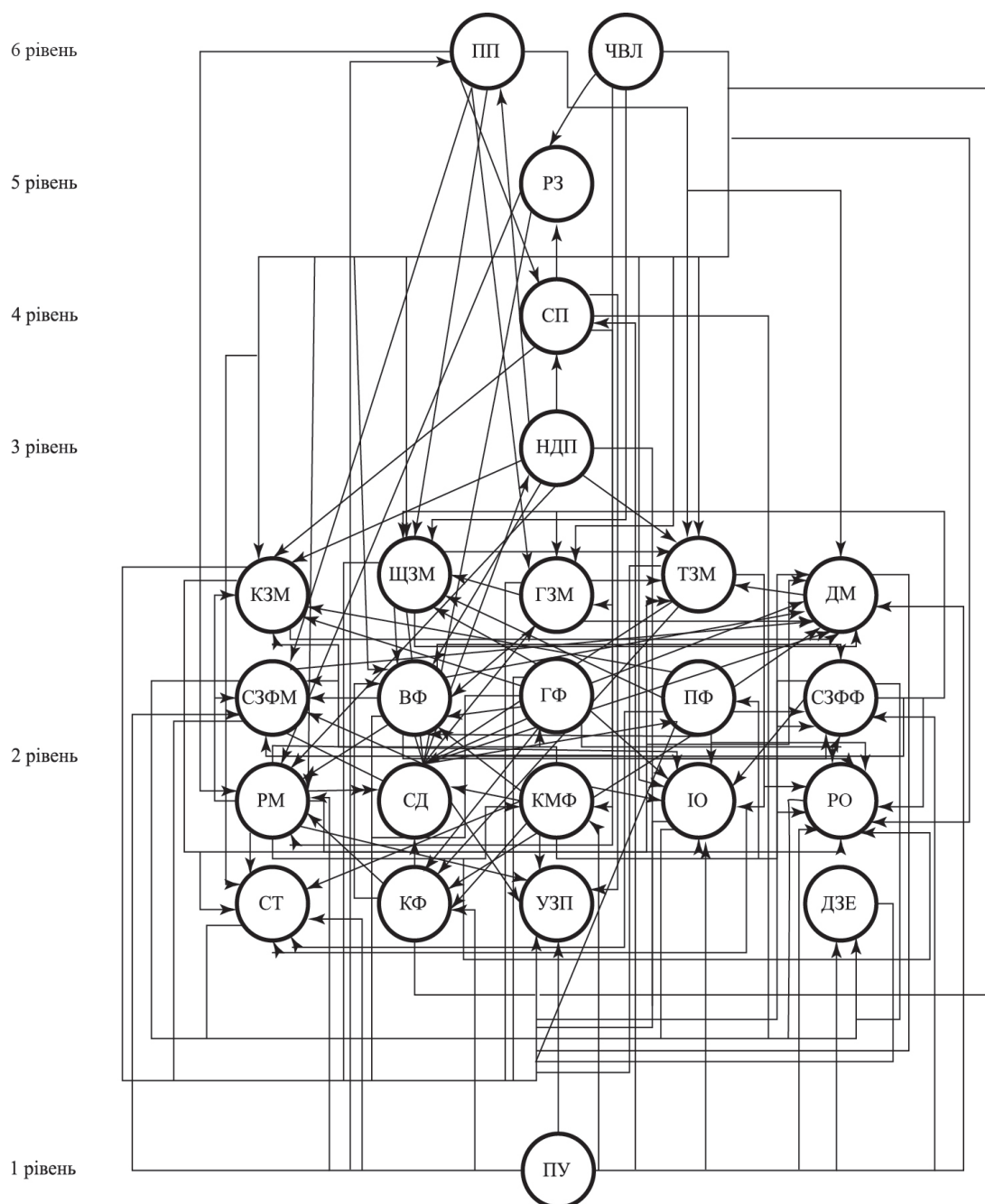


Рисунок 2.4 – Домінантна ієрархічна впорядкована модель критеріїв впливу на відтворення маркерів [8]

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що у даній підсистемі відбитка з маркером доповненої реальності є багато вагомих факторів, найбільш вагомим з яких є погодні умови, що визначатимуть вплив інших факторів та його ступінь, а також найбільш впливовими є наступні: розмір маркеру; контрастність маркеру і фону; ступінь деталізації маркеру; інтенсивність освітлення; колір задрукованого матеріалу; щільність задрукованого матеріалу; гнучкість

задрукованого матеріалу; текстурність задрукованого матеріалу; наявність додаткового покриття; стійкість до дії зовнішніх факторів матеріалу; в'язкість фарби; глянець фарби; прозорість фарби; стійкість до дії зовнішніх факторів фарби; рівномірність освітлення; світлова температура; наявність додаткового захисного елементу; умови зберігання продукції з маркером; спосіб друку; кількість фарб. Від вірного підбору даних параметрів буде залежати підбір мінімально необхідних параметрів системи апаратного забезпечення для створення та відтворення елементів доповненої реальності [8]. До цих параметрів можна віднести наступні [8]:

а) параметри апаратного забезпечення для створення елементів доповненої реальності (РС, графічний планшет) [8]:

b1 – обсяг операційної пам'яті (ОЗП); b2 – обсяг пам'яті жорсткого диску (ПЗП); b3 – обсяг відео-пам'яті (ОВП); b4 – діагональ дисплею (ДД); b5 – кількість відтворюваних кольорів (КК); b6 – яскравість екрану (ЯЕ); b7 – контрастність екрану (КЕ) [8];

б) параметри апаратного забезпечення для відтворення елементів доповненої реальності (смартфон, планшет) [8]:

b8 – обсяг пам'яті (ОП); b9 – кількість відтворюваних кольорів (КВК); b10 – роздільна здатність екрану (РЗЕ); b11 – відстань та параметри фокусування (ВПФ) [8].

Графи взаємозв'язків трьох підсистем представлений на рисунку 2.5 [8].

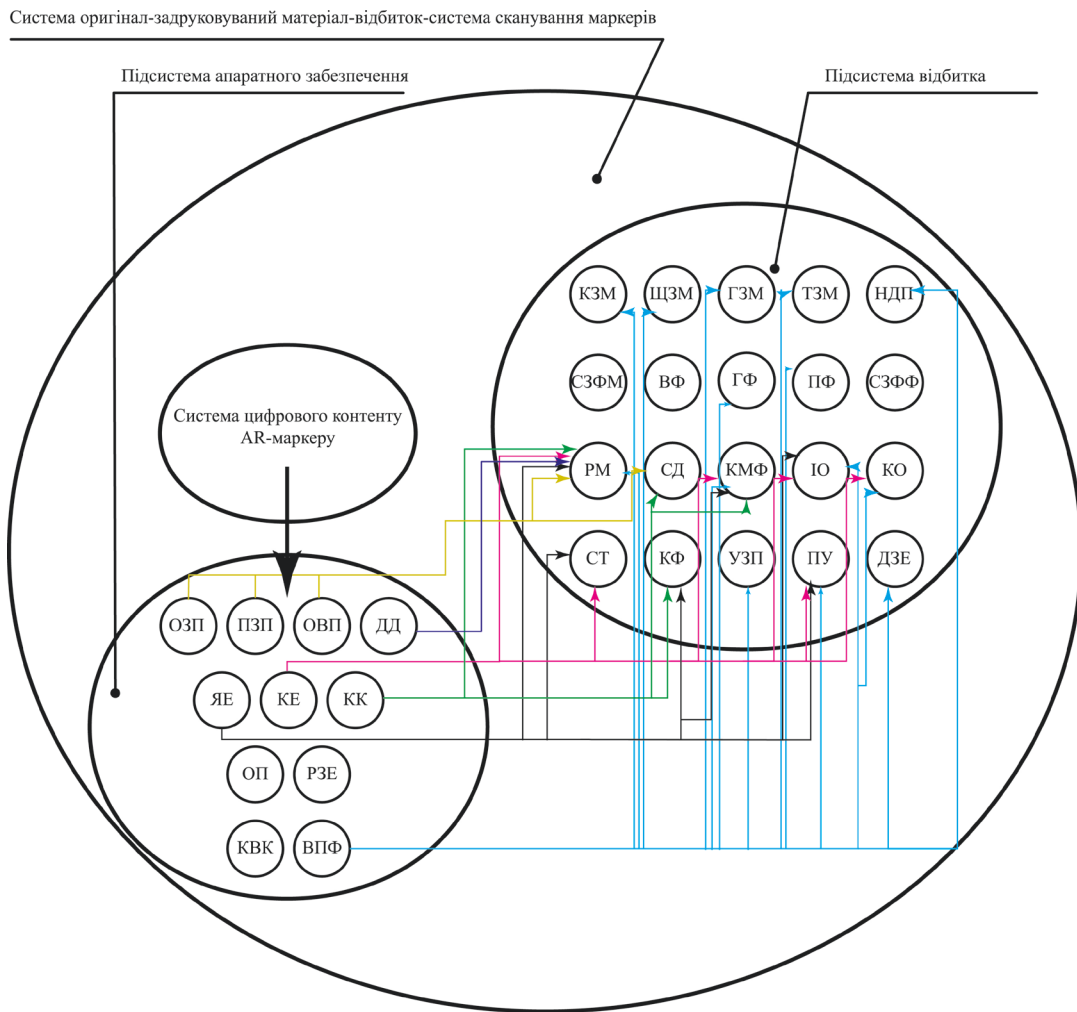


Рисунок 2.5 – Взаємозв'язки між підсистемами системи оригінал-задруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів [8]

Як можна побачити з рисунку 2.5 найбільш важливим параметром, на який має вплив підсистема відбитка є відстань та параметри фокусування камери смартфона чи планшета, оскільки від коректного налаштування та вибору параметрів підсистеми відбитку буде залежати мінімальна відстань, з якої взагалі буде можливим фокусування камери пристрою та подальше сканування, розпізнавання та відтворення маркерів доповненої реальності. Підсистема цифрового контенту в цілому впливає на підсистему апаратного забезпечення, оскільки основний параметр цієї системи – обсяг даних – буде впливати на обсяг пам'яті апаратного забезпечення для створення AR-елементів та апаратного забезпечення для відтворення AR-елементів, а наповнення та особливості наповнення контенту буде впливати на вибір

мінімальних значень кількості відтворюваних кольорів екрану РС та телефону, яскравості та контрастності дисплею, а також РЗ дисплею [8].

#### 2.4. Вибір друкованої продукції та їх технологій репродукування

Для проведення дослідження було визначено ряд об'єктів, які дозволять комплексно розглянути проблему, що вивчається. Було встановлено, що найменш вивченим напрямком, який має найбільшу кількість факторів впливу є друкована продукція для зовнішньої реклами, зокрема плакати, сітілайти та широкоформатна друкована продукція. Друк такого роду продукції здійснюється переважно як цифровим способом, так і плоским офсетним друком зі зволоженням.

Отже, для проведення досліджень було обрано два способи друку – цифровий широкоформатний друк за струминною технологією та плоский офсетний друк зі зволоженням. А відтак для друку на синтетичних та здубльованих матеріалах використано цифровий друк. Для друку на папері – плоский офсетний друк зі зволоженням.

#### 2.5. Вибір обладнання та матеріалів для проведення дослідження і оцінювання результатів

Для друку тестових зразків було застосовано цифрову машину Mimaki CJV30 та офсетну листову машину Polly Prestige 74.

Друкарські форми виготовлялись за термальною технологією «стр» на обладнанні Agfa Avalon N16.

Для визначення експлуатаційних властивостей та моделювання процесу відтворення AR-маркерів в умовах експлуатації продукції вуличної реклами було обрано такі задруковувані матеріали та фарбувальні речовини:

- полімерний матеріал на ПВХ основі (оракал) білого кольору Oracal 641Economy Cal (глянцевий) товщиною 75 мкм;
- полімерний матеріал на ПВХ основі (оракал) білого кольору Oracal 641Economy Cal (матовий) товщиною 75 мкм;
- ламіноване ПВХ-полотно, армоване поліестеровою ниткою білого кольору Solex™ premium 510M Frontlit (матове);

- папір пігментований Art tech білого кольору (матовий) масою 1 м<sup>2</sup> 150 г;
- екосольвентні чорнила Mimaki BS3 для струменевих принтерів;
- фарби для офсетного друку DONG YANG INK CoMax.

Для плоского офсетного друку використовувалися позитивні термальні друкарські форми Saphira PY, концентрат зволожувального розчину Varn Supreme та протизабруднювальний порошок Varn Regular Fine.

Для сканування та дослідження відтворюваності маркерів було застосовано смартфон Xiaomi Mi 10T. Для вимірювання освітленості використовувався пристрій Oppl Light Master.

Для дослідження впливу зовнішніх умов, умов друку, параметрів матеріалу та фарби на якість відбитків та їх використання у якості маркерів доповненої реальності використовувалися наступні вимірювальні пристрої – цифровий мікроскоп SIGETA Expert та спектроденситометр X-Rite i1Pro 2.

Характеристики обладнання, витратних матеріалів та засобів вимірювань наведені у додатку Г [55-69].

## 2.6. Методика планування і проведення експерименту

### 2.6.1. Методика планування експерименту

Мета експерименту полягатиме у визначення раціональних параметрів AR-маркеру (розмір, колір, характеристика та деталізація рисунку), на який буде найменший вплив умов використання друкованої продукції (освітлення, відстань фокусування, вологість, наявність захисного елемента тощо), що дозволить у подальшому прогнозувати показники безвідмовності та довговічності роботи маркеру з урахуванням умов експлуатації продукції вуличної реклами.

Дослідження виконувалось у три етапи:

1. Пошук раціонального розміру AR-маркеру, який дозволяє стабільно його зчитувати

2. Пошук колірного виконання для обраного раціонального розміру AR-маркеру, що матиме мінімальні зміни колірних характеристик у ході експлуатації продукції вуличної реклами з доповненою реальністю.



3. Пошук раціонального ступеня деталізації рисунку маркеру, що дозволяє стабільно його зчитувати в умовах експлуатації продукції вуличної реклами.

Заключний етап – комплексний аналіз всіх отриманих результатів та розроблення системи нормалізації процесу створення друкованої продукції з доповненою реальністю відповідно до зовнішніх умов їх використання.

#### 2.6.2. Методика проведення дослідження

Згідно із обраною процедурою дослідження тестові зразки було віддруковано на обраних матеріалах, які були розміщені в умовах, наближених до реальних (вологість, температура, освітлення, захисний додатковий матеріал – скло). Експерименти проводились протягом чотирьох місяців упродовж року для встановлення впливу різних зовнішніх умов на показники безвідмовності та довговічності роботи маркеру.

Друкування тестових зразків здійснювалось у нормованих цехових умовах ( $22 \pm 2$ ) °C та відносній вологості повітря ( $65 \pm 10$ ) %. Режимми друкування для цифрового друку: продуктивність 18 м<sup>2</sup>/год; для плоского офсетного друку – 13000 листів/год [55-56].

Відповідно до характеристик камери та екрану (див. додаток Б) обраного пристрою для зчитування та розпізнавання маркерів доповненої реальності, особливостей розпізнавання маркерів доповненої реальності [70-71], а також стандартних розмірів обраної продукції вуличної реклами та висоти їх розміщення [72-74] було розраховано за формулою 1.1 наступні можливі відстані для проведення експерименту:

- плакати та сітілайти – від 50 см до 130 см з кроком у 20 см (50, 70, 90, 110, 130 см);
- білборди – від 130 см до 330 см з кроком у 50 см (130, 180, 230, 280, 330 см);

Для проведення дослідження було зафіксовано зовнішні умови експлуатації продукції вуличної реклами з доповненою реальністю. Загальні умови проведення експерименту та повторного дослідження наведені у таблицях Д.1-Д.2 у додатку Д.

Також було визначено наступні умови проведення експериментів:

а) час сканування та розпізнавання маркерів доповненої реальності – 4-5 с (відповідно до середнього часу відтворення цифрового контенту на вебсайтах [75]), для великої відстані сканування час був збільшений до 7-8 с з огляду на можливо більшу кількість перешкод;

б) реальний час експлуатації вуличної реклами [76-78]:

- плакати – середній термін експлуатації до 1 місяця;
- сітілайти – середній термін експлуатації 2-3 місяці;
- білборди – середній термін експлуатації 2-3 місяці.

г) стандартні розміри продукції вуличної реклами [76-78]:

- сітілайти та плакати –  $1200 \times 1800$  мм;
- білборди –  $6000 \times 3000$  мм;
- максимальний відсоток площі продукції, зайнятий маркером – до 5% (визначено емпіричним шляхом).

д) показники безвідмовності маркерів доповненої реальності (розраховані емпіричним шляхом):

- допустима кількість відмов – 2-3 відмови (обумовлюються людським фактором);
- допустима ймовірність появи відмов – 0,25.

Відповідно до методики планування експерименту (див. пункт 2.5.1), виконання першого етапу експерименту полягало у розпізнаванні маркерів-зразків встановленого розміру з визначених відстаней із фіксуванням часу розпізнавання або взагалі можливості даного процесу. На основі отриманих результатів та їх аналізу було визначено раціональний мінімально можливий розмір AR-маркеру для процесу його розпізнавання та відтворення цифрового контенту, що мав найменший вплив від зовнішніх умов та зміг експлуатуватися встановлений термін для обраного типу продукції.

Другий етап дослідження полягав у визначенні раціонального кольору маркеру, що мав би найменший вплив від зовнішніх умов. Окрім визначення часу розпізнавання маркерів також визначався вплив зовнішніх умов на поліграфічні

показники матеріалу та фарби, а також на колірні характеристики матеріалу та фарби, оскільки їх зміна також впливала на процес розпізнавання маркерів. Для цього проводилися дослідження за допомогою спектрофотометра та мікроскопа електронного вимірювального.

На третьому етапі було обрано раціональний ступінь деталізації маркеру, що міг би скануватися та відтворюватися за будь-яких умов. Фіксовані показники розміру та кольору обиралися відповідно до результатів попередніх етапів дослідження.

На основі проведеного дослідження було обрано маркер із раціональними показниками розміру, кольору та деталізації, що мав мінімальний вплив зовнішніх умов на показники довговічності та безвідмовності, а також на його поліграфічне виконання.

Також було проведено повторне дослідження в максимально наближених умовах для оцінювання отриманих результатів та збереження показників безвідмовності маркерів із встановленими раціональними показниками.

## 2.7. Розроблення тестового файлу для друкування AR-маркерів та їх подальшого оцінювання

Для проведення дослідження щодо коректного зчитування AR-маркерів на продукції з вуличною рекламою було розроблено тестовий файл AR-маркера.

Тест базується на маркерній технології з використанням методу Собеля та складається: з квадратного елемента в монохромному виконанні, що вміщує прості графічні елементи у вигляді схематичного вигляду смартфона та надписом AR, що відтворений стандартним шрифтом Arial напівжирного накреслення без засічок. Також було розроблено зразки у вигляді силуету єдинорога у ромбі з переривчастими лініями та з маркеру зі ступенем деталізації у вигляді виворітного зображення силуету єдинорога у ромбі з переривчастими лініями. Зовнішній вигляд тестових зразків представлений на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Тестове маркер-зображення

Для виконання першого етапу досліджень, а саме оцінювання можливості їх відтворення та терміну використання у відповідних умовах експлуатації встановленої продукції з доповненою реальністю, розроблено тестовий AR-маркер (див. рис. 2.6) різного розміру, що було віддруковано чорним кольором. Розмір AR-маркеру коливався у межах від  $80 \times 80$  мм до  $280 \times 280$  мм з кроком у 50 мм.

Для виконання другого етапу досліджень, а саме оцінювання можливості відтворення AR-маркерів у кольорах продукції із встановленням терміну їх використання у відповідних умовах експлуатації встановленої продукції з доповненою реальністю, було розроблено тестовий зразок маркеру у кольорах СМУК із 100%. Колірні координати цифрового оригіналу зразка наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Колірні координати цифрового оригіналу тестового зразка

Координати	Кольори			
	Блакитний	Пурпурний	Жовтий	Чорний
	$C_{100}M_0Y_0K_0$	$C_0M_{100}Y_0K_0$	$C_0M_0Y_{100}K_0$	$C_0M_0Y_0K_{100}$
L	91	60	97	12
a	-48	99	-22	2
b	-14	-62	94	0

Для виконання третього етапу досліджень, а саме оцінювання можливості відтворення AR-маркерів та терміну використання у відповідних умовах експлуатації встановленої продукції з доповненою реальністю в залежності від ступеня їх деталізації, було розроблено зразок, що складається з маркерів, що

наведені на рисунку 2.6. Маркери було віддруковано у чорному кольорі у розмірі, що був встановлений у ході першого етапу дослідження. Для виконання дослідження для можливості віддруковування зразків із різним ступенем деталізації у кольорі було проведено додаткове імітаційне моделювання з використанням програмного коду, наведеного у додатку Е.

## 2.8. Методики опрацювання експериментальних результатів дослідження

Опрацювання отриманих результатів проводилося за наступними методиками:

а) статистичний аналіз отриманих результатів за рахунок розрахування сумарної величини отриманих результатів та розрахунку їх середнього значення для більшого увиразнення даних [81];

б) математичне моделювання процесу прогнозування появи відмови із застосуванням теорії ймовірностей (розрахунок ймовірності появи відмови, безвідмовної роботи, середнього часу напрацювання на відмову, частоті появи відмови) та статистичної математики (розрахунок математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнту варіацій) [81-83], що дозволить визначити математичне очікування появи відмов маркерів у процесі їх експлуатації, а також певний закон, за яким відбуватиметься відмова маркеру;

в) побудова графічних представлень отриманих статистичних розрахунків для визначення функції (закономірності) щільності розподілення відмови зразків з подальшим аналізом та вибором раціональних показників маркеру на кожному етапі дослідження.

г) проведення імітаційного та регресійного моделювання на основі використання відповідних методів [84-86], а також результатів [87] та [88-89] відповідно з метою оцінювання отриманих результатів в умовах використання реальної продукції та прогнозування безвідмовності їх роботи з врахуванням факторів впливу реального середовища.

Імітаційна модель будувалася за допомогою можливостей програмного забезпечення MATLAB.

Регресійний аналіз та моделювання виконувалися на основі результатів експерименту, імітаційного моделювання, а також результатів дослідження факторів впливу із побудовою ієрархічної моделі параметрів на процес відтворення маркерів. Для проведення такого аналізу необхідно було провести певний ряд досліджень із обраними параметрами для регресійного моделювання, тобто виконати певного роду повнофакторний експеримент, що дозволяв спрогнозувати та передбачити будь-які можливі поєднання впливів факторів на усіх обраних для дослідження рівнях. Необхідна кількість тестувань визначалася наступним чином (2.1) [88-89]:

$$N = \gamma^k \quad (2.1)$$

де  $\gamma$  – кількість рівнів;

$k$  – кількість факторів [62-63].

Результати проведеного експерименту заносилися до розробленої матриці планування. До кожного рядку цієї матриці заносилися середнє значення параметру, за яким виконувалася оцінка, для певної кількості паралельних дослідів [88-89]:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{u=1}^m y_{iu} \quad (2.2)$$

де  $y_{iu}$  – досліджуваний параметр (ймовірність появи відмови у ході сканування та розпізнавання маркеру);

$u$  – порядковий номер паралельного дослідів;

$m$  – кількість паралельних дослідів [88-89].

Для визначення залежності між впливом обраних факторів та ймовірністю появи відмов при їх скануванні необхідно було використовувати наступну функцію відгуку (2.3) [88-89]:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (2.3)$$

Коефіцієнти до даного рівняння визначалися наступним чином (2.4-2.7) [88-89]:

$$b_i = c_1 \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot \bar{y}_j \quad (2.4)$$

$$b_{ij} = c_2 \sum_{j=1}^N [x_{ij}^2 - \beta] \bar{y}_j \quad (2.5)$$

$$b_{lj} = c_3 \sum_{j=1}^N x_{lj} \cdot x_{lj} \bar{y}_j \quad (2.6)$$

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j - \beta \sum_{j=1}^N b_{lj} \quad (2.7)$$

Усі коефіцієнти рівнянь регресії для запланованих тестувань визначалися з однаковою точністю, яка знаходилася наступним чином (2.8) [88-89]:

$$S_{b_i} = \frac{1}{\sqrt{N}} S_{\text{воспр.}} \quad (2.8)$$

Відповідно до вимог коректності проведення регресійного аналізу правильне оцінювання та аналіз отриманих результатів дослідження та подальше їх використання були можливі тільки за умови однорідності дисперсій. Так як у даному випадку теоретичні значення дисперсій невідомі, то оцінка їх однорідності виконувалася за допомогою статистичного аналізу. Дисперсія для і-го дослідів визначалася наступним чином (2.9) [88-89]:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m [y_{ij} - \bar{y}_i]^2; i = \overline{1, N}; j = \overline{1, m} \quad (2.9)$$

Для оцінювання дисперсії відтворюваності було обрано середню дисперсію, яка визначалася наступним чином (2.10) [88-89]:

$$S_{\text{відмв.}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (2.10)$$

Оцінювання однорідності отриманих дисперсій за критерієм Кохрена являла собою знаходження найбільшого значення дисперсії за формулою 2.9 та визначення розрахункового значення цього критерію (2.11) [88-89]:

$$G = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (2.11)$$

Наступним кроком необхідно було знайти число ступенів свободи  $f_1 = k-1$ ;  $f_2=N$  та рівень вагомості  $q$  (зазвичай  $q = 0,05$ ). За таблицею розподілу Кохрена за цими розрахованими показниками знаходилося критичне значення  $G_{\text{кр}}$ . Якщо знайдений  $G < G_{\text{кр}}$ , то гіпотеза про однорідність дисперсій вважалася такою, що приймається [88-89].

Значення ряду коефіцієнтів регресії можуть бути рівними нулю. Це можна було встановити за допомогою перевірки вагомості коефіцієнтів  $b_i$  за критерієм Ст'юдента (2.12) [88-89]:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{b_i}} \quad (2.12)$$

де  $|b_i|$  – абсолютне значення коефіцієнту регресії [88-89];

$S_{b_i}$  – середньоквадратичне відхилення похибки цього значення [88-89]

Розраховане значення порівнювалося з табличним показником критерія Ст'юдента. Якщо для отриманого коефіцієнта  $t_i > t_{\text{кр}}$ , то коефіцієнт приймався як



вагомий. У іншому випадку отримані коефіцієнти можна було вважати недостатньо важкими та потрібно було прибрати з рівняння регресії [88-89].

Адекватність рівняння перевірялося за критерієм Фішера (2.13-2.14) [88-89]:

$$F = \frac{S_{od}^2}{S_{vidm.}^2} \quad (2.13)$$

$$S_{od}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N m_i \left( \bar{y}_i - \hat{y}_i \right)^2 \quad (2.14)$$

де 1 – число значимих коефіцієнтів рівняння регресії [88-89];

$\hat{y}_i$  — розрахункове значення функції відгуку [88-89]

За правилами рівняння регресії адекватно описує експеримент, якщо:  $F_{кр}$  менше або рівне  $F$  розрахункового, де  $F_{кр}$  – табличне значення критерія Фішера для  $q = 0,05$  і чисел ступенів свободи  $f1=m(N-1)$ ,  $f2=N(m-1)$  [88-89]. Це також було перевірено.

Для переходу від умовних кодованих величин у отриманому регресійному рівнянні було використано наступну формулу:

$$x_j = \frac{z_i - z_{i0}}{\Delta z_i} \quad (2.15)$$

де  $x_j$  – кодоване значення фактору;

$z_i$  – нульовий рівень натуральної змінної;

$z_{i0}$  – верхній або нижній рівень натуральної змінної;

$\Delta z_i$  – інтервал варіювання натуральної змінної

## Висновки до другого розділу

1. На основі розробленої схеми взаємозв'язків елементів потоків у процесі створення елементів доповненої реальності, причинно-наслідкової діаграми та за методикою анкетування і оброблення результатів опитування було встановлено пріоритетність чинників впливу на процес відтворення елементів доповненої реальності.

2. Обґрунтовано та створено комплексну методику дослідження впливу зовнішніх факторів на зміну параметрів маркерів друкованої продукції із доповненою реальністю для стабілізації процесу відтворення її контентної складової, яка складається із набору тестових зразків, матеріалів та обладнання для проведення експерименту, методики оцінки характеристики тестових об'єктів.

3. Розроблено методику статистичної обробки отриманих результатів дослідження можливостями програмного пакету MATLAB.

4. Розроблено домінантну ієрархічну впорядковану модель критеріїв впливу на відтворення маркерів доповненої реальності з визначенням рівня їх вагомості та побудовою системи факторів впливу на роботу системи оригінал-здруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів

5. Вперше встановлено критерії якості процесу розпізнавання маркерів з визначенням найбільш вагомих груп та альтернатив виконання цього процесу за методом Т. Сааті.

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ ТА ПАРАМЕТРІВ МАРКЕРІВ НА ВІДТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

### 3.1. Визначення раціонального розміру AR-маркерів

3.1.1. Визначення розміру мінімально можливих розмірів маркерів для визначених відстаней сканування та розпізнавання

#### 3.1.1.1. Визначення розмірів маркерів для сітілайтів та плакатів

Для проведення першого етапу дослідження необхідно було встановити діапазон розмірів маркерів, які можна відтворювати на продукції з доповненою реальністю, раціонально розподіляючи при цьому простір для основної інформації та маркера.

Співвідношення визначених у підрозділі 2.7 розмірів маркерів та продукції становить:

- $80 \times 80$  мм – 0,05%;
- $130 \times 130$  мм – 0,08%;
- $180 \times 180$  мм – 1,5%;
- $230 \times 230$  мм – 3%;
- $280 \times 280$  мм – 4%.

Відповідно до даних, наведених у підрозділі 2.4, обрані розміри задовольняють встановлене співвідношення – не більше 4%, тобто не перешкоджають сприйняттю основної рекламної інформації та не погіршують загальний вигляд реклами.

Виходячи з особливостей розміщення реклами такого роду, було розроблено фізичну модель процесу сканування маркерів доповненої реальності для сітілайтів та плакатів відповідного формату, що наведено на рисунку 3.1.

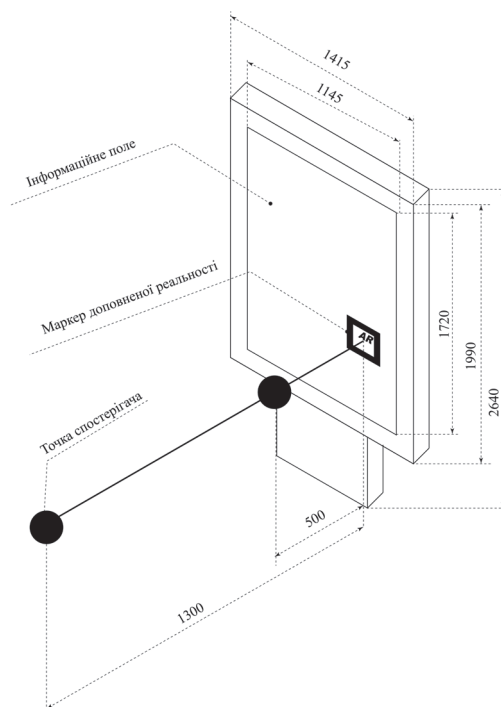


Рисунок 3.1 – Моделювання процесу сканування маркеру доповненої реальності для сітілайтів або плакатів

За методикою, що наведена у підрозділі 2.4 проведено первинні сканування маркерів, які показали, що для сітілайту та плакату на мінімальній відстані (50 см) зчитуються маркери розміром від  $80 \times 80$  мм до  $280 \times 280$  мм, а, отже, мінімальний розмір, що зчитується з такої відстані –  $80 \times 80$  мм. А на максимальній –  $230 \times 230$  мм,  $280 \times 280$  мм, тобто мінімально можливим розміром для зчитування є  $230 \times 230$  мм. Тому для подальшого дослідження при зчитуванні з мінімальної відстані було обрано розміри  $80 \times 80$  мм;  $130 \times 130$  мм, а для максимальної –  $230 \times 230$  мм,  $280 \times 280$  мм.

#### 3.1.1.2. Визначення розмірів маркерів для білбордів

Той же початковий вибір був виконаний і для маркерів, що будуть віддруковані на білбордах. Для обраного розміру маркерів (див. підрозділ 2.7) та продукції (див. підрозділ 2.4) їх співвідношення становить менше 0,5 %.

Проаналізувавши отримані результати, співвідношення площ визначених розмірів маркерів та білбордів відповідають встановленим межах до 4% (див. підрозділ 2.4), а, отже, не погіршують загальний вигляд реклами.

Виходячи з особливостей розміщення реклами такого роду, було розроблено фізичну модель процесу сканування маркерів доповненої реальності для білбордів відповідного формату, що наведено на рисунку 3.2.

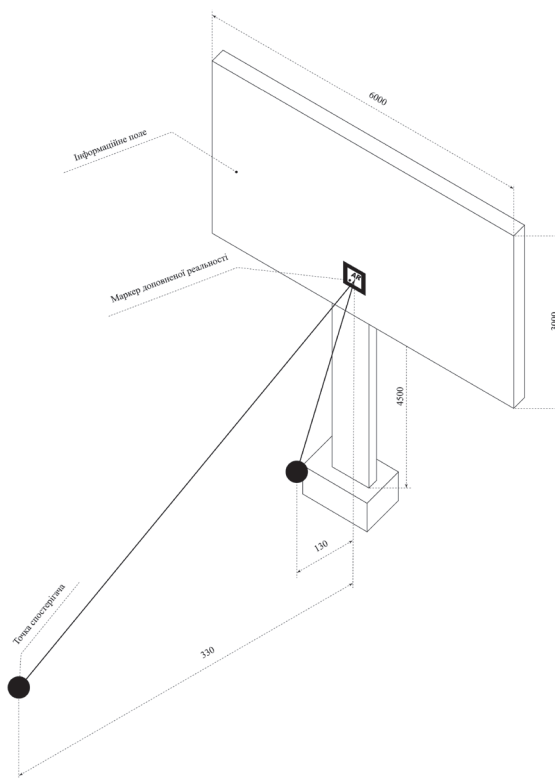


Рисунок 3.2 – Моделювання процесу сканування маркеру доповненої реальності для білбордів

За методикою, що наведена у підрозділі 2.4 проведено первинні сканування маркерів, які показали, що для білборду на мінімальній відстані (130 см) зчитуються маркери розміром від  $180 \times 180$  мм до  $280 \times 280$  мм, а, отже, мінімальний розмір, що зчитується з такої відстані –  $180 \times 180$  мм. А на максимальній (330 см) –  $230 \times 230$  мм,  $280 \times 280$  мм, тобто мінімально можливим розміром для зчитування є  $230 \times 230$  мм. Тому для подальшого дослідження при зчитуванні з мінімальної відстані було обрано розміри  $180 \times 180$  мм, а для максимальної  $230 \times 230$  мм та  $280 \times 280$  мм.

### 3.1.2. Визначення раціонального розміру AR-маркерів для сітілайтів та плакатів

#### 3.1.2.1. Визначення раціонального розміру AR-маркерів, що віддруковані цифровим способом друку

Було протестовано обрані у попередньому підрозділі маркери в умовах, що визначені у підрозділі 2.5 за методикою 2.6. Отримані середні часові заміри сканування маркерів наведені у таблицях 3.1-3.2 [3].

Таблиця 3.1 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої мінімальної відстані (50 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
			Наявність захисного елементу (скло)		
1	80 × 80	2,17	5,21	12,65	Не зчитувався
			Відсутність захисного елементу		
			1,81	3,95	4,99
2	130 × 130	1,99	Наявність захисного елементу (скло)		
			3,36	5,69	Не зчитувався
			Відсутність захисного елементу		
			1,01	2,35	3,99

Таблиця 3.2 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої максимальної відстані (130 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
			Наявність захисного елементу (скло)		
1	230 × 230	1,87	7,01	7,95	15,29
			Відсутність захисного елементу		
			4,66	5,75	7,69
2	280 × 280	2,92	Наявність захисного елементу (скло)		
			4,55	6,83	7,87
			Відсутність захисного елементу		
			3,49	4,75	6,02

Оцінюючи отримані результати, можна зробити висновок, що на мінімальній відстані (50 см) при наявності додаткового захисного елементу швидше зчитувалися зразки розміром 130 × 130 мм. Вони виконували свої функції і при низькому рівні освітленості під час похмурого дня (до 1000 люксів),

і при перемінній хмарності (5000-7000 люксів) за встановлений нормами час у 4-5 с. Проте за високого рівня освітленості (сонячний день – до 10000 люксів) зразки взагалі не зчитувалися за відведену кількість спроб та встановлений час (див. підрозділ. 2.4). При відсутності додаткового захисного елементу у вигляді скла зразки краще зчитувалися пристроєм – вони сканувалися та відтворювалися за будь-яких умов освітленості (часовий показник знаходиться в межах 3-5 с), проте при високому рівні освітленості маркери зчитувалися з 3-4 спроби і за час, більший за встановлені межі (до 7 с в середньому). Що ж до зразків меншого розміру, а саме  $80 \times 80$  мм, то як показали результати дослідження, зразки зчитувалися без наявності захисного елементу. При його наявності створювалося занадто багато додаткових затемнень та відблисків на маркері, що змінювало його рисунок та унеможлиблювало його зчитування.

При зчитуванні маркерів з максимальної відстані (130 см) за відсутності захисного елементу зразки в обох визначених розмірах ( $230 \times 230$  мм,  $280 \times 280$  мм) зчитувалися та відтворювалися при всіх умовах освітленості за відведений проміжок часу у 7-8 с. При наявності захисного елементу зразки також коректно зчитувалися зі встановленої відстані (130 см), проте при високому рівні освітленості зразки розміром  $230 \times 230$  мм незчитувалися, що свідчило про неможливість їх використання за таких умов.

Аналіз отриманих результатів за описаною методикою у підрозділі 2.8 у вигляді відповідних значень по кожному типу освітлення для відповідних розмірів при зчитуванні з відстані 50 см представлений у таблицях 3.3-3.4 [3].

Відповідно до методики оцінювання отриманих результатів (див. підрозділ 2.8) було побудовано графічні залежності для аналізу отриманих результатів, що наведені на рисунках 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (без додаткового захисного скляного елементу)

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	3	3	0,0169	0,0200	0,0214	0,0214	0,9786	0,9786
8	14	11		6	3	0,0339	0,0200	0,0429	0,0214	0,9571	0,9786
15	21	18		6	3	0,0339	0,0200	0,0429	0,0214	0,9571	0,9786
22	28	25		6	5	0,0339	0,0333	0,0429	0,0357	0,9571	0,9643
29	35	32		6	6	0,0339	0,0400	0,0429	0,0429	0,9571	0,9571
36	42	39		9	3	0,0508	0,0200	0,0643	0,0214	0,9357	0,9786
43	49	46		6	6	0,0339	0,0400	0,0429	0,0429	0,9571	0,9571
50	56	53		9	5	0,0508	0,0333	0,0643	0,0357	0,9357	0,9643
57	63	60		12	12	0,0678	0,0800	0,0857	0,0857	0,9143	0,9143
64	70	67		12	15	0,0678	0,1000	0,0857	0,1071	0,9143	0,8929
71	77	74		12	12	0,0678	0,0800	0,0857	0,0857	0,9143	0,9143
78	84	81		15	15	0,0847	0,1000	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929
85	91	88		15	15	0,0847	0,1000	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929
92	98	95		15	12	0,0847	0,0800	0,1071	0,0857	0,8929	0,9143
99	105	102		15	15	0,0847	0,1000	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929
106	112	109	15	10	0,0847	0,0667	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286	
113	120	116,5	15	10	0,0847	0,0667	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286	
Σ				177	160	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						15,2357		12,0714			
Дисперсія						17,0657		21,5571			
Середньоквадратичне відхилення						4,1311		4,6430			
Коефіцієнт варіації						41%		54%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	20	12	0,0284	0,0293	0,1429	0,0857	0,8571	0,9143
8	14	11		30	12	0,0426	0,0293	0,2143	0,0857	0,7857	0,9143
15	21	18		25	12	0,0355	0,0293	0,1786	0,0857	0,8214	0,9143
22	28	25		35	18	0,0496	0,0439	0,2500	0,1286	0,7500	0,8714
29	35	32		35	21	0,0496	0,0512	0,2500	0,1500	0,7500	0,8500
36	42	39		40	24	0,0567	0,0585	0,2857	0,1714	0,7143	0,8286
43	49	46		40	27	0,0567	0,0659	0,2857	0,1929	0,7143	0,8071
50	56	53		40	24	0,0567	0,0585	0,2857	0,1714	0,7143	0,8286
57	63	60		45	24	0,0638	0,0585	0,3214	0,1714	0,6786	0,8286
64	70	67		45	24	0,0638	0,0585	0,3214	0,1714	0,6786	0,8286
71	77	74		40	27	0,0567	0,0659	0,2857	0,1929	0,7143	0,8071
78	84	81		50	27	0,0709	0,0659	0,3571	0,1929	0,6429	0,8071
85	91	88		45	30	0,0638	0,0732	0,3214	0,2143	0,6786	0,7857
92	98	95		45	33	0,0638	0,0805	0,3214	0,2357	0,6786	0,7643
99	105	102		50	32	0,0709	0,0780	0,3571	0,2286	0,6429	0,7714
106	112	109	60	33	0,0851	0,0805	0,4286	0,2357	0,5714	0,7643	
113	120	116,5	60	30	0,0851	0,0732	0,4286	0,2143	0,5714	0,7857	
Σ				705	410	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						221,9643		641,9643			
Дисперсія						108,1315		178,7197			
Середньоквадратичне відхилення						10,3986		13,3686			
Коефіцієнт варіації						26%		19%			



Кінець таблиці 3.3

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	25	18	0,0307	0,0319	0,1786	0,1286	0,8214	0,8714	
8	14	11		25	21	0,0307	0,0372	0,1786	0,1500	0,8214	0,8500	
15	21	18		35	21	0,0429	0,0372	0,2500	0,1500	0,7500	0,8500	
22	28	25		35	24	0,0429	0,0425	0,2500	0,1714	0,7500	0,8286	
29	35	32		40	33	0,0491	0,0584	0,2857	0,2357	0,7143	0,7643	
36	42	39		45	33	0,0552	0,0584	0,3214	0,2357	0,6786	0,7643	
43	49	46		50	35	0,0613	0,0619	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500	
50	56	53		45	33	0,0552	0,0584	0,3214	0,2357	0,6786	0,7643	
57	63	60		50	36	0,0613	0,0637	0,3571	0,2571	0,6429	0,7429	
64	70	67		55	36	0,0675	0,0637	0,3929	0,2571	0,6071	0,7429	
71	77	74		55	35	0,0675	0,0619	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500	
78	84	81		55	35	0,0675	0,0619	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500	
85	91	88		55	35	0,0675	0,0619	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500	
92	98	95		55	40	0,0675	0,0708	0,3929	0,2857	0,6071	0,7143	
99	105	102		60	40	0,0736	0,0708	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143	
106	112	109		65	45	0,0798	0,0796	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786	
113	120	116,5	65	45	0,0798	0,0796	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786		
Σ				815	565	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						296,6071			141,3643			
Дисперсія						144,2907			59,5917			
Середньоквадратичне відхилення						12,0121			7,7196			
Коефіцієнт варіації						26%			24%			

Таблиця 3.4 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (при наявності захисного скляного елементу)

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	50	20	0,0538	0,0308	0,3571	0,1429	0,6429	0,8571
8	14	11		40	25	0,0430	0,0385	0,2857	0,1786	0,7143	0,8214
15	21	18		45	20	0,0484	0,0308	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571
22	28	25		45	25	0,0484	0,0385	0,3214	0,1786	0,6786	0,8214
29	35	32		45	25	0,0484	0,0385	0,3214	0,1786	0,6786	0,8214
36	42	39		50	30	0,0538	0,0462	0,3571	0,2143	0,6429	0,7857
43	49	46		50	30	0,0538	0,0462	0,3571	0,2143	0,6429	0,7857
50	56	53		60	25	0,0645	0,0385	0,4286	0,1786	0,5714	0,8214
57	63	60		60	30	0,0645	0,0462	0,4286	0,2143	0,5714	0,7857
64	70	67		55	40	0,0591	0,0615	0,3929	0,2857	0,6071	0,7143
71	77	74		55	40	0,0591	0,0615	0,3929	0,2857	0,6071	0,7143
78	84	81		65	45	0,0699	0,0692	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786
85	91	88		65	55	0,0699	0,0846	0,4643	0,3929	0,5357	0,6071
92	98	95		65	60	0,0699	0,0923	0,4643	0,4286	0,5357	0,5714
99	105	102		60	60	0,0645	0,0923	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714
106	112	109		60	60	0,0645	0,0923	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714
113	120	116,5		60	60	0,0645	0,0923	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714

Кінець таблиці 3.4

Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи		
			80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	
Похмурий день – 10-20% освітлення											
Σ			930	650	1,0000	1,0000					
Математичне очікування					370,7143			204,6429			
Дисперсія					60,2076			223,3564			
Середньоквадратичне відхилення					7,7594			14,9451			
Коефіцієнт варіації					15%			40%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	50	25	0,0529	0,0325	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214
8	14	11		50	28	0,0529	0,0364	0,3571	0,2000	0,6429	0,8000
15	21	18		45	25	0,0476	0,0325	0,3214	0,1786	0,6786	0,8214
22	28	25		45	25	0,0476	0,0325	0,3214	0,1786	0,6786	0,8214
29	35	32		55	30	0,0582	0,0390	0,3929	0,2143	0,6071	0,7857
36	42	39		60	42	0,0635	0,0545	0,4286	0,3000	0,5714	0,7000
43	49	46		55	45	0,0582	0,0584	0,3929	0,3214	0,6071	0,6786
50	56	53		45	48	0,0476	0,0623	0,3214	0,3429	0,6786	0,6571
57	63	60		55	54	0,0582	0,0701	0,3929	0,3857	0,6071	0,6143
64	70	67		60	60	0,0635	0,0779	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714
71	77	74		65	50	0,0688	0,0649	0,4643	0,3571	0,5357	0,6429
78	84	81		50	48	0,0529	0,0623	0,3571	0,3429	0,6429	0,6571
85	91	88		60	48	0,0635	0,0623	0,4286	0,3429	0,5714	0,6571
92	98	95		60	60	0,0635	0,0779	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714
99	105	102		60	60	0,0635	0,0779	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714
106	112	109	65	57	0,0688	0,0740	0,4643	0,4071	0,5357	0,5929	
113	120	116,5	65	65	0,0688	0,0844	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357	
Σ			945	770	1,0000	1,0000					
Математичне очікування					380,8929			339,0714			
Дисперсія					46,7128			51,5225			
Середньоквадратичне відхилення					6,8347			7,1779			
Коефіцієнт варіації					13%			14%			
Сонячний день – 90-100% освітлення											
1	7	4	140	90	88	0,0516	0,0540	0,6429	0,6286	0,3571	0,3714
8	14	11		95	90	0,0545	0,0552	0,6786	0,6429	0,3214	0,3571
15	21	18		100	90	0,0573	0,0552	0,7143	0,6429	0,2857	0,3571
22	28	25		95	92	0,0545	0,0564	0,6786	0,6571	0,3214	0,3429
29	35	32		90	92	0,0516	0,0564	0,6429	0,6571	0,3571	0,3429
36	42	39		100	95	0,0573	0,0583	0,7143	0,6786	0,2857	0,3214
43	49	46		120	95	0,0688	0,0583	0,8571	0,6786	0,1429	0,3214
50	56	53		95	98	0,0545	0,0601	0,6786	0,7000	0,3214	0,3000
57	63	60		95	98	0,0545	0,0601	0,6786	0,7000	0,3214	0,3000
64	70	67		95	94	0,0545	0,0577	0,6786	0,6714	0,3214	0,3286
71	77	74		100	100	0,0573	0,0613	0,7143	0,7143	0,2857	0,2857
78	84	81		100	99	0,0573	0,0607	0,7143	0,7071	0,2857	0,2929
85	91	88		105	100	0,0602	0,0613	0,7500	0,7143	0,2500	0,2857
92	98	95		105	100	0,0602	0,0613	0,7500	0,7143	0,2500	0,2857
99	105	102		120	100	0,0688	0,0613	0,8571	0,7143	0,1429	0,2857
106	112	109	120	99	0,0688	0,0607	0,8571	0,7071	0,1429	0,2929	
113	120	116,5	120	100	0,0688	0,0613	0,8571	0,7143	0,1429	0,2857	
Σ			1745	1630	1,0000	1,0000					
Математичне очікування					1292,6786			1369,6714			
Дисперсія					109,1696			68,5744			
Середньоквадратичне відхилення					10,4484			8,2810			
Коефіцієнт варіації					10%			8%			

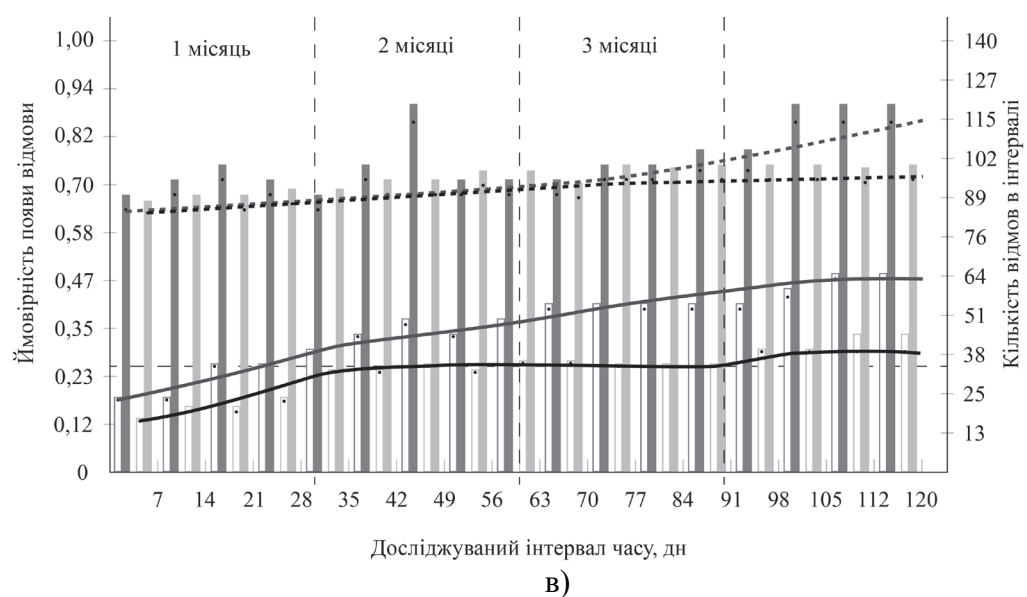
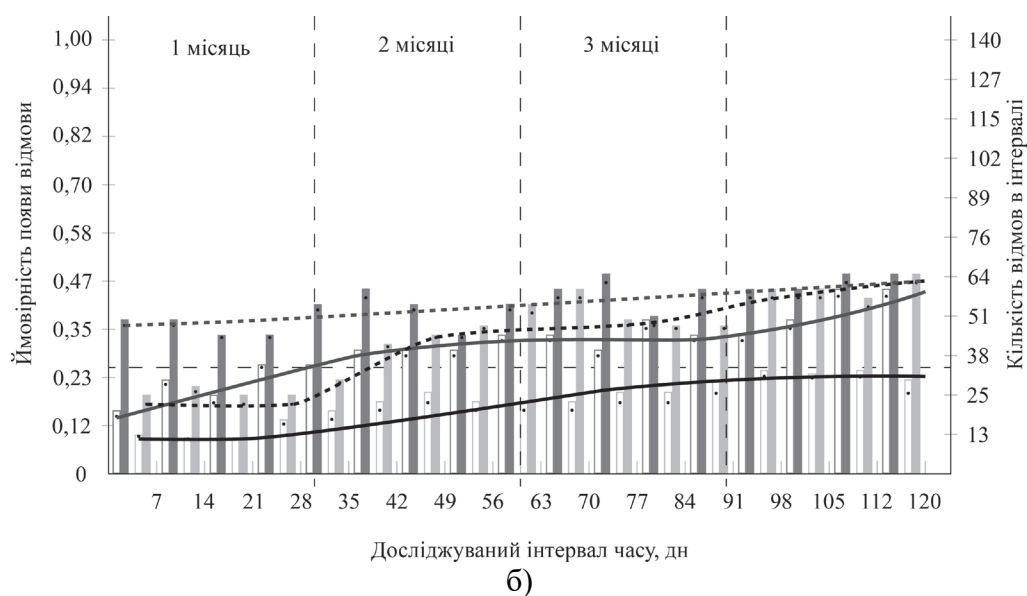
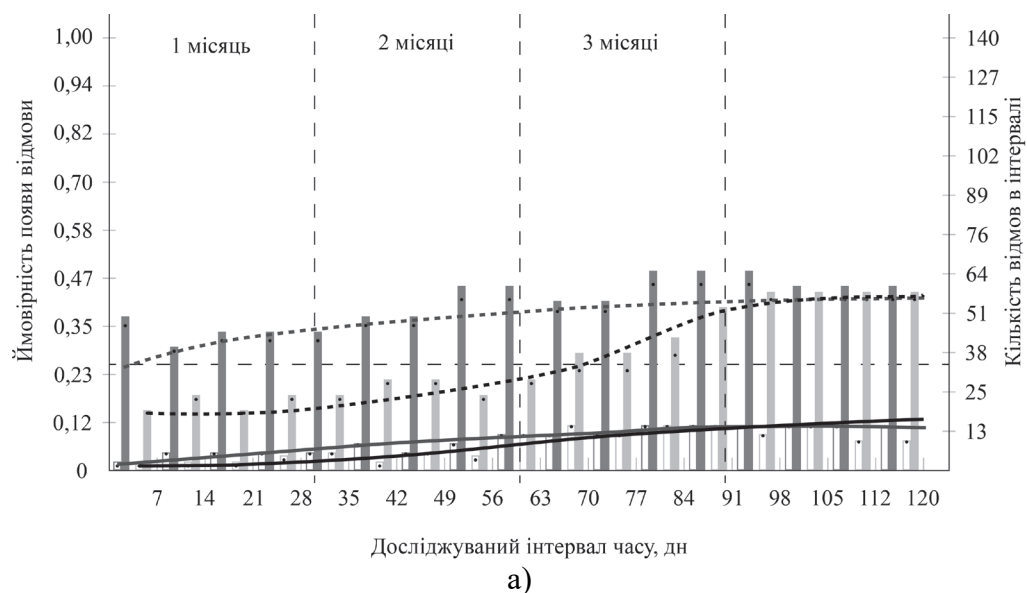










Рисунок 3.3 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см

Пояснення до рисунку 3.3:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

 – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 140$  мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм при наявності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм при наявності захисного елементу;

 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм при наявності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм при наявності захисного елементу

Як можна побачити з отриманих результатів (див. рис. 3.3 а) при невеликому рівні освітленості (10-20%) зразки в обох обраних розмірах ( $80 \times 80$  мм та  $130 \times 130$  мм) при відсутності додаткового захисного елементу у вигляді скла стабільно відтворювалися протягом всього встановленого періоду використання сітілайтів та плакатів (3 місяці та 1 місяць відповідно). Рівень ймовірності появи відмов для них не перевищував значення 0,25 до кінця встановленого терміну, а кількість відмов на кожні 7 днів дослідження – 15-20, що підтверджує низький вплив умов використання на них. Тому у такому випадку використання, а саме при невисокому рівні освітленості та при відсутності скла більш раціональним є використання маркерів розміром  $80 \times 80$  мм, що забезпечить збільшення простору для розміщення основної інформації за рахунок меншого розміру маркеру.

При середньому та високому рівні освітленості (див. рис. 3.3 б-3.3 в) зразки розміром  $80 \times 80$  мм зберігали високі показники безвідмовності протягом місяця, а далі їх рівень різко змінювався та погіршувався (кількість відмов на кожні 7 днів дослідження у середньому становив 50-55). Все це свідчить про значний вплив освітлення, що перешкоджає зчитуванню маркерів (додаткові засвіти на

матеріалі) та зміну відтінку маркерів з часом, а також погодні умови (вітер, опади), що у свою чергу впливали на зміну адгезії матеріалу до основи, на яку він кріпився, що призводило до зміни його площинності, що створювало додаткові «зморшки» на матеріалі та перешкоджали зчитуванню. Це свідчить про можливість використання маркерів такого розміру лише для плакатів, оскільки їх термін використання в середньому становить місяць (див. підрозділ 2.5). У іншому випадку раціональніше використовувати маркери розміром мінімально  $130 \times 130$  мм, що мають стабільніші показники протягом 2-3 місяців (показники не перевищують зазначені у підрозділі 2.5) у випадку використання продукції довший період.

Результати показали, що наявність скла значно погіршує зчитування маркерів та впливає на їх показники безвідмовності. Зразки меншого розміру –  $80 \times 80$  мм – не зчитуються за жодних умов (поява великої кількості відблисків та відображень навколишнього середовища, що змінював рисунок маркеру та він не зчитувався). Тому даний варіант маркеру неможливо використовувати для розміщення на сітілайтах та плакатів, що розташовані за склом.

Зразки більшого розміру –  $130 \times 130$  мм – є більш стабільними до дії зовнішніх умов, зокрема наявності скла, оскільки мали високі показники стабільності (рівень появи відмов – до 0,25, кількість відмов – 30-35 на кожні 7 днів дослідження в середньому) протягом двох місяців (50-60 днів) при низькому та середньому рівні освітленості (до 70%). Тому їх можливо використовувати як для такої продукції, що використовуватиметься лише в таких умовах – при наявності скла рівень освітленості не має перевищувати 5000-6000 люксів. При високому рівні освітленості у сонячний день зразки, так само як меншого розміру, не зчитувалися і мали значне перевищення встановлених показників безвідмовності.

Аналогічне оцінювання отриманих результатів було проведено і для зчитування зразків з максимальної відстані 130 см. Результат представлений у таблицях 3.5-3.6 з використанням результатів дослідження [3].

Таблиця 3.5 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см (без додаткового захисного скляного елемента)

Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи		
			230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	5	2	0,0244	0,0154	0,0357	0,0143	0,9643	0,9857
8	14	11		5	2	0,0244	0,0154	0,0357	0,0143	0,9643	0,9857
15	21	18		5	2	0,0244	0,0154	0,0357	0,0143	0,9643	0,9857
22	28	25		10	0	0,0488	0,0000	0,0714	0,0000	0,9286	1,0000
29	35	32		10	5	0,0488	0,0385	0,0714	0,0357	0,9286	0,9643
36	42	39		15	5	0,0732	0,0385	0,1071	0,0357	0,8929	0,9643
43	49	46		15	10	0,0732	0,0769	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286
50	56	53		8	8	0,0390	0,0615	0,0571	0,0571	0,9429	0,9429
57	63	60		8	8	0,0390	0,0615	0,0571	0,0571	0,9429	0,9429
64	70	67		15	10	0,0732	0,0769	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286
71	77	74		12	10	0,0585	0,0769	0,0857	0,0714	0,9143	0,9286
78	84	81		15	10	0,0732	0,0769	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286
85	91	88		12	9	0,0585	0,0692	0,0857	0,0643	0,9143	0,9357
92	98	95		15	12	0,0732	0,0923	0,1071	0,0857	0,8929	0,9143
99	105	102		20	12	0,0976	0,0923	0,1429	0,0857	0,8571	0,9143
106	112	109		15	10	0,0732	0,0769	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286
113	120	116,5		20	15	0,0976	0,1154	0,1429	0,1071	0,8571	0,8929
Σ				205	130	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						20,2929			9,1714		
Дисперсія						21,7024			17,0519		
Середньоквадратичне відхилення						4,6586			4,1294		
Коефіцієнт варіації						40%			56%		
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	8	10	0,0205	0,0278	0,0571	0,0714	0,9429	0,9286
8	14	11		7	12	0,0179	0,0333	0,0500	0,0857	0,9500	0,9143
15	21	18		15	12	0,0385	0,0333	0,1071	0,0857	0,8929	0,9143
22	28	25		20	12	0,0513	0,0333	0,1429	0,0857	0,8571	0,9143
29	35	32		15	15	0,0385	0,0417	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929
36	42	39		25	19	0,0641	0,0528	0,1786	0,1357	0,8214	0,8643
43	49	46		25	25	0,0641	0,0694	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214
50	56	53		25	25	0,0641	0,0694	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214
57	63	60		30	20	0,0769	0,0556	0,2143	0,1429	0,7857	0,8571
64	70	67		30	20	0,0769	0,0556	0,2143	0,1429	0,7857	0,8571
71	77	74		30	25	0,0769	0,0694	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214
78	84	81		25	25	0,0641	0,0694	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214
85	91	88		25	30	0,0641	0,0833	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857
92	98	95		25	30	0,0641	0,0833	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857
99	105	102		30	30	0,0769	0,0833	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857
106	112	109		30	25	0,0769	0,0694	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214
113	120	116,5		25	25	0,0641	0,0694	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214
Σ				390	360	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						70,2714			59,7714		
Дисперсія						52,4083			43,7924		
Середньоквадратичне відхилення						7,2394			6,6176		
Коефіцієнт варіації						33%			32%		
Сонячний день – 90-100% освітлення											
1	7	4	140	35	10	0,0427	0,0215	0,2500	0,0714	0,7500	0,9286
8	14	11		36	15	0,0439	0,0323	0,2571	0,1071	0,7429	0,8929
15	21	18		35	15	0,0427	0,0323	0,2500	0,1071	0,7500	0,8929

Кінець таблиці 3.5

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Сонячний день – 90-100% освітлення												
22	28	25	140	36	15	0,0439	0,0323	0,2571	0,1071	0,7429	0,8929	
29	35	32		36	20	0,0439	0,0430	0,2571	0,1429	0,7429	0,8571	
36	42	39		45	20	0,0549	0,0430	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571	
43	49	46		38	25	0,0463	0,0538	0,2714	0,1786	0,7286	0,8214	
50	56	53		48	30	0,0585	0,0645	0,3429	0,2143	0,6571	0,7857	
57	63	60		54	25	0,0659	0,0538	0,3857	0,1786	0,6143	0,8214	
64	70	67		54	25	0,0659	0,0538	0,3857	0,1786	0,6143	0,8214	
71	77	74		56	35	0,0683	0,0753	0,4000	0,2500	0,6000	0,7500	
78	84	81		56	35	0,0683	0,0753	0,4000	0,2500	0,6000	0,7500	
85	91	88		60	35	0,0732	0,0753	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500	
92	98	95		60	30	0,0732	0,0645	0,4286	0,2143	0,5714	0,7857	
99	105	102		60	40	0,0732	0,0860	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143	
106	112	109		54	45	0,0659	0,0968	0,3857	0,3214	0,6143	0,6786	
113	120	116,5		57	45	0,0695	0,0968	0,4071	0,3214	0,5929	0,6786	
Σ				820	465	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						294,1429			104,1071			
Дисперсія						95,7093			109,1696			
Середньоквадратичне відхилення						9,7831			10,4484			
Коефіцієнт варіації						21%			39%			

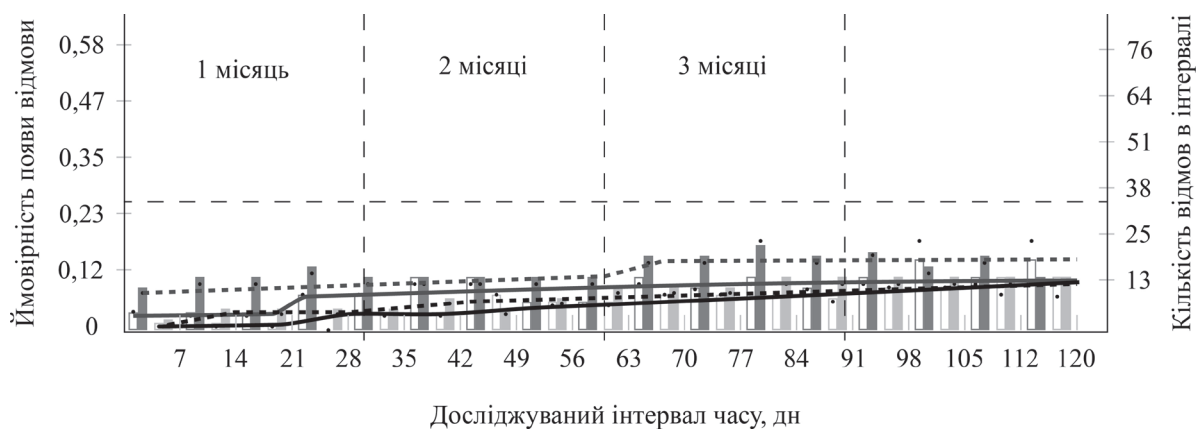
Таблиця 3.6 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см (при наявності захисного скляного елемента)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень			Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
									230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення																
1	7	4	140	12	3	0,0407	0,0169	0,0857	0,0214	0,9143	0,9786					
8	14	11		15	6	0,0508	0,0339	0,1071	0,0429	0,8929	0,9571					
15	21	18		15	6	0,0508	0,0339	0,1071	0,0429	0,8929	0,9571					
22	28	25		18	6	0,0610	0,0339	0,1286	0,0429	0,8714	0,9571					
29	35	32		15	6	0,0508	0,0339	0,1071	0,0429	0,8929	0,9571					
36	42	39		15	9	0,0508	0,0508	0,1071	0,0643	0,8929	0,9357					
43	49	46		15	6	0,0508	0,0339	0,1071	0,0429	0,8929	0,9571					
50	56	53		12	9	0,0407	0,0508	0,0857	0,0643	0,9143	0,9357					
57	63	60		15	12	0,0508	0,0678	0,1071	0,0857	0,8929	0,9143					
64	70	67		21	12	0,0712	0,0678	0,1500	0,0857	0,8500	0,9143					
71	77	74		21	12	0,0712	0,0678	0,1500	0,0857	0,8500	0,9143					
78	84	81		24	15	0,0814	0,0847	0,1714	0,1071	0,8286	0,8929					
85	91	88		21	15	0,0712	0,0847	0,1500	0,1071	0,8500	0,8929					
92	98	95		22	15	0,0746	0,0847	0,1571	0,1071	0,8429	0,8929					
99	105	102		18	15	0,0610	0,0847	0,1286	0,1071	0,8714	0,8929					
106	112	109		21	15	0,0712	0,0847	0,1500	0,1071	0,8500	0,8929					
113	120	116,5		15	15	0,0508	0,0847	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929					
Σ				295	177	1,0000	1,0000									

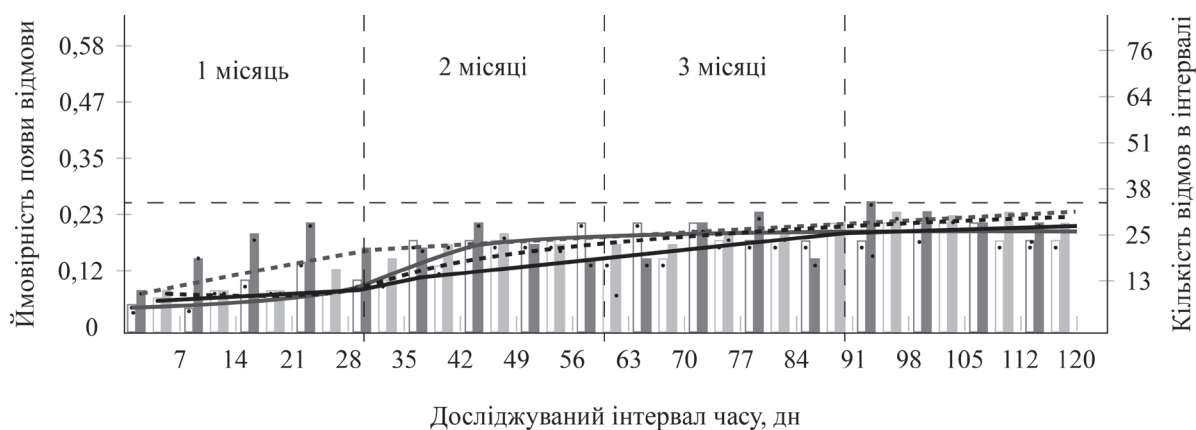
Кінець таблиці 3.6

Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи		
			230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	
Похмурий день – 10-20% освітлення											
Математичне очікування					38,1071			15,2357			
Дисперсія					12,6990			17,0657			
Середньоквадратичне відхилення					3,5636			4,1311			
Коефіцієнт варіації					21%			41%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	12	12	0,0261	0,0293	0,0857	0,0857	0,9143	0,9143
8	14	11		21	12	0,0457	0,0293	0,1500	0,0857	0,8500	0,9143
15	21	18		27	12	0,0587	0,0293	0,1929	0,0857	0,8071	0,9143
22	28	25		30	18	0,0652	0,0439	0,2143	0,1286	0,7857	0,8714
29	35	32		24	21	0,0522	0,0512	0,1714	0,1500	0,8286	0,8500
36	42	39		24	24	0,0522	0,0585	0,1714	0,1714	0,8286	0,8286
43	49	46		30	27	0,0652	0,0659	0,2143	0,1929	0,7857	0,8071
50	56	53		25	24	0,0543	0,0585	0,1786	0,1714	0,8214	0,8286
57	63	60		21	24	0,0457	0,0585	0,1500	0,1714	0,8500	0,8286
64	70	67		21	24	0,0457	0,0585	0,1500	0,1714	0,8500	0,8286
71	77	74		30	27	0,0652	0,0659	0,2143	0,1929	0,7857	0,8071
78	84	81		33	27	0,0717	0,0659	0,2357	0,1929	0,7643	0,8071
85	91	88		36	30	0,0783	0,0732	0,2571	0,2143	0,7429	0,7857
92	98	95		33	33	0,0717	0,0805	0,2357	0,2357	0,7643	0,7643
99	105	102		33	32	0,0717	0,0780	0,2357	0,2286	0,7643	0,7714
106	112	109		30	33	0,0652	0,0805	0,2143	0,2357	0,7857	0,7643
113	120	116,5	30	30	0,0652	0,0732	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857	
Σ				460	410	1,0000	1,0000				
Математичне очікування					93,1143			76,3571			
Дисперсія					34,6436			47,1626			
Середньоквадратичне відхилення					5,8859			6,8675			
Коефіцієнт варіації					22%			29%			
1	7	4	140	45	18	0,0520	0,0319	0,3214	0,1286	0,6786	0,8714
8	14	11		45	21	0,0520	0,0372	0,3214	0,1500	0,6786	0,8500
15	21	18		35	21	0,0405	0,0372	0,2500	0,1500	0,7500	0,8500
22	28	25		35	24	0,0405	0,0425	0,2500	0,1714	0,7500	0,8286
29	35	32		40	33	0,0462	0,0584	0,2857	0,2357	0,7143	0,7643
36	42	39		45	33	0,0520	0,0584	0,3214	0,2357	0,6786	0,7643
43	49	46		40	35	0,0462	0,0619	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500
50	56	53		50	33	0,0578	0,0584	0,3571	0,2357	0,6429	0,7643
57	63	60		55	36	0,0636	0,0637	0,3929	0,2571	0,6071	0,7429
64	70	67		55	36	0,0636	0,0637	0,3929	0,2571	0,6071	0,7429
71	77	74		55	35	0,0636	0,0619	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500
78	84	81		55	35	0,0636	0,0619	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500
85	91	88		60	35	0,0694	0,0619	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500
92	98	95		60	40	0,0694	0,0708	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143
99	105	102		60	40	0,0694	0,0708	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143
106	112	109		65	45	0,0751	0,0796	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786
113	120	116,5	65	45	0,0751	0,0796	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786	
Σ				865	565	1,0000	1,0000				
Математичне очікування					325,5357			141,3643			
Дисперсія					91,8685			59,5917			
Середньоквадратичне відхилення					9,5848			7,7196			
Коефіцієнт варіації					19%			24%			

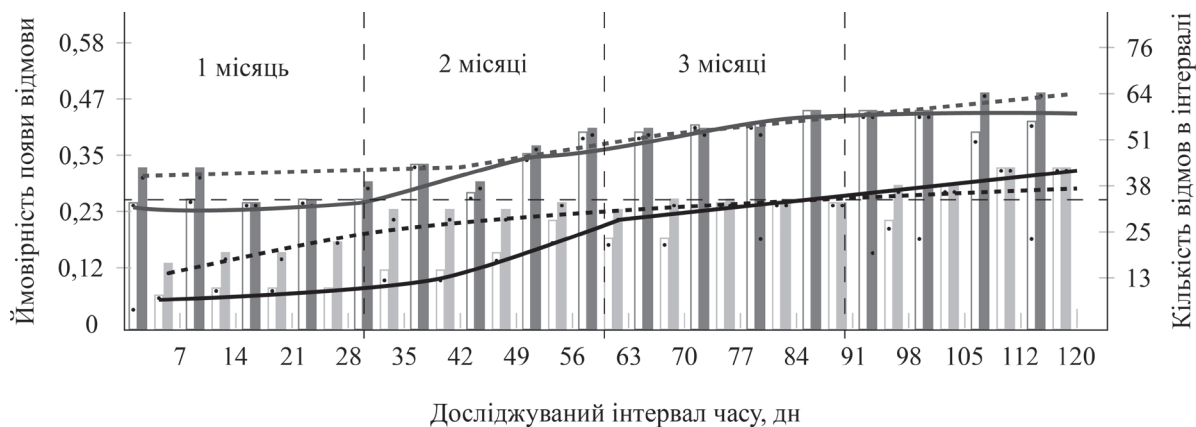




а)



б)





в)





Рисунок 3.4 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 130 см:

Пояснення до рисунку 3.4:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

■ – кількість відмов для маркера розміром 230 × 230 мм при відсутності захисного елементу; □ – кількість відмов для маркера розміром 280 × 280 мм

при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при наявності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при наявності захисного елементу;

 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при наявності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при наявності захисного елементу

Оцінюючи отримані результати, можна зробити висновок, що за відсутності захисного скляного елементу зразки стабільно зчитувалися в обох встановлених розмірах при низькому та середньому рівні освітленості протягом всього терміну експлуатації сітілайтів та плакатів (до 3 місяців). Це свідчить про можливість використання маркерів меншого розміру ( $230$  мм) для економії площі та більшого її заповнення основною інформацією при таких умовах. При високому рівні освітленості при експлуатації продукції до одного місяця також раціональніше використовувати зразки меншого розміру ( $230$  мм), а для більшого терміну (60-90 днів) більш стабільними будуть зразки розміром  $280 \times 280$  мм – їх показник появи відмов не перевищував встановлену межу у  $0,25$  протягом цього періоду та кількість відмов знаходилась у встановлених межах у 30-35 відмов на кожні 7 днів дослідження. Ті ж самі результати були отримані і при експлуатації маркерів при наявності захисного елементу – при низькому рівні освітленості більш раціональним варіантом є  $230 \times 230$  мм. При високому рівні освітленості –  $280 \times 280$  мм, оскільки менші зразки не зчитувалися або мали занадто довгий час на відтворення контенту (більше 10 с).

З усього цього можна зробити ряд наступних висновків:

- при експлуатації продукції до одного місяця без використання захисного елементу при зчитуванні з невеликої відстані (до 50 см) раціонально буде обрати розмір маркерів  $80 \times 80$  мм, що забезпечить збільшення «корисної»

площі під основну інформацію, що рекламується, та високий рівень стабільності умов на цей період;

- при експлуатації продукції від двох до трьох місяців без використання захисного елемента при зчитуванні з невеликої відстані (до 50 см) раціонально буде обрати розмір маркерів  $130 \times 130$  мм, що має високі показники безвідмовності та експлуатаційні показники протягом цього періоду та виконує свої функції за будь-яких умов освітлення;
- при експлуатації продукції від одного до трьох місяців при наявності захисного елемента при зчитуванні з невеликої відстані (до 50 см) раціонально буде обрати розмір маркерів  $130 \times 130$  мм, що має високі показники безвідмовності та експлуатаційні показники протягом цього періоду, проте для високого рівня освітленості слід обрати зразок більшого розміру;
- при експлуатації продукції від одного до двох місяців без використання захисного елемента при зчитуванні з великої відстані (до 130 см) раціонально буде обрати розмір маркерів  $230 \times 230$  мм, що має високі показники безвідмовності та експлуатаційні показники протягом цього періоду та виконує свої функції за будь-яких умов освітлення, при більшому терміні використання (до 3 місяців) –  $280 \times 280$  мм;
- при експлуатації продукції від одного до трьох місяців при наявності захисного скляного елемента при зчитуванні з великої відстані (до 130 см) раціонально буде обрати розмір маркерів  $280 \times 280$  мм, що має високі показники безвідмовності та експлуатаційні показники протягом цього періоду.

3.1.2.2. Визначення раціонального розміру AR-маркерів, що віддруковані плоским офсетним способом друку

Було протестовано обрані у пункті 3.1.1 маркери в умовах, що визначені у підрозділі 2.5 за методикою 2.6 і для офсетного способу друку. Отримані середні часові заміри сканування маркерів наведені у таблицях 3.7-3.8.

Таблиця 3.7 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої мінімальної відстані (50 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
			Наявність захисного елементу (скло)		
1	80 × 80	2,97	4,99	15,65	Не зчитувався
			Відсутність захисного елементу		
			2,86	4,25	4,95
2	130 × 130	2,01	Наявність захисного елементу (скло)		
			4,56	5,09	7,99
			Відсутність захисного елементу		
			2,01	3,75	4,98

Таблиця 3.8 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої максимальної відстані (130 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
			Наявність захисного елементу (скло)		
1	230 × 230	1,87	7,31	7,05	Не зчитувався
			Відсутність захисного елементу		
			4,96	6,75	7,29
2	280 × 280	2,92	Наявність захисного елементу (скло)		
			5,55	7,03	7,97
			Відсутність захисного елементу		
			4,49	4,85	6,99

Оцінюючи отримані результати та порівнюючи їх із відповідними при друці цифровим способом (див. табл. 3.1-3.2) можна зробити висновок, що в середньому зразкам, віддрукованим офсетним способом друку, необхідно було більше часу на сканування (на 1-2 с в залежності від умов). Особливо це стосується випадків, коли зразки перебували під захисним елементом (зразки або не зчитувалися, або мали значно довший час на відтворення – до 15 с). У цілому отримані часові заміри при відсутності захисного елементу не перевищували встановлені межі по часу відтворення (див. підрозділ 2.5).

Отримані результати були оцінені за методикою, що описана у підрозділі 2.8. Результати наведені у таблиці 3.9-3.12.

Також результати були увиразненні за допомогою графічних представлень для їх більш глибокого аналізу відповідно до методики у підрозділі 2.8 (див. рис. 3.4-3.5).

Таблиця 3.9 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (без додаткового захисного скляного елементу)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення												
1	7	4	140	10	10	0,0230	0,0256	0,0714	0,0714	0,9286	0,9286	
8	14	11		10	10	0,0230	0,0256	0,0714	0,0714	0,9286	0,9286	
15	21	18		15	5	0,0345	0,0128	0,1071	0,0357	0,8929	0,9643	
22	28	25		15	5	0,0345	0,0128	0,1071	0,0357	0,8929	0,9643	
29	35	32		10	10	0,0230	0,0256	0,0714	0,0714	0,9286	0,9286	
36	42	39		15	15	0,0345	0,0385	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
43	49	46		20	20	0,0460	0,0513	0,1429	0,1429	0,8571	0,8571	
50	56	53		25	30	0,0575	0,0769	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857	
57	63	60		30	35	0,0690	0,0897	0,2143	0,2500	0,7857	0,7500	
64	70	67		35	25	0,0805	0,0641	0,2500	0,1786	0,7500	0,8214	
71	77	74		30	30	0,0690	0,0769	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857	
78	84	81		35	35	0,0805	0,0897	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
85	91	88		35	20	0,0805	0,0513	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571	
92	98	95		35	35	0,0805	0,0897	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
99	105	102		40	35	0,0920	0,0897	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500	
106	112	109		35	35	0,0805	0,0897	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
113	120	116,5	40	35	0,0920	0,0897	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500		
Σ				435	390	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						93,7500			79,6429			
Дисперсія						117,3010			129,5848			
Середньоквадратичне відхилення						10,8306			11,3835			
Коефіцієнт варіації						44%			51%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	12	12	0,0226	0,0224	0,0857	0,0857	0,9143	0,9143	
8	14	11		15	13	0,0282	0,0243	0,1071	0,0929	0,8929	0,9071	
15	21	18		15	15	0,0282	0,0280	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
22	28	25		15	15	0,0282	0,0280	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
29	35	32		25	25	0,0470	0,0467	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214	
36	42	39		30	25	0,0564	0,0467	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214	
43	49	46		35	45	0,0658	0,0841	0,2500	0,3214	0,7500	0,6786	
50	56	53		35	40	0,0658	0,0748	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143	
57	63	60		40	40	0,0752	0,0748	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
64	70	67		40	30	0,0752	0,0561	0,2857	0,2143	0,7143	0,7857	
71	77	74		30	30	0,0564	0,0561	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857	
78	84	81		35	35	0,0658	0,0654	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
85	91	88		45	45	0,0846	0,0841	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
92	98	95		45	45	0,0846	0,0841	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
99	105	102		40	40	0,0752	0,0748	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
106	112	109		35	40	0,0658	0,0748	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143	
113	120	116,5	40	40	0,0752	0,0748	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143		
Σ				532	535	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						132,8143			136,5214			
Дисперсія						114,4429			133,8962			
Середньоквадратичне відхилення						10,6978			11,5714			
Коефіцієнт варіації						35%			38%			

Кінець таблиці 3.9

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень		Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
								80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Сонячний день – 90-100% освітлення															
1	7	4	140	15	15	0,0200	0,0246	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929				
8	14	11		25	15	0,0333	0,0246	0,1786	0,1071	0,8214	0,8929				
15	21	18		30	20	0,0400	0,0328	0,2143	0,1429	0,7857	0,8571				
22	28	25		35	35	0,0467	0,0574	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500				
29	35	32		35	35	0,0467	0,0574	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500				
36	42	39		35	35	0,0467	0,0574	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500				
43	49	46		45	40	0,0600	0,0656	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
50	56	53		45	40	0,0600	0,0656	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
57	63	60		45	40	0,0600	0,0656	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
64	70	67		45	40	0,0600	0,0656	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
71	77	74		45	45	0,0600	0,0738	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786				
78	84	81		50	50	0,0667	0,0820	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429				
85	91	88		60	40	0,0800	0,0656	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143				
92	98	95		60	40	0,0800	0,0656	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143				
99	105	102		60	40	0,0800	0,0656	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143				
106	112	109	60	40	0,0800	0,0656	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143					
113	120	116,5	60	40	0,0800	0,0656	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143					
Σ				750	610	1,0000	1,0000								
Математичне очікування						257,5000			167,5000						
Дисперсія						174,2215			91,8685						
Середньоквадратичне відхилення						13,1993			9,5848						
Коефіцієнт варіації						31%			28%						

Таблиця 3.10 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (при наявності захисного скляного елементу)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень			Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
									80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення																
1	7	4	140	45	20	0,0474	0,0315	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571					
8	14	11		40	20	0,0421	0,0315	0,2857	0,1429	0,7143	0,8571					
15	21	18		50	25	0,0526	0,0394	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214					
22	28	25		50	25	0,0526	0,0394	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214					
29	35	32		50	25	0,0526	0,0394	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214					
36	42	39		50	35	0,0526	0,0551	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500					
43	49	46		50	35	0,0526	0,0551	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500					
50	56	53		55	25	0,0579	0,0394	0,3929	0,1786	0,6071	0,8214					
57	63	60		60	35	0,0632	0,0551	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500					
64	70	67		60	40	0,0632	0,0630	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143					
71	77	74		60	40	0,0632	0,0630	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143					
78	84	81		60	40	0,0632	0,0630	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143					
85	91	88		65	40	0,0684	0,0630	0,4643	0,2857	0,5357	0,7143					
92	98	95		65	55	0,0684	0,0866	0,4643	0,3929	0,5357	0,6071					
99	105	102		60	60	0,0632	0,0945	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714					
106	112	109	65	60	0,0684	0,0945	0,4643	0,4286	0,5357	0,5714						

Кінець таблиці 3.10

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм	80 × 80 мм	130 × 130 мм
113	120	116,5	140	65	55	0,0684	0,0866	0,4643	0,3929	0,5357	0,6071
Σ				950	635	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						386,0714		190,1786			
Дисперсія						56,5744		170,9343			
Середньоквадратичне відхилення						7,5216		13,0742			
Коефіцієнт варіації						14%		36%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	70	25	0,0545	0,0323	0,5000	0,1786	0,5000	0,8214
8	14	11		75	25	0,0584	0,0323	0,5357	0,1786	0,4643	0,8214
15	21	18		75	35	0,0584	0,0452	0,5357	0,2500	0,4643	0,7500
22	28	25		75	35	0,0584	0,0452	0,5357	0,2500	0,4643	0,7500
29	35	32		75	40	0,0584	0,0516	0,5357	0,2857	0,4643	0,7143
36	42	39		75	40	0,0584	0,0516	0,5357	0,2857	0,4643	0,7143
43	49	46		75	40	0,0584	0,0516	0,5357	0,2857	0,4643	0,7143
50	56	53		70	40	0,0545	0,0516	0,5000	0,2857	0,5000	0,7143
57	63	60		70	50	0,0545	0,0645	0,5000	0,3571	0,5000	0,6429
64	70	67		70	60	0,0545	0,0774	0,5000	0,4286	0,5000	0,5714
71	77	74		80	50	0,0623	0,0645	0,5714	0,3571	0,4286	0,6429
78	84	81		85	45	0,0661	0,0581	0,6071	0,3214	0,3929	0,6786
85	91	88		85	50	0,0661	0,0645	0,6071	0,3571	0,3929	0,6429
92	98	95		70	60	0,0545	0,0774	0,5000	0,4286	0,5000	0,5714
99	105	102		75	60	0,0584	0,0774	0,5357	0,4286	0,4643	0,5714
106	112	109		80	55	0,0623	0,0710	0,5714	0,3929	0,4286	0,6071
113	120	116,5	80	65	0,0623	0,0839	0,5714	0,4643	0,4286	0,5357	
Σ				1285	775	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						696,6071		269,1071			
Дисперсія						23,1834		137,8893			
Середньоквадратичне відхилення						4,8149		11,7426			
Коефіцієнт варіації						7%		27%			
Сонячний день – 90-100% освітлення											
1	7	4	140	90	25	0,0474	0,0301	0,6429	0,1786	0,3571	0,8214
8	14	11		85	25	0,0447	0,0301	0,6071	0,1786	0,3929	0,8214
15	21	18		100	35	0,0526	0,0422	0,7143	0,2500	0,2857	0,7500
22	28	25		105	35	0,0553	0,0422	0,7500	0,2500	0,2500	0,7500
29	35	32		100	45	0,0526	0,0542	0,7143	0,3214	0,2857	0,6786
36	42	39		105	45	0,0553	0,0542	0,7500	0,3214	0,2500	0,6786
43	49	46		105	45	0,0553	0,0542	0,7500	0,3214	0,2500	0,6786
50	56	53		105	45	0,0553	0,0542	0,7500	0,3214	0,2500	0,6786
57	63	60		105	45	0,0553	0,0542	0,7500	0,3214	0,2500	0,6786
64	70	67		120	45	0,0632	0,0542	0,8571	0,3214	0,1429	0,6786
71	77	74		120	60	0,0632	0,0723	0,8571	0,4286	0,1429	0,5714
78	84	81		120	60	0,0632	0,0723	0,8571	0,4286	0,1429	0,5714
85	91	88		120	60	0,0632	0,0723	0,8571	0,4286	0,1429	0,5714
92	98	95		130	60	0,0684	0,0723	0,9286	0,4286	0,0714	0,5714
99	105	102		130	60	0,0684	0,0723	0,9286	0,4286	0,0714	0,5714
106	112	109		130	70	0,0684	0,0843	0,9286	0,5000	0,0714	0,5000
113	120	116,5	130	70	0,0684	0,0843	0,9286	0,5000	0,0714	0,5000	
Σ				1900	1860	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						1540,3571		311,7857			
Дисперсія						193,9446		183,9100			
Середньоквадратичне відхилення						13,9264		13,5613			
Коефіцієнт варіації						13%		29%			

Таблиця 3.11 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см (без додаткового захисного скляного елемента)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення												
1	7	4	140	10	10	0,0206	0,0215	0,0714	0,0714	0,9286	0,9286	
8	14	11		15	10	0,0309	0,0215	0,1071	0,0714	0,8929	0,9286	
15	21	18		15	15	0,0309	0,0323	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
22	28	25		15	15	0,0309	0,0323	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
29	35	32		20	20	0,0412	0,0430	0,1429	0,1429	0,8571	0,8571	
36	42	39		20	25	0,0412	0,0538	0,1429	0,1786	0,8571	0,8214	
43	49	46		20	25	0,0412	0,0538	0,1429	0,1786	0,8571	0,8214	
50	56	53		25	30	0,0515	0,0645	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857	
57	63	60		35	35	0,0722	0,0753	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
64	70	67		35	35	0,0722	0,0753	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
71	77	74		45	35	0,0928	0,0753	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500	
78	84	81		35	25	0,0722	0,0538	0,2500	0,1786	0,7500	0,8214	
85	91	88		35	35	0,0722	0,0753	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
92	98	95		35	35	0,0722	0,0753	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
99	105	102		40	40	0,0825	0,0860	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
106	112	109		45	40	0,0928	0,0860	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143	
113	120	116,5	40	35	0,0825	0,0753	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500		
Σ				485	465	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						114,1071			102,6786			
Дисперсія						125,7785			97,4048			
Середньоквадратичне відхилення						11,2151			9,8694			
Коефіцієнт варіації						41%			37%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	20	15	0,0310	0,0256	0,1429	0,1071	0,8571	0,8929	
8	14	11		20	15	0,0310	0,0256	0,1429	0,1071	0,8571	0,8929	
15	21	18		15	15	0,0233	0,0256	0,1071	0,1071	0,8929	0,8929	
22	28	25		25	15	0,0388	0,0256	0,1786	0,1071	0,8214	0,8929	
29	35	32		25	30	0,0388	0,0513	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857	
36	42	39		35	35	0,0543	0,0598	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
43	49	46		35	45	0,0543	0,0769	0,2500	0,3214	0,7500	0,6786	
50	56	53		35	40	0,0543	0,0684	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143	
57	63	60		40	45	0,0620	0,0769	0,2857	0,3214	0,7143	0,6786	
64	70	67		40	40	0,0620	0,0684	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
71	77	74		50	35	0,0775	0,0598	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500	
78	84	81		50	35	0,0775	0,0598	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500	
85	91	88		50	45	0,0775	0,0769	0,3571	0,3214	0,6429	0,6786	
92	98	95		55	45	0,0853	0,0769	0,3929	0,3214	0,6071	0,6786	
99	105	102		50	40	0,0775	0,0684	0,3571	0,2857	0,6429	0,7143	
106	112	109		50	40	0,0775	0,0684	0,3571	0,2857	0,6429	0,7143	
113	120	116,5	50	50	0,0775	0,0855	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429		
Σ				645	585	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						194,1071			160,5357			
Дисперсія						158,9965			137,8893			
Середньоквадратичне відхилення						12,6094			11,7426			
Коефіцієнт варіації						34%			35%			



Кінець таблиці 3.11

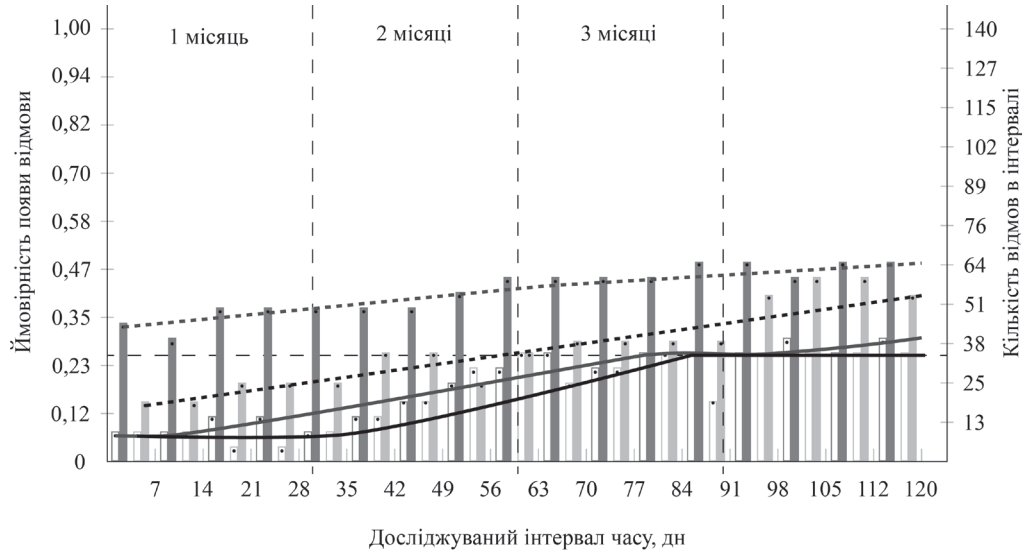
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень		Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
								230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Сонячний день – 90-100% освітлення															
1	7	4	140	25	15	0,0331	0,0229	0,1786	0,1071	0,8214	0,8929				
8	14	11		25	20	0,0331	0,0305	0,1786	0,1429	0,8214	0,8571				
15	21	18		35	20	0,0464	0,0305	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571				
22	28	25		35	35	0,0464	0,0534	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500				
29	35	32		40	35	0,0530	0,0534	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500				
36	42	39		35	35	0,0464	0,0534	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500				
43	49	46		45	40	0,0596	0,0611	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
50	56	53		40	40	0,0530	0,0611	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143				
57	63	60		45	45	0,0596	0,0687	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786				
64	70	67		45	40	0,0596	0,0611	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143				
71	77	74		45	45	0,0596	0,0687	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786				
78	84	81		50	50	0,0662	0,0763	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429				
85	91	88		55	55	0,0728	0,0840	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071				
92	98	95		60	40	0,0795	0,0611	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143				
99	105	102		60	55	0,0795	0,0840	0,4286	0,3929	0,5714	0,6071				
106	112	109	55	40	0,0728	0,0611	0,3929	0,2857	0,6071	0,7143					
113	120	116,5	60	45	0,0795	0,0687	0,4286	0,3214	0,5714	0,6786					
Σ				755	655	1,0000	1,0000								
Математичне очікування						254,1071			195,1786						
Дисперсія						120,2422			122,8374						
Середньоквадратичне відхилення						10,9655			11,0832						
Коефіцієнт варіації						25%			30%						

Таблиця 3.12 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см (при наявності захисного скляного елемента)

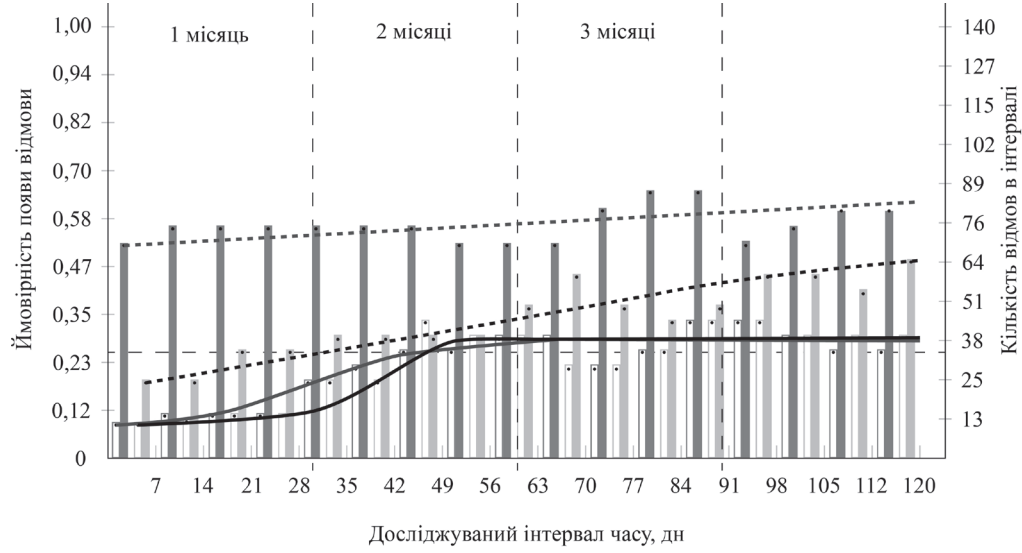
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень			Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
									230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення																
1	7	4	140	15	20	0,0234	0,0308	0,1071	0,1429	0,8929	0,8571					
8	14	11		20	25	0,0313	0,0385	0,1429	0,1786	0,8571	0,8214					
15	21	18		25	15	0,0391	0,0231	0,1786	0,1071	0,8214	0,8929					
22	28	25		25	30	0,0391	0,0462	0,1786	0,2143	0,8214	0,7857					
29	35	32		35	30	0,0547	0,0462	0,2500	0,2143	0,7500	0,7857					
36	42	39		35	35	0,0547	0,0538	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500					
43	49	46		35	35	0,0547	0,0538	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500					
50	56	53		40	25	0,0625	0,0385	0,2857	0,1786	0,7143	0,8214					
57	63	60		35	35	0,0547	0,0538	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500					
64	70	67		40	40	0,0625	0,0615	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143					
71	77	74		40	40	0,0625	0,0615	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143					
78	84	81		40	40	0,0625	0,0615	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143					
85	91	88		45	55	0,0703	0,0846	0,3214	0,3929	0,6786	0,6071					
92	98	95		50	55	0,0781	0,0846	0,3571	0,3929	0,6429	0,6071					
99	105	102		50	60	0,0781	0,0923	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714					
106	112	109		55	55	0,0859	0,0846	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071					

Кінець таблиці 3.12

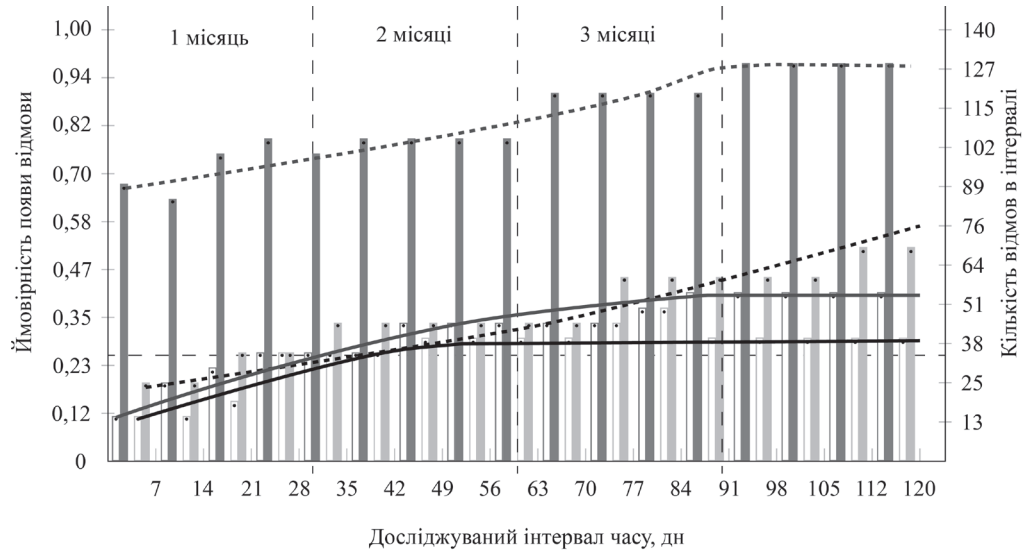
Границі інтервалу (дн)		Середнє напруцювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
113	120	116,5	140	55	55	0,0859	0,0846	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071
Σ				640	650	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						187,5000		198,9286			
Дисперсія						126,8166		176,2976			
Середньоквадратичне відхилення						11,2613		13,2777			
Коефіцієнт варіації						31%		36%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
1	7	4	140	45	15	0,0492	0,0273	0,3214	0,1071	0,6786	0,8929
8	14	11		40	15	0,0437	0,0273	0,2857	0,1071	0,7143	0,8929
15	21	18		45	20	0,0492	0,0364	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571
22	28	25		45	35	0,0492	0,0636	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500
29	35	32		45	35	0,0492	0,0636	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500
36	42	39		45	30	0,0492	0,0545	0,3214	0,2143	0,6786	0,7857
43	49	46		45	35	0,0492	0,0636	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500
50	56	53		45	25	0,0492	0,0455	0,3214	0,1786	0,6786	0,8214
57	63	60		50	25	0,0546	0,0455	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214
64	70	67		60	35	0,0656	0,0636	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500
71	77	74		60	40	0,0656	0,0727	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143
78	84	81		60	40	0,0656	0,0727	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143
85	91	88		65	40	0,0710	0,0727	0,4643	0,2857	0,5357	0,7143
92	98	95		65	40	0,0710	0,0727	0,4643	0,2857	0,5357	0,7143
99	105	102		60	40	0,0656	0,0727	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143
106	112	109		70	40	0,0765	0,0727	0,5000	0,2857	0,5000	0,7143
113	120	116,5		70	40	0,0765	0,0727	0,5000	0,2857	0,5000	0,7143
Σ				915	550	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						363,7500		136,4286			
Дисперсія						98,6159		76,8166			
Середньоквадратичне відхилення						9,9306		8,7645			
Коефіцієнт варіації						19%		28%			
Сонячний день – 90-100% освітлення											
1	7	4	140	95	25	0,0519	0,0373	0,6786	0,1786	0,3214	0,8214
8	14	11		95	25	0,0519	0,0373	0,6786	0,1786	0,3214	0,8214
15	21	18		100	25	0,0546	0,0373	0,7143	0,1786	0,2857	0,8214
22	28	25		105	35	0,0574	0,0522	0,7500	0,2500	0,2500	0,7500
29	35	32		100	35	0,0546	0,0522	0,7143	0,2500	0,2857	0,7500
36	42	39		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
43	49	46		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
50	56	53		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
57	63	60		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
64	70	67		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
71	77	74		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
78	84	81		105	40	0,0574	0,0597	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143
85	91	88		105	45	0,0574	0,0672	0,7500	0,3214	0,2500	0,6786
92	98	95		105	50	0,0574	0,0746	0,7500	0,3571	0,2500	0,6429
99	105	102		130	50	0,0710	0,0746	0,9286	0,3571	0,0714	0,6429
106	112	109		130	50	0,0710	0,0746	0,9286	0,3571	0,0714	0,6429
113	120	116,5		130	50	0,0710	0,0746	0,9286	0,3571	0,0714	0,6429
Σ				1830	670	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						1421,4286		196,7857			
Дисперсія						117,9931		67,3010			
Середньоквадратичне відхилення						10,8625		8,2037			
Коефіцієнт варіації						10%		21%			



а)



б)











в)

Рисунок 3.5 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см

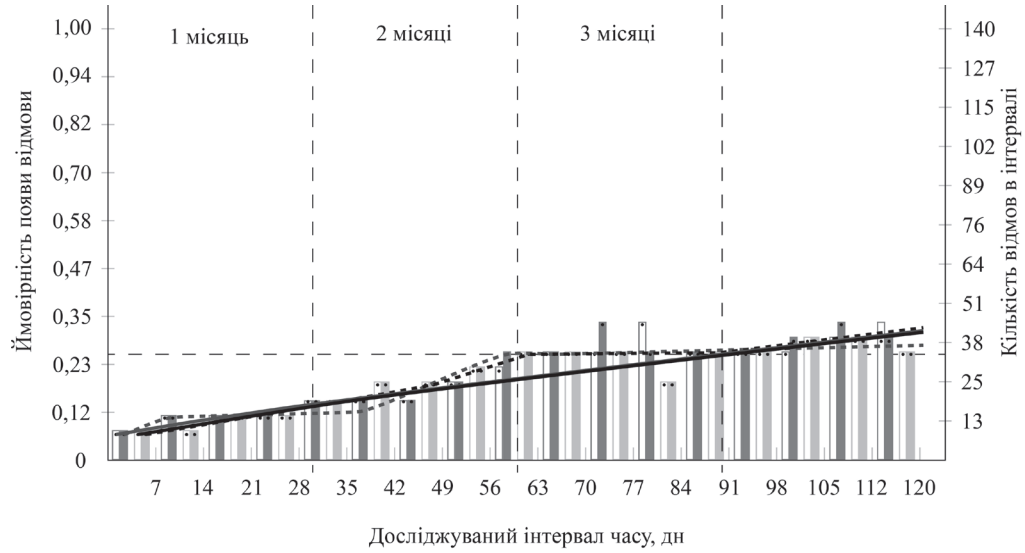
Пояснення до рисунку 3.5:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

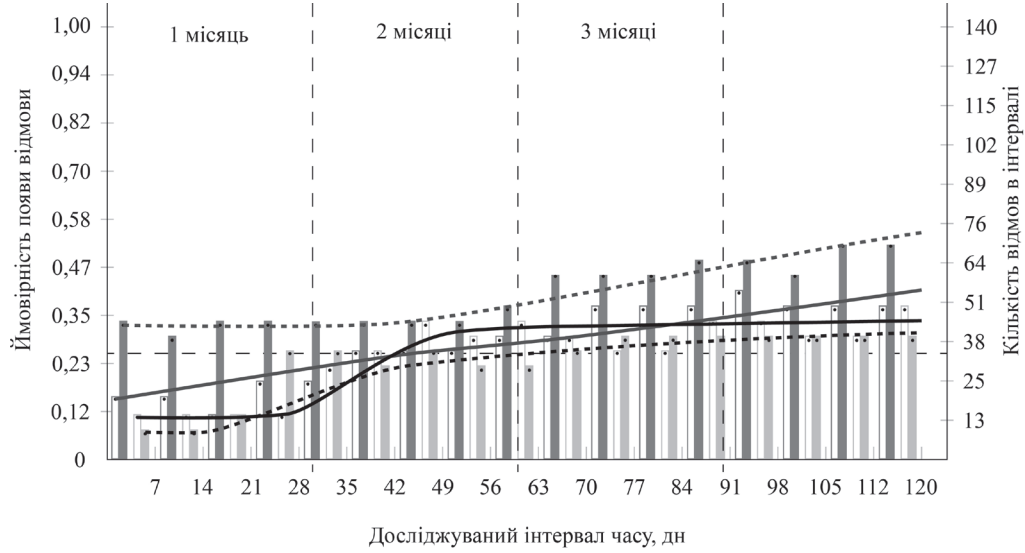
 – кількість відмов для маркеру розміром 80 × 80 мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром 130 × 140 мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром 80 × 80 мм при наявності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром 130 × 130 мм при наявності захисного елементу;

 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром 80 х 80 мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром 130 х 130 мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром 80 х 80 мм при наявності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром 130 х 130 мм при наявності захисного елементу

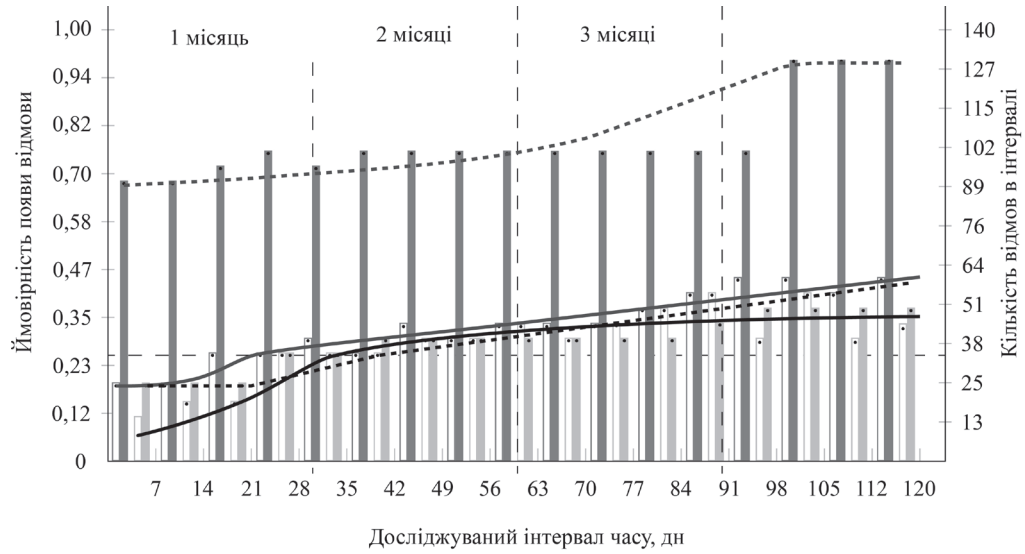
Оцінюючи отримані результати та порівнюючи їх з відповідними для зразків, що надруковані цифровим способом друку (див. рис. 3.3-3.4) можна зробити висновок, що зразки, що надруковані офсетним способом, мали значно менший термін експлуатації – високі показники безвідмовності (ймовірність появи відмов та їх кількість) спостерігалися протягом місяця як для зразків під захисним елементом, так і без нього при скануванні з відстані 50 см у розмірі 130 мм. Менші зразки мали значно нижчі показники безвідмовності (ймовірність появи відмов початково перевищувала значення у 0,25 та кількість відмов перевищувала встановлене значення у 30-35 відмов на кожні 7 днів дослідження).



а)



б)











в)

Рисунок 3.6 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 130 см

Пояснення до рисунку 3.6:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

 – кількість відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при відсутності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при наявності захисного елементу;  – кількість відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при наявності захисного елементу;

 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при відсутності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм при наявності захисного елементу;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм при наявності захисного елементу

Що стосується зразків при скануванні з відстані 130 см, то зразки не втрачали свої показники безвідмовності протягом місяця та у меншому розмірі мали недостатній рівень при середньому та високому рівні освітленості.

З цього всього можна зробити наступні висновки:

- при друці офсетним способом друку при скануванні з відстані 50 см раціонально використовувати маркери розміром 130 мм; при скануванні з відстані 130 см – розміром 280 мм;
- зразки, віддруковані офсетним способом друку, слід використовувати для продукції, термін експлуатації якої складає до одного місяця. У подальшому умови експлуатації (освітленість, погодні умови, вологість) значно впливають на площинність матеріалу та характеристики відбитків, що призводить до унеможливлення їх використання.

### 3.1.3. Визначення раціонального розміру AR-маркерів для білбордів

Для білбордів було протестовано обрані у попередньому підрозділі маркери в умовах, що визначені у підрозділі 2.4 за методикою 2.5. Отримані середні часові заміри сканування маркерів наведені у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої мінімальної відстані (50 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
Відстань зчитування – 130 см					
1	180 × 180	2,10	7,21	15,21	Не зчитується
2	230 × 230	1,81	5,02	5,16	7,02
Відстань зчитування – 330 см					
3	230 × 230	2,81	6,39	6,56	Не зчитується
4	280 × 280	2,34	5,02	7,05	7,99

Оцінюючи отримані часові заміри можна зробити висновок, що при меншій відстані сканування (130 см) більш стабільним є маркер розміром 230 × 230 – він зчитується пристроєм за всіх умов за встановлений у підрозділі 2.4 час, проте при більшій відстані створюється більше перешкод при скануванні маркеру і при великому рівні освітленості (до 10000 люксів) зчитування камерою маркера стало неможливим через складність фокусування на ньому, а тому більш логічним варіантом до використання при таких умовах є розмір 280 × 280 мм.

Аналіз отриманих результатів за описаною методикою у підрозділі 2.8 наведений у таблицях 3.14-3.15. Для аналізу та оцінювання результатів експерименту було побудовано графічні залежності, що наведені на рисунку 3.7-3.8.

Таблиця 3.14 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	25	15	0,0407	0,0349	0,1786	0,1071	0,8214	0,8929
8	14	11		25	10	0,0407	0,0233	0,1786	0,0714	0,8214	0,9286
15	21	18		20	10	0,0325	0,0233	0,1429	0,0714	0,8571	0,9286
22	28	25		35	15	0,0569	0,0349	0,2500	0,1071	0,7500	0,8929
29	35	32		35	20	0,0569	0,0465	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571
36	42	39		30	25	0,0488	0,0581	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214
43	49	46		35	20	0,0569	0,0465	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571
50	56	53		40	20	0,0650	0,0465	0,2857	0,1429	0,7143	0,8571
57	63	60		40	20	0,0650	0,0465	0,2857	0,1429	0,7143	0,8571
64	70	67		45	30	0,0732	0,0698	0,3214	0,2143	0,6786	0,7857
71	77	74		45	30	0,0732	0,0698	0,3214	0,2143	0,6786	0,7857
78	84	81		45	35	0,0732	0,0814	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500

## Продовження таблиці 3.14

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення												
85	91	88	140	40	35	0,0650	0,0814	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500	
92	98	95		40	35	0,0650	0,0814	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500	
99	105	102		35	30	0,0569	0,0698	0,2500	0,2143	0,7500	0,7857	
106	112	109		40	40	0,0650	0,0930	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
113	120	116,5		40	40	0,0650	0,0930	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
Σ				615	430	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						165,1786			88,9286			
Дисперсія						51,5571			92,5606			
Середньоквадратичне відхилення						7,1803			9,6208			
Коефіцієнт варіації						20%			39%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	34	25	0,0463	0,0459	0,2429	0,1786	0,7571	0,8214	
8	14	11		29	20	0,0395	0,0367	0,2071	0,1429	0,7929	0,8571	
15	21	18		34	25	0,0463	0,0459	0,2429	0,1786	0,7571	0,8214	
22	28	25		44	20	0,0599	0,0367	0,3143	0,1429	0,6857	0,8571	
29	35	32		44	20	0,0599	0,0367	0,3143	0,1429	0,6857	0,8571	
36	42	39		39	35	0,0531	0,0642	0,2786	0,2500	0,7214	0,7500	
43	49	46		38	30	0,0517	0,0550	0,2714	0,2143	0,7286	0,7857	
50	56	53		41	20	0,0558	0,0367	0,2929	0,1429	0,7071	0,8571	
57	63	60		51	30	0,0694	0,0550	0,3643	0,2143	0,6357	0,7857	
64	70	67		51	30	0,0694	0,0550	0,3643	0,2143	0,6357	0,7857	
71	77	74		51	30	0,0694	0,0550	0,3643	0,2143	0,6357	0,7857	
78	84	81		51	40	0,0694	0,0734	0,3643	0,2857	0,6357	0,7143	
85	91	88		46	40	0,0626	0,0734	0,3286	0,2857	0,6714	0,7143	
92	98	95		46	50	0,0626	0,0917	0,3286	0,3571	0,6714	0,6429	
99	105	102		45	45	0,0612	0,0826	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
106	112	109		45	45	0,0612	0,0826	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
113	120	116,5		46	40	0,0626	0,0734	0,3286	0,2857	0,6714	0,7143	
Σ				735	545	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						231,9500			135,8929			
Дисперсія						40,8858			91,3495			
Середньоквадратичне відхилення						6,3942			9,5577			
Коефіцієнт варіації						15%			31%			
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	93	35	0,0531	0,0543	0,6643	0,2500	0,3357	0,7500	
8	14	11		93	30	0,0531	0,0465	0,6643	0,2143	0,3357	0,7857	
15	21	18		108	35	0,0617	0,0543	0,7714	0,2500	0,2286	0,7500	
22	28	25		103	30	0,0589	0,0465	0,7357	0,2143	0,2643	0,7857	
29	35	32		108	25	0,0617	0,0388	0,7714	0,1786	0,2286	0,8214	
36	42	39		108	30	0,0617	0,0465	0,7714	0,2143	0,2286	0,7857	
43	49	46		107	30	0,0611	0,0465	0,7643	0,2143	0,2357	0,7857	
50	56	53		110	35	0,0629	0,0543	0,7857	0,2500	0,2143	0,7500	
57	63	60		105	40	0,0600	0,0620	0,7500	0,2857	0,2500	0,7143	
64	70	67		90	40	0,0514	0,0620	0,6429	0,2857	0,3571	0,7143	
71	77	74		100	40	0,0571	0,0620	0,7143	0,2857	0,2857	0,7143	
78	84	81		100	40	0,0571	0,0620	0,7143	0,2857	0,2857	0,7143	
85	91	88		100	40	0,0571	0,0620	0,7143	0,2857	0,2857	0,7143	
92	98	95		100	45	0,0571	0,0698	0,7143	0,3214	0,2857	0,6786	
99	105	102		105	50	0,0600	0,0775	0,7500	0,3571	0,2500	0,6429	
106	112	109		110	50	0,0629	0,0775	0,7857	0,3571	0,2143	0,6429	
113	120	116,5		110	50	0,0629	0,0775	0,7857	0,3571	0,2143	0,6429	
Σ				1750	645	1,0000	1,0000					



Кінець таблиці 3.14

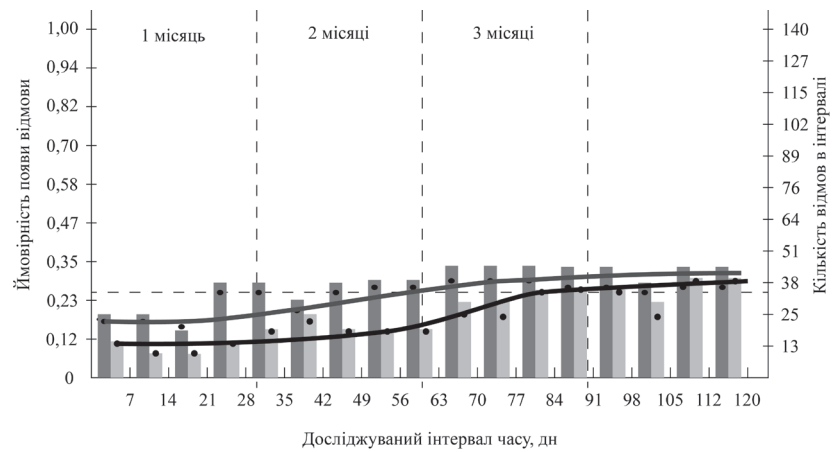
Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
			180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм	180 × 180 мм	230 × 230 мм
Сонячний день – 90-100% освітлення										
Математичне очікування					1291,4143			181,6071		
Дисперсія					38,2907			56,0554		
Середньоквадратичне відхилення					6,1879			7,4870		
Коефіцієнт варіації					6%			20%		

Таблиця 3.15 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 330 см

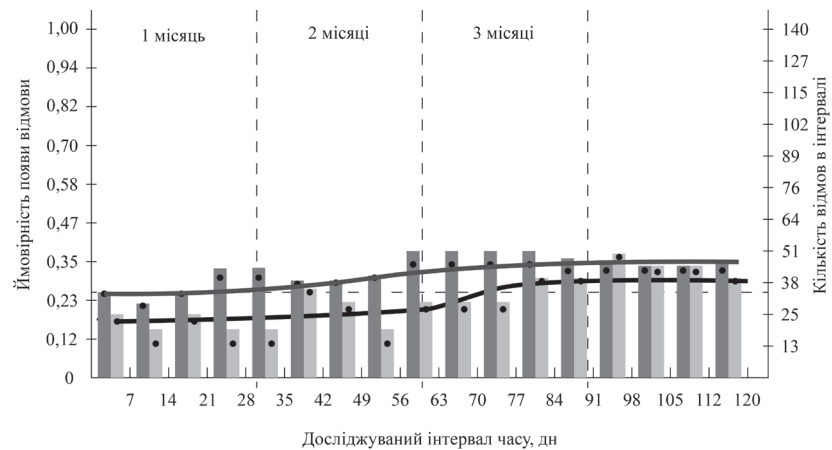
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення												
1	7	4	140	35	30	0,0464	0,0588	0,2500	0,2143	0,7500	0,7857	
8	14	11		35	20	0,0464	0,0392	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571	
15	21	18		35	20	0,0464	0,0392	0,2500	0,1429	0,7500	0,8571	
22	28	25		40	20	0,0530	0,0392	0,2857	0,1429	0,7143	0,8571	
29	35	32		40	20	0,0530	0,0392	0,2857	0,1429	0,7143	0,8571	
36	42	39		45	20	0,0596	0,0392	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571	
43	49	46		45	20	0,0596	0,0392	0,3214	0,1429	0,6786	0,8571	
50	56	53		40	25	0,0530	0,0490	0,2857	0,1786	0,7143	0,8214	
57	63	60		50	20	0,0662	0,0392	0,3571	0,1429	0,6429	0,8571	
64	70	67		50	30	0,0662	0,0588	0,3571	0,2143	0,6429	0,7857	
71	77	74		50	25	0,0662	0,0490	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214	
78	84	81		55	35	0,0728	0,0686	0,3929	0,2500	0,6071	0,7500	
85	91	88		40	35	0,0530	0,0686	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500	
92	98	95		45	40	0,0596	0,0784	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143	
99	105	102		50	50	0,0662	0,0980	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
106	112	109		50	50	0,0662	0,0980	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
113	120	116,5	50	50	0,0662	0,0980	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429		
Σ				755	510	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						244,1071			124,2857			
Дисперсія						37,8893			123,5294			
Середньоквадратичне відхилення						6,1554			11,1144			
Коефіцієнт варіації						14%			38%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	25	25	0,0318	0,0352	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214	
8	14	11		30	25	0,0382	0,0352	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214	
15	21	18		30	25	0,0382	0,0352	0,2143	0,1786	0,7857	0,8214	
22	28	25		35	35	0,0446	0,0493	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
29	35	32		35	35	0,0446	0,0493	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
36	42	39		40	30	0,0510	0,0423	0,2857	0,2143	0,7143	0,7857	
43	49	46		45	40	0,0573	0,0563	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143	
50	56	53		40	40	0,0510	0,0563	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
57	63	60		40	40	0,0510	0,0563	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
64	70	67		50	45	0,0637	0,0634	0,3571	0,3214	0,6429	0,6786	
71	77	74		50	45	0,0637	0,0634	0,3571	0,3214	0,6429	0,6786	

Кінець таблиці 3.15

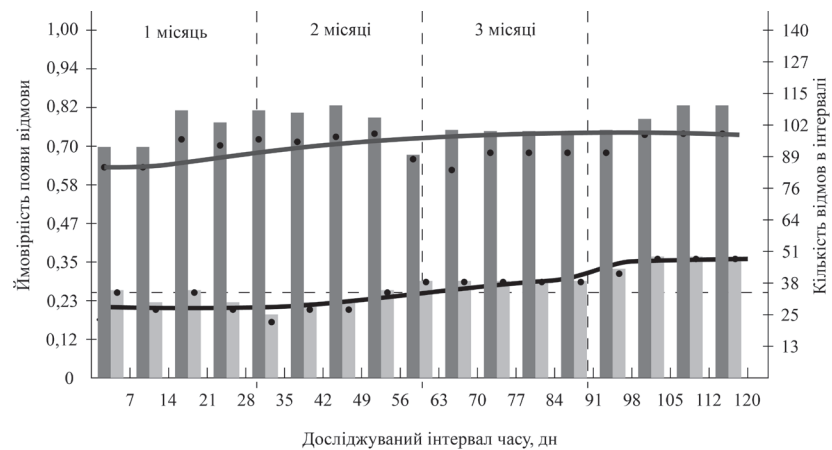
Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм	230 × 230 мм	280 × 280 мм
Похмурий день – 10-20% освітлення											
78	84	81	140	60	45	0,0764	0,0634	0,4286	0,3214	0,5714	0,6786
85	91	88		60	50	0,0764	0,0704	0,4286	0,3571	0,5714	0,6429
92	98	95		65	50	0,0828	0,0704	0,4643	0,3571	0,5357	0,6429
99	105	102		50	50	0,0637	0,0704	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
106	112	109		65	65	0,0828	0,0915	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357
113	120	116,5		65	65	0,0828	0,0915	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357
Σ				785	710	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						279,1071		228,9286			
Дисперсія						166,2630		141,0035			
Середньоквадратичне відхилення						12,8943		11,8745			
Коефіцієнт варіації						29%		29%			
Сонячний день – 90-100% освітлення											
1	7	4	140	70	30	0,0541	0,0375	0,5000	0,2143	0,5000	0,7857
8	14	11		60	35	0,0463	0,0438	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500
15	21	18		70	35	0,0541	0,0438	0,5000	0,2500	0,5000	0,7500
22	28	25		75	35	0,0579	0,0438	0,5357	0,2500	0,4643	0,7500
29	35	32		75	35	0,0579	0,0438	0,5357	0,2500	0,4643	0,7500
36	42	39		75	45	0,0579	0,0563	0,5357	0,3214	0,4643	0,6786
43	49	46		75	45	0,0579	0,0563	0,5357	0,3214	0,4643	0,6786
50	56	53		75	45	0,0579	0,0563	0,5357	0,3214	0,4643	0,6786
57	63	60		75	45	0,0579	0,0563	0,5357	0,3214	0,4643	0,6786
64	70	67		75	45	0,0579	0,0563	0,5357	0,3214	0,4643	0,6786
71	77	74		80	45	0,0618	0,0563	0,5714	0,3214	0,4286	0,6786
78	84	81		80	45	0,0618	0,0563	0,5714	0,3214	0,4286	0,6786
85	91	88		85	60	0,0656	0,0750	0,6071	0,4286	0,3929	0,5714
92	98	95		85	60	0,0656	0,0750	0,6071	0,4286	0,3929	0,5714
99	105	102		80	65	0,0618	0,0813	0,5714	0,4643	0,4286	0,5357
106	112	109		80	65	0,0618	0,0813	0,5714	0,4643	0,4286	0,5357
113	120	116,5	80	65	0,0618	0,0813	0,5714	0,4643	0,4286	0,5357	
Σ				1295	800	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						708,7500		284,6429			
Дисперсія						33,9100		129,5848			
Середньоквадратичне відхилення						5,8232		11,3835			



а)



б)



в)

Рисунок 3.7 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 130 см:

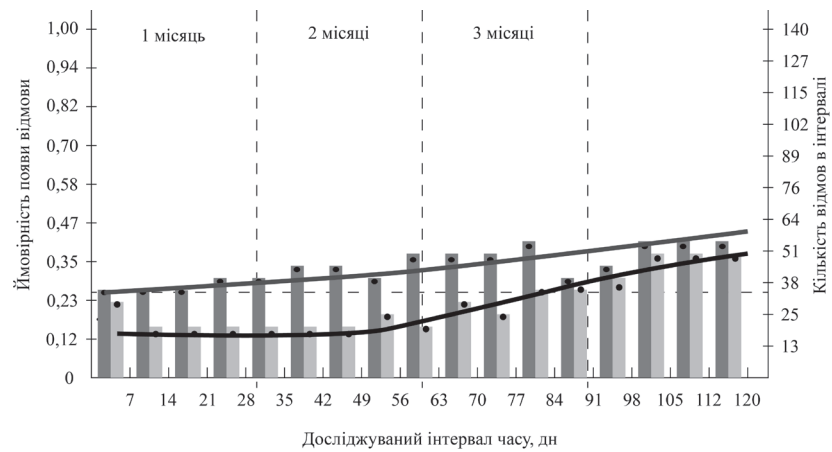
а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

■ – кількість відмов для маркеру розміром  $180 \times 180$  мм; ■ – кількість відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм;

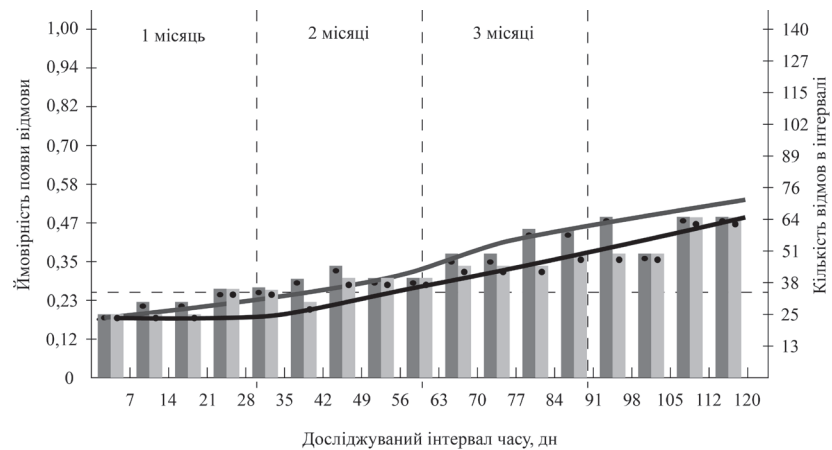
— – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $180 \times 180$  мм; — – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм

Оцінивши результат експерименту для зразків, що сканувалися з відстані 130 см (див. рис. 3.7) можна зробити висновок, що більш раціональним варіантом є використання маркерів розміром  $230 \times 230$  мм, оскільки вони зчитувалися при всіх умовах освітленості протягом всього встановленого терміну експлуатації білбордів (до 3 місяців), зберігаючи при цьому високі показники безвідмовності (ймовірність появи відмов не перевищувала встановлене значення у 0,25 та кількість відмов на кожні 7 днів дослідження була в межах 20-25 в середньому).

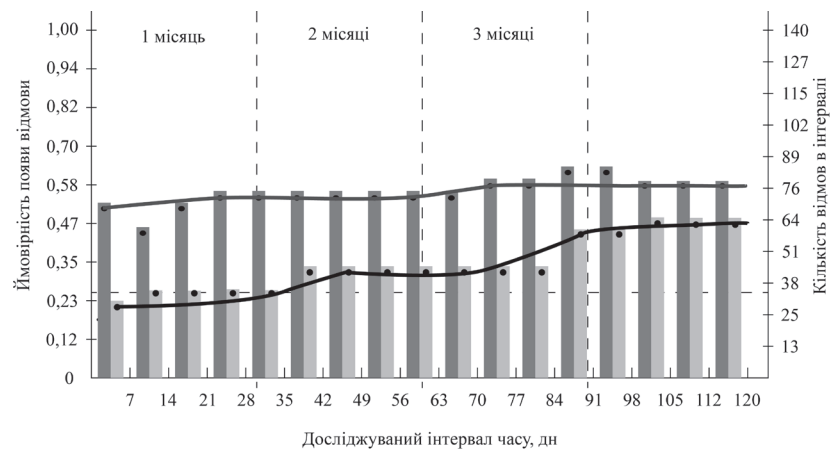
Зразки меншого розміру ( $180 \times 180$  мм) зберігали свої високі експлуатаційні характеристики лише протягом 1-1,5 місяці, а в подальшому не сканувалися або сканувалися з великими часовими затратами (12-15 с), що свідчить про значний вплив освітленості (при високому рівні освітленості (до 10000 люксів) не сканувалися взагалі), особливостей погодних умов (впливали на площинність матеріалу та кріплення його до основи, що спричинювало скручування матеріалу та створення додаткових нерівностей в межах маркеру, що погіршувало його зчитування).



а)



б)



в)

Рисунок 3.8 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 330 см:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

■ – кількість відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм; ■ – кількість відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм;

— – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $230 \times 230$  мм; — – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $280 \times 280$  мм

Проаналізувавши результати експерименту для маркерів, що сканувалися з відстані 330 см, можна зробити висновок, що більш раціональним варіантом маркеру у даному випадку є маркер розміром  $280 \times 280$  мм, оскільки він зчитувався протягом відповідного терміну експлуатації білбордів при всіх умовах освітленості, проте слід пам'ятати про те, що у випадку сканування з такої відстані термін експлуатації має бути знижений до 2 місяців – саме протягом такого періоду маркери зберігали відповідний рівень параметрів безвідмовності (див. підрозділ 2.4).

Отже, можна зробити наступний висновок:

– при скануванні маркерів з відстані 130 см, раціонально використовувати розмір  $180 \times 180$  мм, якщо термін експлуатації продукції складає один місяць, від одного до трьох –  $230 \times 230$  мм;

– при скануванні маркерів з відстані 330 см, раціонально використовувати розмір  $280 \times 280$  мм, термін експлуатації білбордів має складати до 2 місяців.

### 3.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності

Оскільки чорний колір був основним при виконанні першого етапу (див. підрозділ 3.1), то на другому етапі будуть досліджуватись маркери, що віддруковані основними кольорами (блакитним, пурпурним та жовтим), у розмірах, що були визначені як раціональні на попередньому етапі для відповідної відстані їх зчитування (див. пункти 3.1.2-3.1.3). Для проведення дослідження було встановлено початковий колірний контраст маркерів з фоном, що наведено у таблиці 3.16. Колірний контраст визначався відповідно до [73-74].

Таблиця 3.16 – Початковий колірний контраст

№	Колір	Колірний контраст			
		Матеріал			
		Глянцевий оракал	Матовий оракал	Банерна тканина	Папір
1	Cyan	3,91 (3,91:1)	2,58 (2,58:1)	2,45 (2,45:1)	3,32 (3,32:1)
2	Magenta	4,24 (4,24:1)	4,24 (4,24:1)	3,37 (3,37:1)	4,19 (4,19:1)
3	Yellow	1,34 (1,34:1)	1,13 (1,13:1)	1,15 (1,15:1)	1,14 (1,14:1)
4	Black	14,68 (14,68:1)	11,81 (11,81:1)	6,67 (6,67:1)	11,92 (11,92:1)

Аналіз отриманих показників контрасту показав, що характеристики поверхні матеріалу впливали на контраст маркерів та фону, зокрема текстура значно знижував його, а глянець – підсилював.

3.2.1. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності для сітілайтів та плакатів

3.2.1.1. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності, що віддруковані цифровим способом друку

Початкове дослідження проводилося за тих же умов та в рамках тієї ж фізичної моделі, що й для визначення розмірів. Було встановлено, що з відстані 50 см зчитуються маркери у розмірі  $80 \times 80$  мм та  $130 \times 130$  мм в усіх кольорах.

Із відстані 130 см зчитувалися маркери у блакитному та пурпуровому кольорі у розмірах  $230 \times 230$  мм та  $280 \times 280$  мм. Маркери у жовтому кольорі, які мають незначний контраст з фоном, не зчитувалися.

Отримані результати початкових замірів колірних характеристик занесені до таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Початкові колірні характеристики відбитків [9]

№	Досліджуваний елемент	Колірні характеристики						Оптична густина	
		L		a		b			
1	Матеріал	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат
		90,23	90,34	-0,84	-0,83	-1,11	-0,95	0,11	0,11
Відтворення кольорів									
1	Cyan	49,30	55,14	-40,72	-37,72	-48,83	-41,93	0,75	0,64
2	Magenta	45,03	45,10	69,01	69,89	-6,70	-12,85	0,84	0,83
3	Yellow	80,15	85,63	-6,45	-10,11	87,25	88,56	0,24	0,17

Результати досліджень змін колірних координат по завершенню даного етапу дослідження наведені у таблицях 3.18-3.22. Графічні представлення результатів наведені на рисунках 3.9-3.12

Таблиця 3.18 – Колірні зміни показників матеріалу

№	Матеріал	Колірні характеристики									ΔE		
		L			a			b					
		поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.
1	Глянцевий	90,07	89,31	88,54	-1,41	-1,75	-2,52	-0,99	-2,03	-2,79	0,60	1,59	2,92
2	Матовий	90,19	89,52	89,09	-1,22	-1,85	-3,86	-0,38	-2,47	-2,84	0,71	1,42	3,28

Як можна побачити на всіх часових відрізках дослідження найбільших колірних спотворень зазнає жовтий відтінок на відбитку, що свідчить про меншу стійкість саме цієї фарби до зовнішніх умов, а саме вицвітання кольору під дією зовнішніх погодних умов (освітленість, вологість). Тому можна зробити висновок, що використовувати кольори, що мають контрастність з фоном менше 3,5 для глянцевого матеріалу та 2,5 для матового є нераціональним рішенням.

Зразки меншого розміру –  $80 \times 80$  мм – мали значні показники колірного спотворення вже на 15-20 день використання в усіх кольорах, що свідчить про можливість використання маркерів у такому розмірі тільки в кольорах, контрастність з фоном яких складає більше 6:1. Зразки більшого розміру –  $130 \times 130$  мм – мали стабільні показники кольору при використанні кольорів, контраст яких з фоном становив не менше 2,5:1 (пурпуровий та блакитний) протягом двох місяців, при цьому маючи високі показники безвідмовності на цей період (в середньому 10-15 відмов на кожні 7 днів дослідження). Зразки, що мали контрастність з фоном до 2:1 (жовтий колір) були стабільними протягом 1 місяця.

Для невеликої відстані зчитування характерним було значне перевищення показника колірного спотворення встановлених меж у 5 одиниць вже після місяця експлуатації, особливо у жовтому відтінку. Наявність захисного елементу дозволяє подовжити строк експлуатації маркерів, особливо при зчитуванні з відстані 130 см, оскільки показник колірного спотворення був більш стабільним та був у заданих межах (до 7 одиниць) протягом двох місяців для кольорів, що мали контрастність не менше 2,5:1 (блакитний та пурпуровий). Зразки з меншим контрастом майже не відтворювалися з 20 дня дослідження.



Таблиця 3.19 – Результати дослідження колірних змін маркерів за наявності захисного елемента при їх зчитуванні з відстані 50 см

№	Колір	Колірні характеристики						ΔE		Середній час на розпізнавання маркерів, с		Середня кількість відмов за період	
		L		a		b							
		глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат
Початок дослідження – 10-20 днів													
1	Cyan	42,51	45,91	-47,52	-49,91	-54,85	-55,15	5,34	6,34	4,25	5,28	20	30
2	Magenta	38,17	35,15	62,06	63,05	-11,71	-12,20	5,98	8,98	4,45	5,99	25	25
3	Yellow	69,33	65,15	-13,2	-15,6	87,48	89,97	6,75	10,75	6,01	8,01	50	65
Середина дослідження – 50-60 днів													
5	Cyan	45,01	52,11	-45,55	-45,52	-42,59	-56,85	8,98	7,11	7,25	7,29	50	50
6	Magenta	40,11	38,97	65,12	63,06	-5,05	-12,71	6,49	9,18	7,69	6,91	55	70
7	Yellow	75,10	68,13	-8,25	-19,2	98,75	89,48	10,06	12,74	9,19	Не зчитувався	90	140
Кінець дослідження – 100-120 днів													
8	Cyan	47,91	44,89	-49,91	-48,28	-55,15	-50,27	11,92	10,21	11,16	15,85	85	80
9	Magenta	35,15	34,41	63,05	57,85	-12,2	-21,42	10,24	12,09	12,59	16,65	80	85
10	Yellow	65,15	75,64	-15,6	-20,5	89,97	78,27	17,71	21,25	17,29	Не зчитувався	120	140

Таблиця 3.20 – Результати дослідження колірних змін маркерів при відсутності захисного елемента при їх зчитуванні з відстані 50 см

№	Колір	Колірні характеристики												ΔE				Середній час на розпізнавання маркерів, с				Середня кількість відмов за період			
		L				a				b															
		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат	
		Розмір маркеру, мм																							
		80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130
Початок дослідження – 10-20 днів																									
1	Cyan	41,69	47,51	40,23	43,91	-51,26	-49,52	-53,15	-51,93	-53,15	-55,85	-50,22	-54,15	13,70	5,36	15,45	4,34	5.25	3,21	4.26	2,28	30	20	35	25
2	Magenta	37,15	39,17	41,21	45,15	65,13	60,06	67,09	65,05	-8,25	-10,71	-15,66	-12,20	8,92	5,74	9,93	4,98	5.01	4,45	5.01	3,99	35	35	40	35
3	Yellow	80,91	72,33	65,25	67,15	-19,29	-15,20	-12,30	-15,6	83,16	88,48	81,20	89,97	13,50	7,75	17,11	9,75	8.26	5,01	9.15	4,09	50	40	50.	55
Середина дослідження – 50-60 днів																									
5	Cyan	38,69	46,01	36,23	55,11	-46,26	-55,55	-46,15	-47,52	-48,15	-43,59	-40,22	-57,85	13,99	5,98	16,57	6,11	6.15	5,25	6.22	5,29	50	40	50	35
6	Magenta	34,15	41,12	37,21	35,97	70,13	63,12	74,09	66,06	-3,25	-7,05	-10,66	-13,71	11,47	6,09	10,13	5,18	7.21	5,69	7.32	5,91	50	45	60	45
7	Yellow	77,91	79,10	61,25	78,13	-14,29	-10,25	-5,3	-15,2	73,16	99,75	86,2	87,48	16,28	8,06	18,96	8,74	—	—	—	7,91	140	140	140	60
Кінець дослідження – 100-120 днів																									
8	Cyan	38,69	45,91	36,23	50,89	-54,26	-47,91	-57,15	-49,28	-56,15	-59,15	-54,22	-51,27	17,50	10,92	21,68	10,21	10.00	9,16	9.15	6,95	85	80	85	80
9	Magenta	34,15	45,15	37,21	32,41	62,13	65,05	63,09	58,85	-11,25	-15,25	-19,66	-22,42	13,65	11,24	16,25	11,09	10.00	10,59	9.99	8,65	85	85	85	85
10	Yellow	77,91	86,15	61,25	76,64	-22,29	-16,6	-16,3	-22,5	80,16	89,07	77,2	79,27	18,69	15,71	23,56	14,25	—	—	—	15,12	140	140	140	100

Таблиця 3.21 – Результати дослідження колірних змін маркерів за наявності захисного елементу при їх зчитуванні з відстані 130 см

№	Колір	Колірні характеристики						ΔE		Середній час на розпізнавання маркерів, с		Середня кількість відмов за період	
		L		a		b							
		глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат	глянц	мат
Початок дослідження – 10-20 днів													
1	Cyan	48,76	55,14	-41,27	-38,03	-48,60	-40,02	0,80	1,93	3,25	4,28	24	30
2	Magenta	44,42	44,66	68,31	68,10	-5,46	-11,17	0,46	2,49	4,45	4,99	24	30
3	Yellow	79,58	85,89	-6,95	-10,25	93,73	88,52	1,55	3,52	7,01	6,01	36	65
Середина дослідження – 50-60 днів													
5	Cyan	47,86	56,04	-42,05	-38,34	-47,82	-39,75	2,21	2,44	8,25	7,29	44	36
6	Magenta	42,01	46,16	68,05	67,53	-5,35	-10,65	3,44	3,39	8,69	6,91	53	42
7	Yellow	78,81	86,35	-7,01	-10,99	95,05	89,46	5,45	7,93	9,19	10,01	84	72
Кінець дослідження – 100-120 днів													
9	Cyan	45,01	56,54	-45,55	-39,04	-42,59	-46,25	8,98	4,73	10,16	6,85	75	40
10	Magenta	40,11	48,01	65,12	67,06	-5,05	-9,89	6,49	5,02	12,59	7,65	75	45
11	Yellow	75,10	87,29	-8,25	-13,65	98,75	89,65	10,06	12,69	16,29	13,12	125	85

Таблиця 3.22 – Результати дослідження колірних змін маркерів при відсутності захисного елементу при їх зчитуванні з відстані 130 см

№	Колір	Колірні характеристики												ΔЕ				Середній час на розпізнавання маркерів, с				Середня кількість відмов за період			
		L				a				b															
		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат		глянц		мат	
		Розмір маркеру, мм																							
		230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280	230	280
Початок дослідження – 10-20 днів																									
1	Cyan	51,94	53,54	47,36	42,36	-42,84	-40,84	-48,55	-47,55	-43,25	-42,25	-52,32	-53,32	4,53	2,21	5,79	3,81	2,99	2,25	5,55	5,28	15	15	30	35
2	Magenta	47,66	48,66	42,51	36,51	63,03	65,03	63,55	62,55	-9,15	-13,15	-12,85	-10,85	4,98	3,44	5,60	4,83	3,69	3,45	6,99	5,99	30	35	35	35
3	Yellow	73,98	77,08	74,39	88,39	-11,45	-9,45	-13,75	-15,75	90,23	91,23	89,02	91,02	5,48	5,85	7,47	6,74	9,25	9,01	8,45	8,09	45	40	55	55
Середина дослідження – 50-60 днів																									
5	Cyan	43,94	46,26	46,36	52,64	-43,84	-43,77	-49,55	-40,53	-44,25	-51,1	-53,32	-42,52	5,71	4,87	6,33	4,73	7,71	6,25	11,12	10,29	45	40	35	30
6	Magenta	46,66	41,92	41,51	47,16	62,03	65,81	62,55	65,6	-10,15	-7,96	-13,85	-13,67	5,95	4,64	6,26	5,02	7,99	7,69	11,99	10,91	50	50	40	45
7	Yellow	72,98	88,85	73,39	73,31	-12,45	-16,49	-14,75	-15,51	89,23	91,96	88,02	99,87	9,56	7,93	10,73	8,06	11,25	10,19	13,01	12,91	85	80	65	60
Кінець дослідження – 100-120 днів																									
8	Cyan	41,94	45,01	37,36	56,54	-47,84	-45,55	-43,55	-39,04	-46,25	-42,59	-47,32	-46,25	10,56	8,98	12,36	10,72	11,99	12,16	7,25	6,85	70	75	40	40
9	Magenta	37,66	40,11	32,51	48,01	58,03	65,12	58,55	67,06	-12,15	-5,05	-7,85	-9,89	14,30	6,49	16,35	11,47	14,00	13,59	8,99	7,65	70	75	45	45
10	Yellow	68,98	75,10	64,39	87,29	-16,45	-8,25	-8,75	-13,65	87,23	98,75	84,02	89,65	14,99	12,69	16,25	16,97	16,99	16,29	18,12	20,12	135	125	130	130

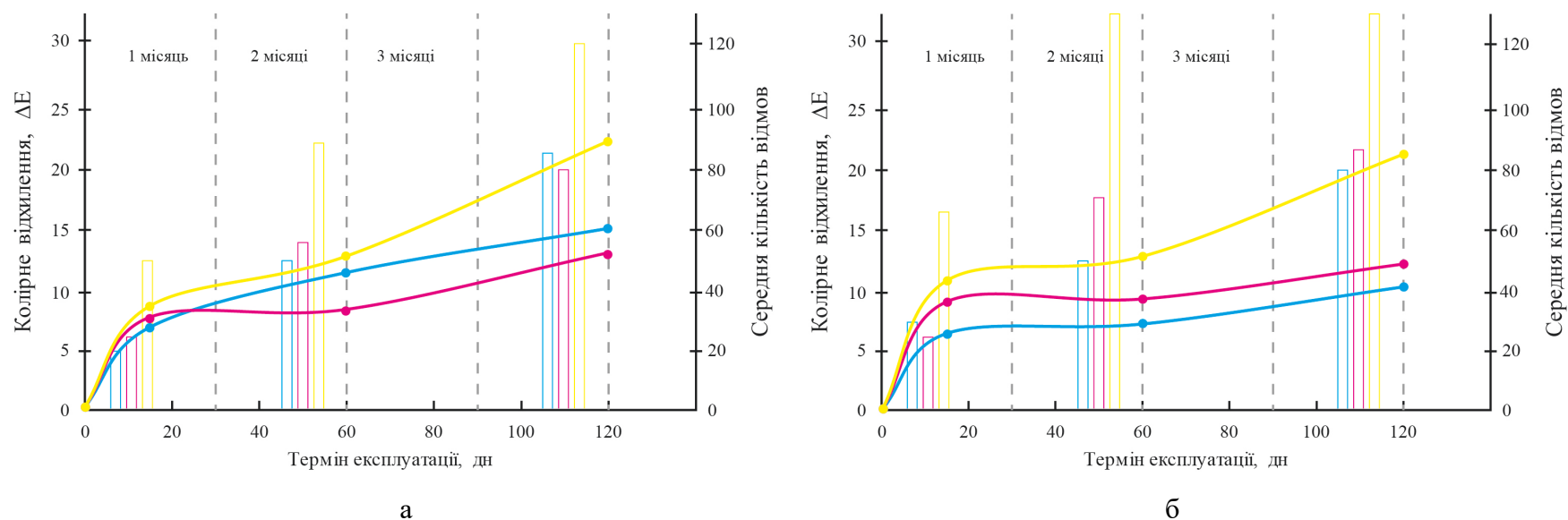


Рисунок 3.9 – Зміна колірних характеристик досліджуваних зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при наявності захисного елементу ( $130 \times 130$  мм):

а – надруковані на глянцевогом оракалі; б – надруковані на матовому оракалі

□ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць;

— – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць

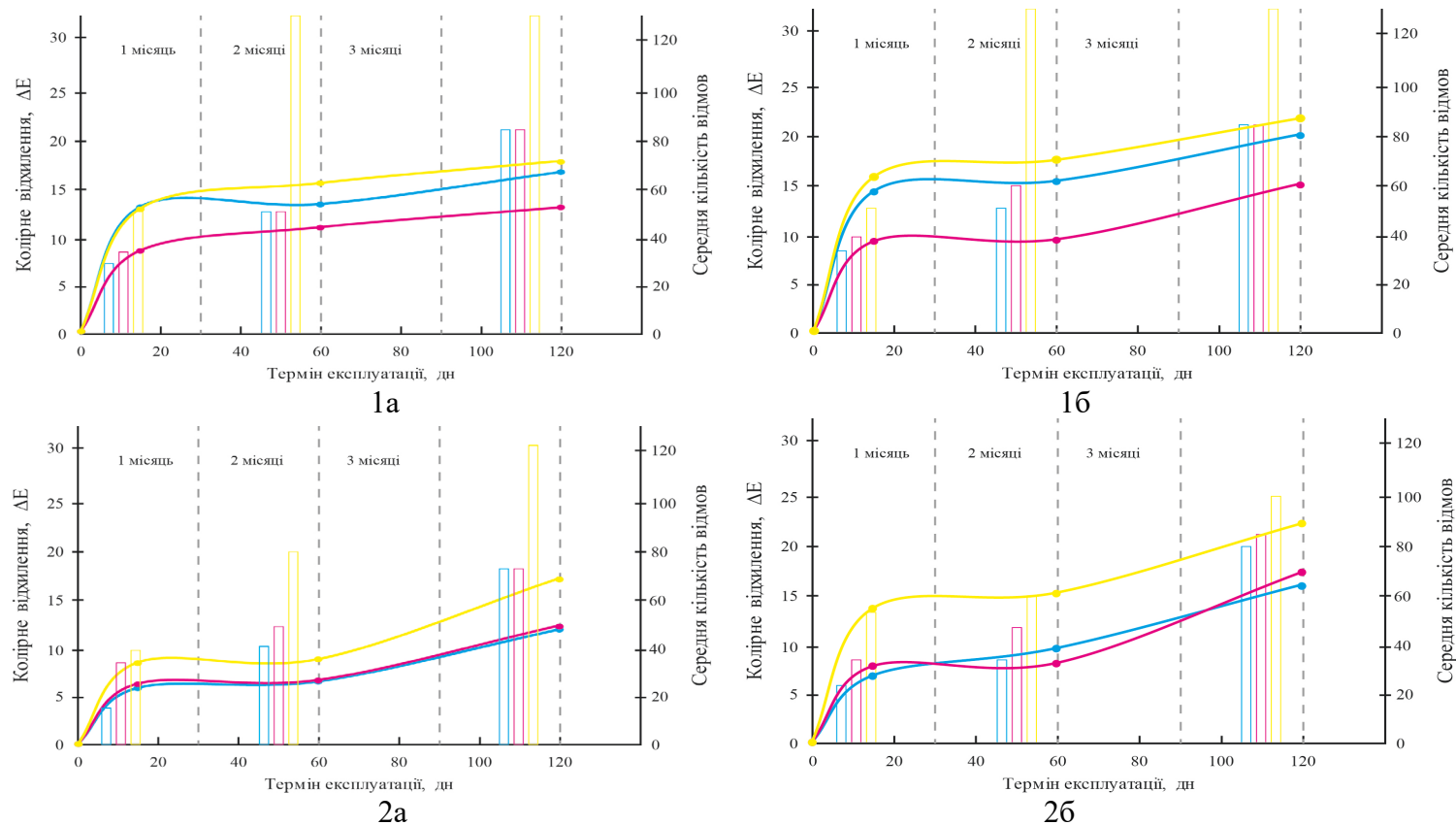


Рисунок 3.10 – Зміна колірних характеристик зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при відсутності захисного елементу:

1 – розмір маркеру  $80 \times 80$  мм; 2 –  $130 \times 130$  мм;

а – надруковані на глянцево́му оракалі; б – надруковані на матово́му оракалі;

■ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; ■ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; ■ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць;

— – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць

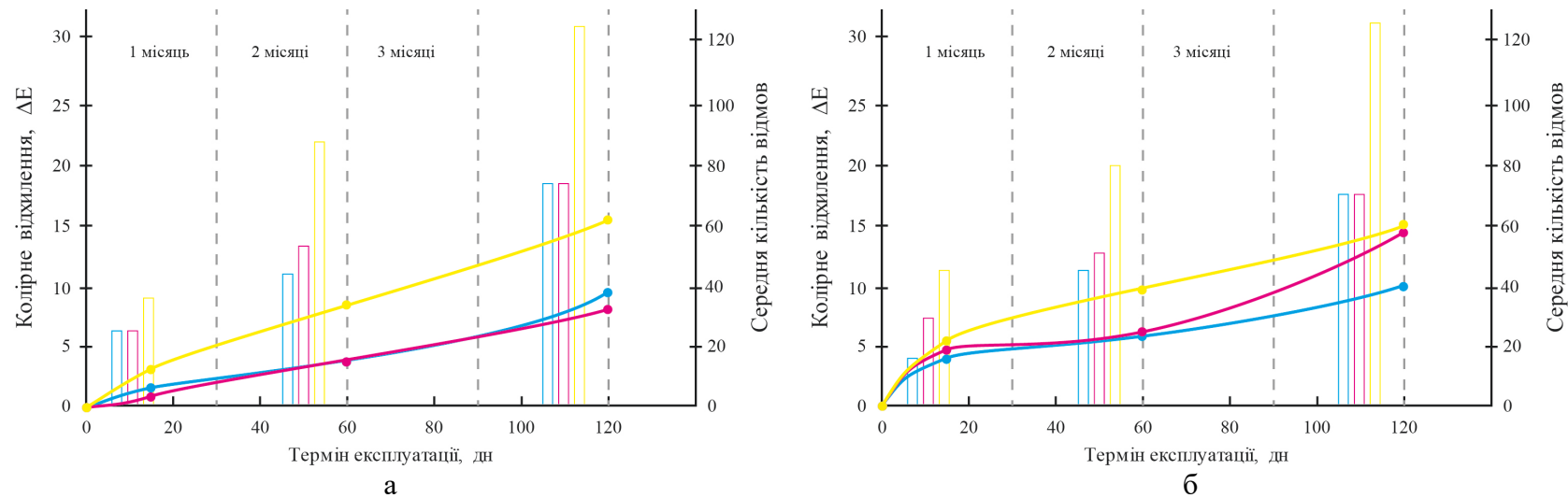


Рисунок 3.11 – Зміна колірних характеристик досліджуваних зразків, що зчитувалися з відстані 130 см при наявності захисного елементу (280 × 280 мм):

а – надруковані на глянцевому оракалі; б – надруковані на матовому оракалі;

□ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць;

— ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 1-3 одиниць; — ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; — ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць

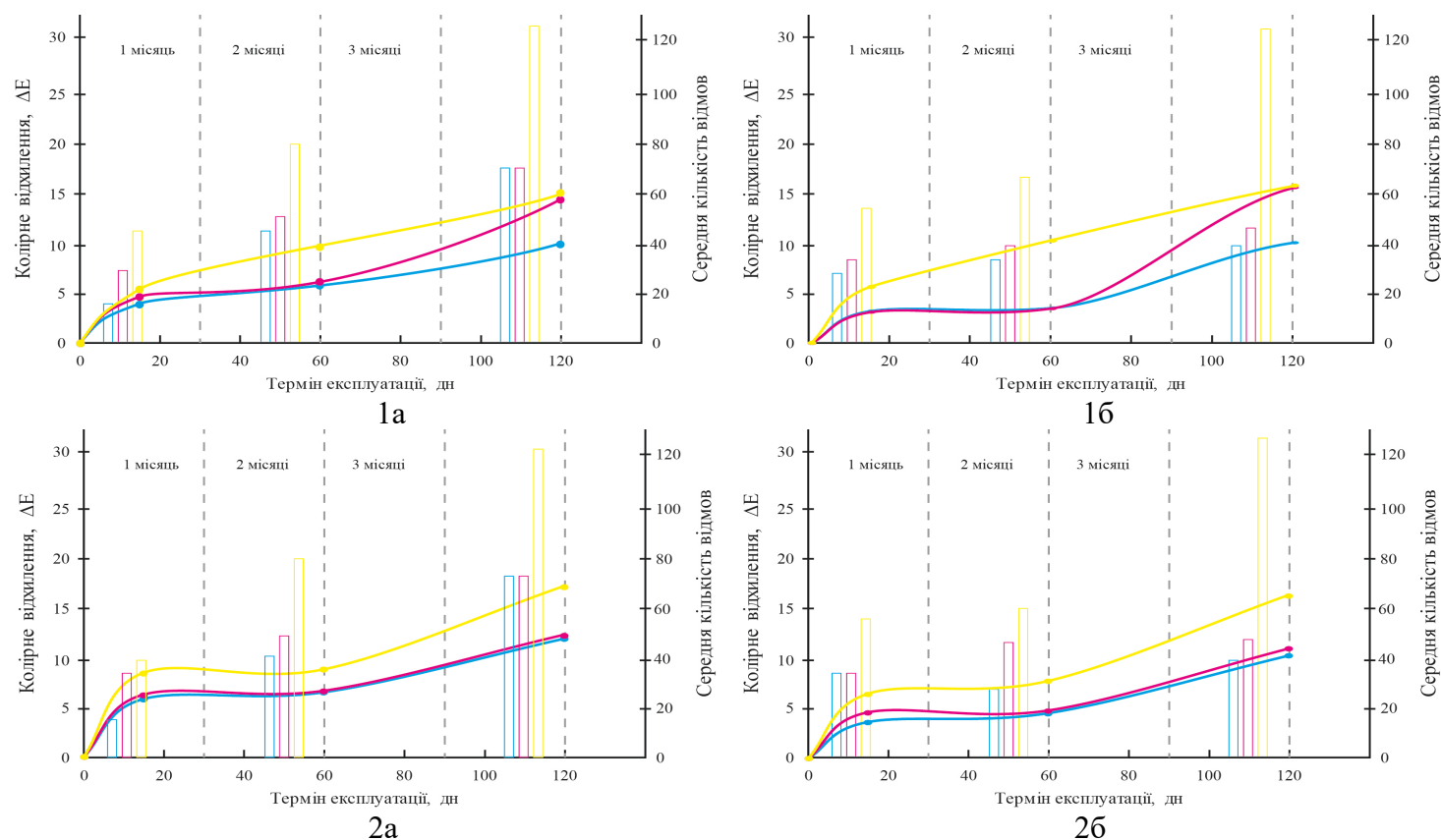


Рисунок 3.12 – Зміна кольорних характеристик зразків, що зчитувалися з відстані 130 см при відсутності захисного елемента:

1 – маркер розміром  $230 \times 230$  мм; 2 – маркер розміром  $280 \times 280$  мм;

а – друк на гляцевому матеріалі; б – друк на матовому матеріалі

□ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 1-3 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 4-6 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 7-9 одиниць;  
 — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 1-3 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 4-6 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 7-9 одиниць

Також зразки були візуально досліджені за допомогою мікроскопії. Заміри виконувалися на декількох важливих ділянках – рамка маркеру, суцільна частина рисунку маркеру, область шрифтового елементу. Результати представлені на рис. 3.13-3.16[9].

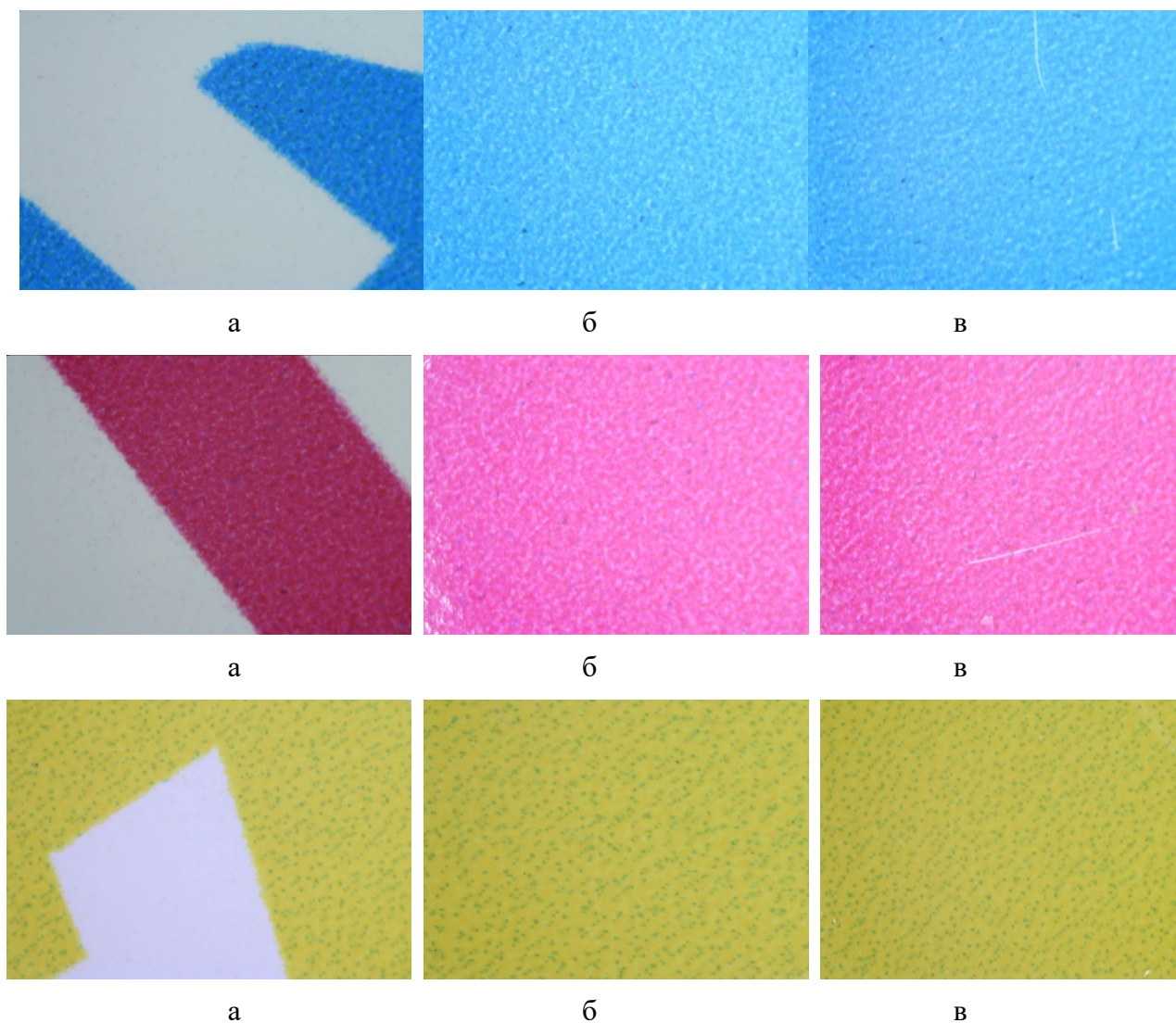
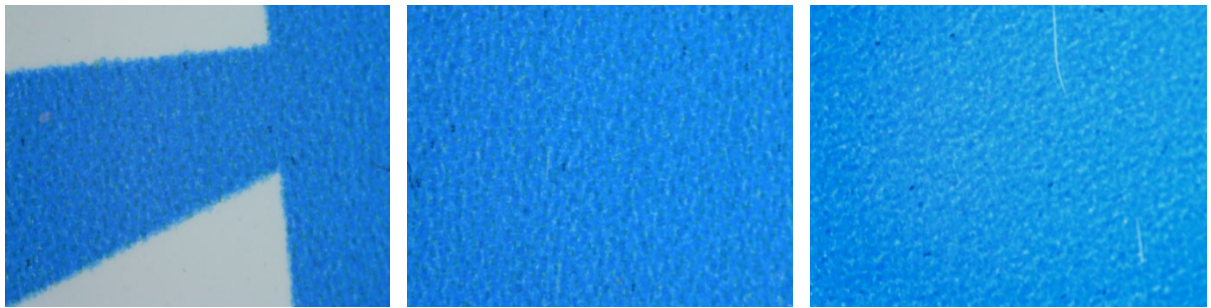


Рисунок 3.13 – Задрукована поверхня (глянцевий оракал) елементів маркерів до процесу дослідження [9]:

а – область шрифтового елементу; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

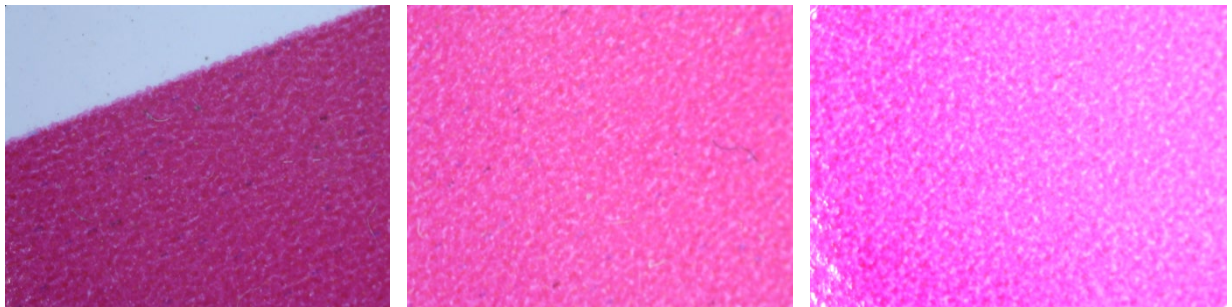




а

б

в



а

б

в



а

б

в

Рисунок 3.14 – Задрукована поверхня (глянцевий оракал) елементів маркерів після процесу дослідження [9]:

а – область шрифтового елемента; б – суцільна частина рисунку маркеру; в – рамка маркеру



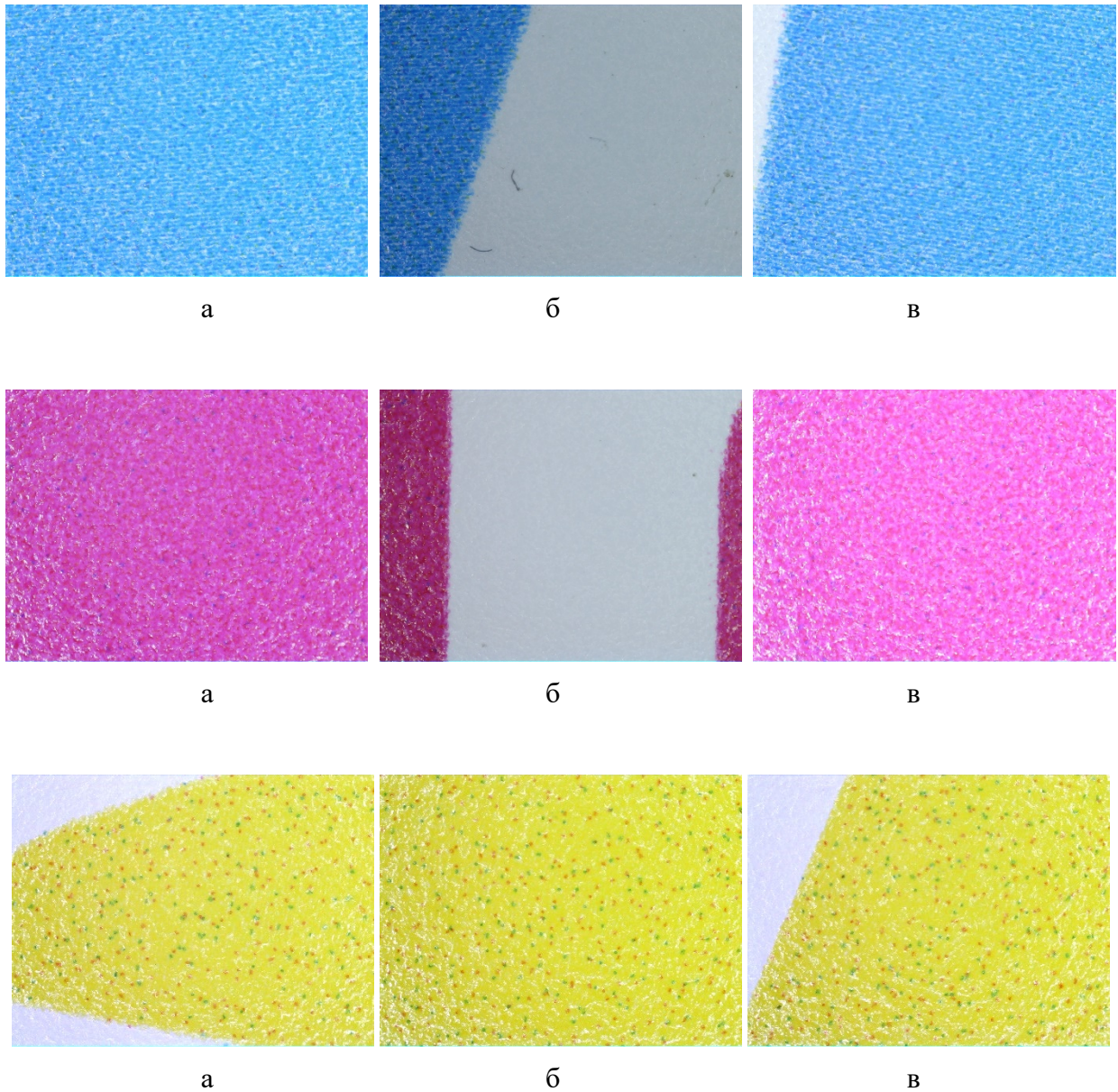


Рисунок 3.15 –Задрукована поверхня (матовий оракал) елементів маркерів до процесу дослідження [9]:

а – область шрифтового елемента; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

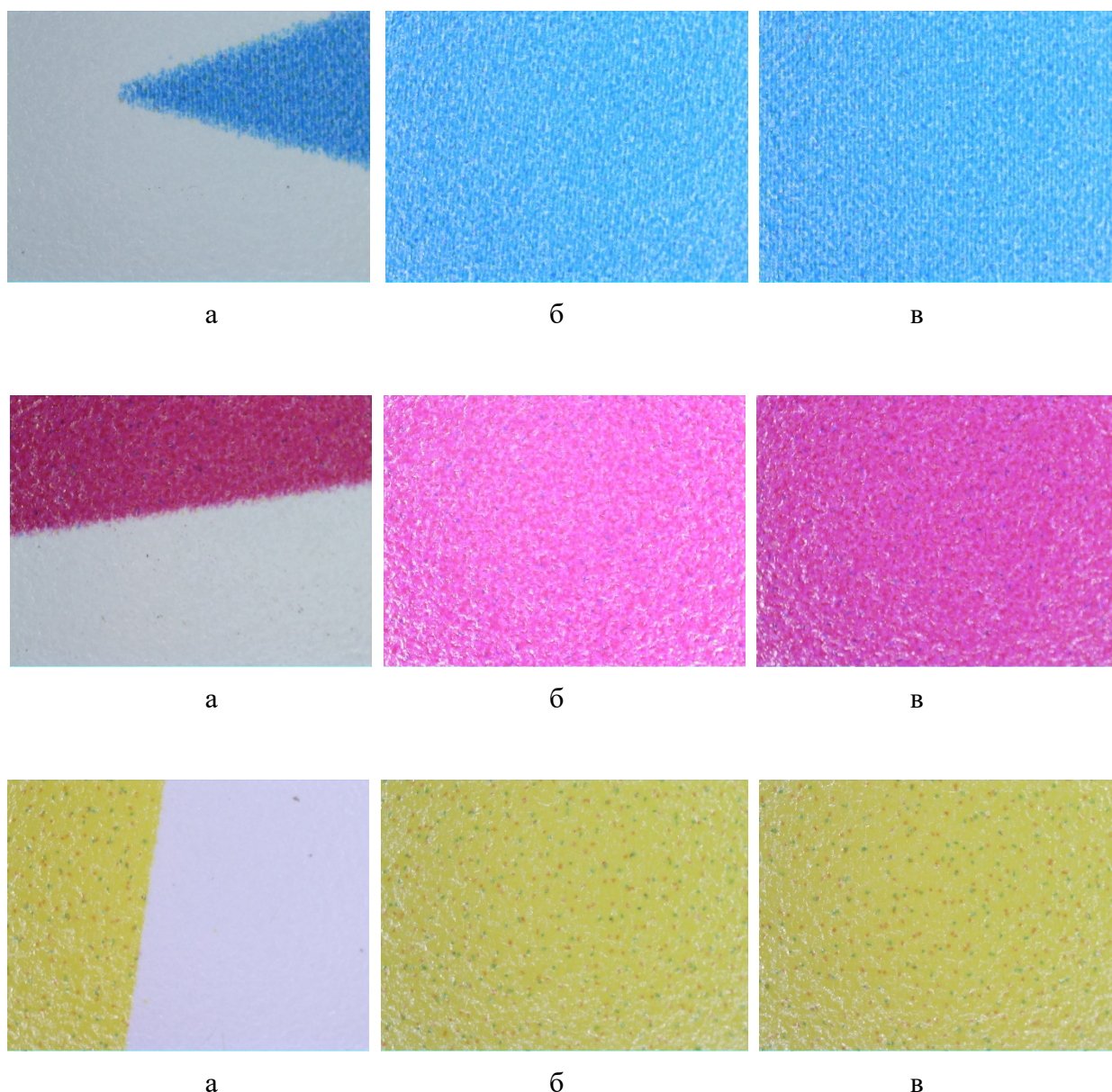


Рисунок 3.16 – Задрукована поверхня елементів маркерів після процесу дослідження [9]:

а – область шрифтового елементу; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

Оцінивши знімки мікроскопії поверхні маркерів можна зробити висновок, що кольори при друці відтворюються рівномірно без додавання додаткових зайвих кольорів суцільним тоном. Також є певна помітна невелика зміна кольору пурпурної фарби при тривалій експлуатації маркерів (див. рис. 3.12, 2б, 2в), що підтверджується



й спектрофотометричними вимірюваннями. Найбільше це характерно для рамки маркеру – колір змінює свій тон у сторону холодних синьо-фіолетових відтінків [9].

Також було виявлено деякі дефекти на зразках віддрукованих пурпуровим та жовтим кольором (поява коричневих плям та відшарування фарби), що з'явилися протягом місяця при експлуатації продукції у місяці з підвищеним рівнем вологості (див. додаток Д) у надмірно вологому середовищі. Приклади такого роду дефектів можна побачити на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Дефекти, що виникли при експлуатації відбитків

Зважаючи на отримані результати та проведений їх аналіз було зроблено такі висновки по даному етапу, а саме [9]:

- при експлуатації продукції без наявності захисного елементу при зчитуванні маркерів у розмірі  $80 \times 80$  мм рекомендований їх друк у відтінках, що мають колірний контраст з фоном не менше 6:1;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця при зчитуванні маркерів у розмірі  $130 \times 130$  мм рекомендований їх друк у відтінках, що має контраст з фоном не менше 2:1; від одного до двох місяців – не менше 4:1; від двох місяців – не менше 6:1;
- при експлуатації продукції при відсутності захисного елементу при зчитуванні маркерів з відстані 130 см при експлуатації протягом 1 місяця рекомендований їх друк у відтінках, що мають контраст з фоном не менше 2:1; від одного до двох місяців – 5:1; більше двох місяців – 7:1;
- при експлуатації продукції при наявності захисного елементу до одного місяця при зчитуванні маркерів з відстані до 130 см рекомендований їх друк у

відтінках, що має контраст з фоном не менше 4:1; від одного до двох місяців – 8:1; від двох місяців – 12:1

3.2.1.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності, що віддруковані плоским офсетним способом друку

Так само, як і для цифрового друку, були протестовані зразки, надруковані плоским офсетним способом друку. Було визначено, що з відстані 50 см зчитуються маркери розміром як  $80 \times 80$  та  $130 \times 130$  мм у всіх вказаних кольорах – блакитний, пурпуровий та жовтий.

Результати початкових вимірювань занесені у таблицю 3.23.

Таблиця 3.23 – Початкові колірні характеристики матеріалу та відбитку

№	Досліджуваний елемент	Колірні характеристики			Оптична густина
		L	a	b	
1	Білість матеріалу	98,00	0,19	-1,95	0,02
Відтворення кольорів					
1	Cyan	44,33	-23,88	-66,60	0,85
2	Magenta	45,88	76,17	-11,69	0,82
3	Yellow	92,69	-8,97	82,48	0,08

Результати досліджень змін колірних координат по завершенню даного етапу дослідження наведений у таблиці 3.24-3.26.

Відповідно до отриманих показників колірного спотворення було побудовано наступні залежності зміни кольору зразків протягом періоду дослідження із зазначенням кількості відмов у відповідний період, що представлені на рисунку 3.18

Таблиця 3.24 – Колірні зміни показників матеріалу

№	Матеріал	Колірні характеристики									ΔE		
		L			a			b					
		поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.
1	Папір	97,74	95,56	92,10	0,34	-3,21	4,95	-1,57	19,10	23,95	0,48	21,46	26,99

Оцінюючи отримані результати та порівнюючи їх з показниками для цифрового друку (див. рис. 3.9-3.12) можна зробити висновок, що кольори відбитків, що віддруковані офсетним способом друку, більше піддаються впливу

зовнішніх умов, особливо при відсутності захисного елемента, зокрема освітленості – показник колірних відмов після місяця експлуатації перевищував 3-5 одиниць, часові заміри в середньому становлять 6-7 с на цей період, кількість відмов в середньому становить 30-35 відмов на кожні 7 днів дослідження. Окрім того, зразки під захисним елементом мають значно більший час на відтворення або взагалі невідтворювалися вже після місяця дослідження.

Аналогічне дослідження було проведене й для маркерів, що зчитувались з відстані 130 см. Було встановлено, що в кольорі (пурпуровому та блакитному) зчитуються маркери тільки у розмірі 280 мм. Маркери жовтого кольору не зчитувалися.

Отримані результати дослідження зміни колірних характеристики та кількості відмов наведені у таблицях 3.30-3.31.

Відповідно до отриманих показників колірного спотворення було побудовано наступні залежності зміни кольору зразків протягом періоду дослідження із зазначенням кількості відмов у відповідний період, що представлені на рисунку 3.19

Таблиця 3.24 – Результати дослідження колірних змін маркерів при зчитуванні з відстані 50 см

№	Колір	Колірні характеристики												ΔЕ				Колірний контраст			
		L				a				b											
		Розмір маркеру, мм																			
		80		130		80		130		80		130		80		130		80		130	
		Наявність захисного елементу																			
		€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає
Початок дослідження – 10-20 днів																					
1	Cyan	46,28	44,3	45,36	43,21	-24,5	-21,63	-23,29	-21,65	-67,8	-63,91	-68,89	-63,95	2,37	3,51	2,58	3,64	3,98	4,31	4,15	4,48
2	Magenta	46,46	46,46	47,5	48,24	76,59	78,95	76,54	72,26	-8,43	-10,12	-8,89	-10,06	3,34	3,24	3,26	4,85	4,89	4,67	4,65	4,58
3	Yellow	92,26	93,5	92,25	90,04	-9,19	-10,75	-9,23	-12,25	80,39	78,32	79,26	79,93	2,15	4,60	3,26	4,93	1,18	1,12	1,18	1,23
Середина дослідження – 50-60 днів																					
1	Cyan	39,3	37,22	40,69	38,13	-25,15	-30,68	-35,15	-32,72	-62,91	-53,17	-60,19	-54,18	12,00	16,65	7,48	16,46	4,87	5,63	4,43	5,38
2	Magenta	41,46	39,53	44,74	39,90	68,76	71,34	68,76	70,58	-4,25	2,43	6,56	1,32	8,74	16,22	19,73	15,37	5,49	5,65	4,89	5,69
3	Yellow	88,00	84,31	88,04	85,00	-7,86	-7,63	-7,86	-8,34	81,17	90,82	80,71	86,00	13,31	11,90	12,70	8,48	1,22	1,38	1,22	1,35
Кінець дослідження – 100-120 днів																					
1	Cyan	37,06	44,3	40,15	44,19	-30,13	-8,63	-31,79	-21,65	-52,60	-57,91	-56,00	-56,69	16,97	17,55	13,87	18,16	4,86	4,04	4,27	3,85
2	Magenta	39,18	46,46	44,74	48,24	69,83	79,97	64,97	72,26	1,76	0,75	-0,36	10,06	16,31	13,02	15,97	22,22	5,34	3,98	4,43	3,98
3	Yellow	83,87	83	85,29	80,04	-7,84	-8,75	-6,53	-15,86	87,74	66,17	92,63	62,71	17,33	18,97	12,80	24,46	1,24	1,28	1,20	1,39

Таблиця 3.25 – Часові заміри та відмови при зчитуванні маркерів при зчитуванні з відстані 50 см

№	Колір	Середній час на розпізнавання маркерів, с				Середня кількість відмов за період			
		Розмір маркеру, см							
		80		130		80		130	
		Наявність захисного елементу							
		є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
Початок дослідження – 10-20 днів									
1	Cyan	3,91	3,25	4,05	2,95	35	30	35	25
2	Magenta	4,55	4,05	3,99	4,15	35	30	30	30
3	Yellow	16,95	7,02	8,55	6,23	65	60	55	45
Середина дослідження – 50-60 днів									
1	Cyan	5,61	5,45	5,99	4,95	80	65	60	50
2	Magenta	8,99	7,21	7,05	8,99	85	70	70	60
3	Yellow	Не зчитується	12,01	18,91	15,36	140	110	100	95
Кінець дослідження – 100-120 днів									
1	Cyan	15,49	15,15	16,01	15,95	115	115	105	90
2	Magenta	Не зчитується	17,65	16,95	15,84	125	100	100	95
3	Yellow	Не зчитується	20,21	Не зчитується	16,99	140	120	140	100

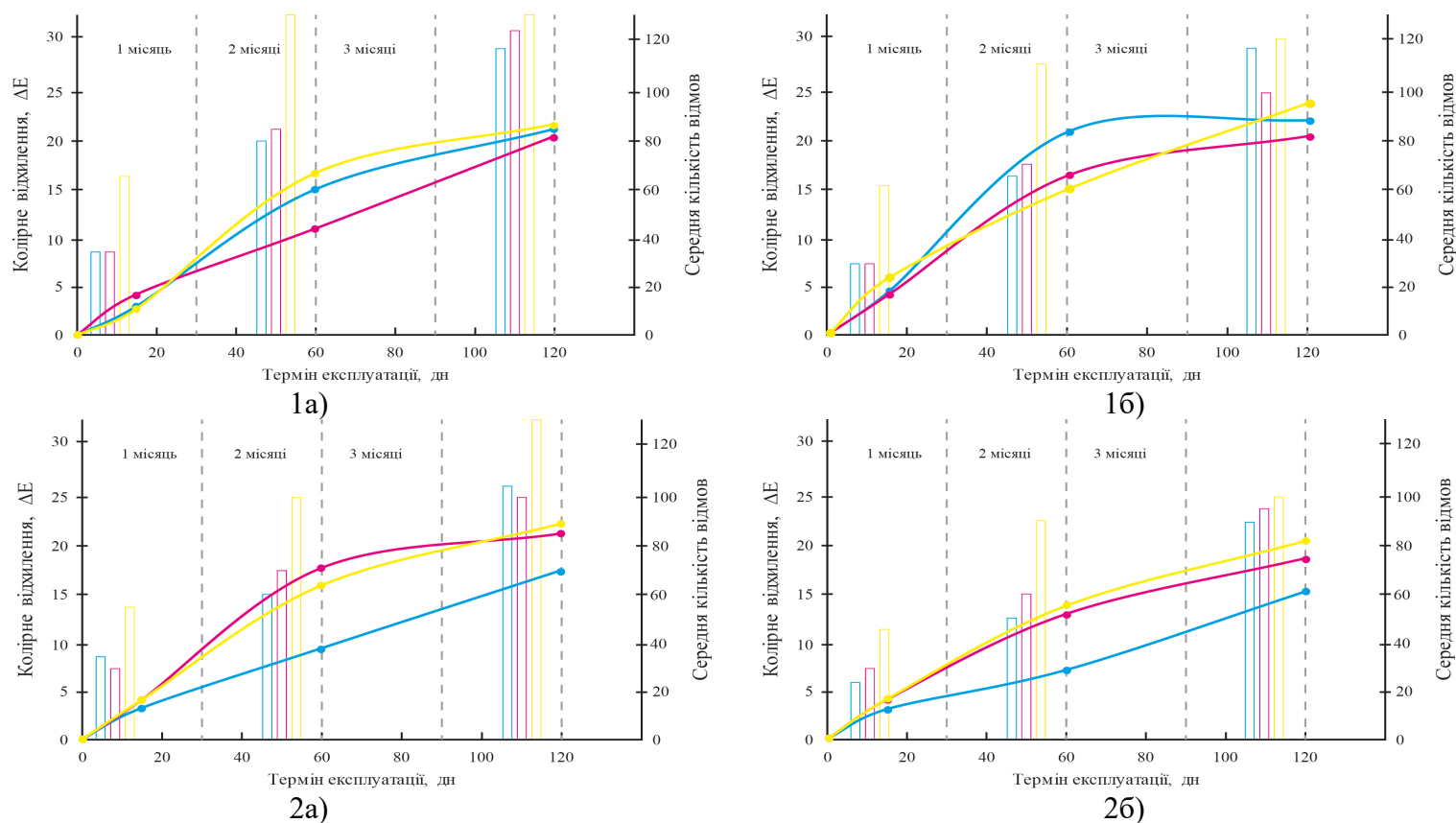


Рисунок 3.18 – Зміна кольорних характеристик досліджуваних зразків, віддрукованих плоским офсетним друком:

1 – маркер розміром 80 мм; 2 – маркер розміром 130 мм;

а – при наявності захисного елементу; б – при відсутності захисного елементу

■ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 1-3 одиниць; ■ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 4-6 одиниць; ■ – середня кількість відмов для маркеру з кольорним контрастом 7-9 одиниць;  
 — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 1-3 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 4-6 одиниць; — – ймовірність появи відмов для маркеру з кольорним контрастом 7-9 одиниць

Таблиця 3.30 – Результати дослідження колірних змін маркерів при зчитуванні з відстані 130 см

№	Колір	Колірні характеристики						ΔE		Колірний контраст	
		L		a		b					
		Наявність захисного елементу									
		є	немає	є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
Початок дослідження – 10-20 днів											
1	Cyan	48,17	47,75	-26,14	-26,48	-65,46	-68,43	4,60	4,67		
2	Magenta	46,50	45,43	76,54	78,48	-8,43	-7,17	3,34	5,10		
Середина дослідження – 50-60 днів											
1	Cyan	40,15	38,24	-31,79	-30,06	-56,00	-55,64	13,87	13,98		
2	Magenta	44,74	40,58	64,97	69,95	-5,25	-3,21	11,97	12,78		
Кінець дослідження – 100-120 днів											
1	Cyan	38,13	37,22	-32,72	-30,68	-53,17	-53,18	17,23	16,64		
2	Magenta	39,90	39,18	60,21	69,83	1,76	1,32	13,73	19,88		

Таблиця 3.31 – Часові заміри та відмови при зчитуванні маркерів при зчитуванні з відстані 130 см

№	Колір	Середній час на розпізнавання маркерів, с		Середня кількість відмов за період	
		Наявність захисного елементу			
		є	немає	є	немає
Початок дослідження – 10-20 днів					
1	Сяан	7,91	5,25	50	35
2	Magenta	8,55	6,05	70	45
Середина дослідження – 50-60 днів					
1	Сяан	10,25	8,45	80	75
2	Magenta	11,99	12,21	85	90
Кінець дослідження – 100-120 днів					
1	Сяан	Не зчитується	17,15	140	100
2	Magenta	Не зчитується	Не зчитується	140	140



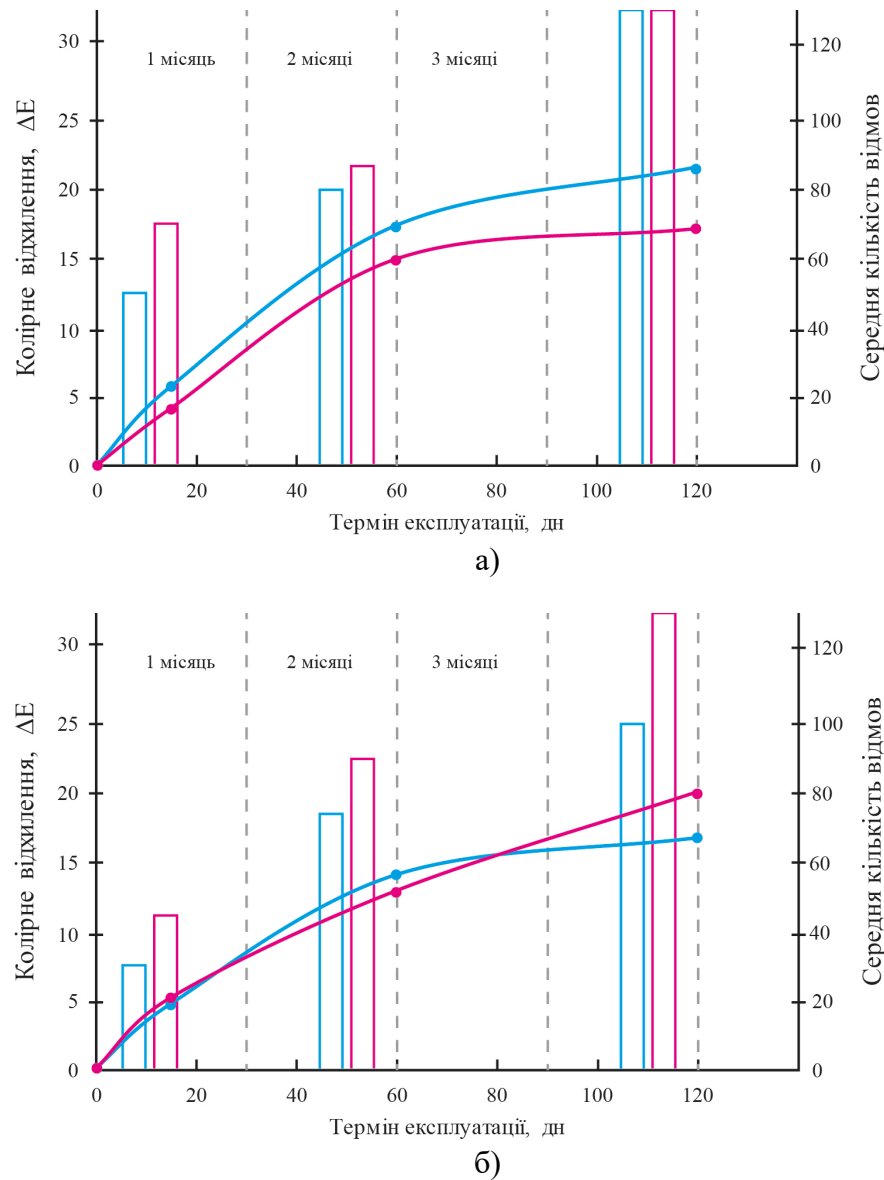


Рисунок 3.19 – Зміна колірних характеристик досліджуваних зразків, віддрукованих плоским офсетним друком, при їх зчитуванні з 130 см:

а – при наявності захисного елементу; б – при відсутності захисного

□ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць;

— ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 4-6 одиниць; — ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 7-9 одиниць

Результати замірів за допомогою мікроскопу представлені на рисунках 3.20-3.21.

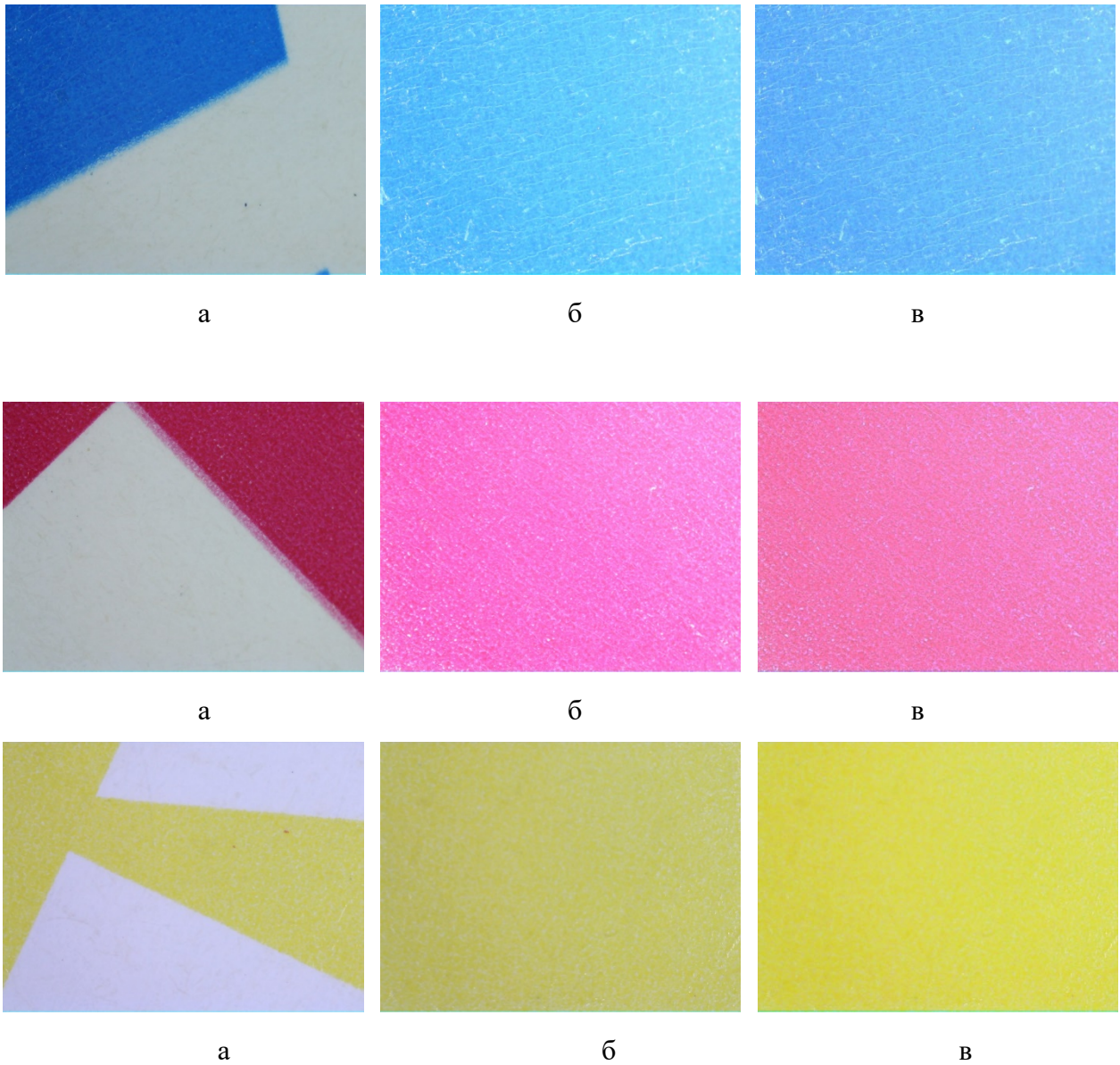


Рисунок 3.20 – Задрукована поверхня елементів маркерів до процесу дослідження:

а – область шрифтового елемента; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

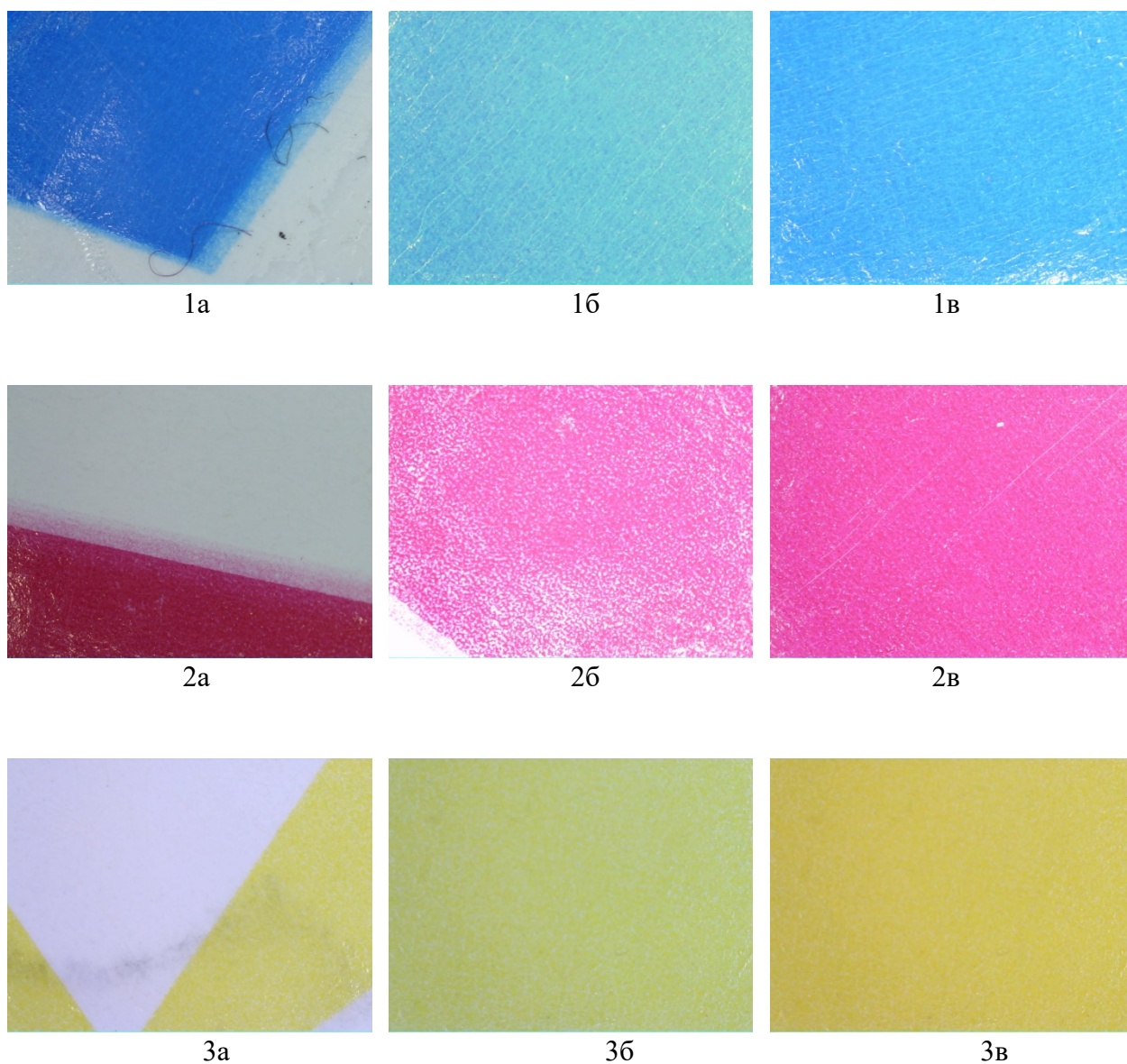


Рисунок 3.24 – Задрукована поверхня елементів маркерів після процесу дослідження:

а – область шрифтового елемента; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

Оцінюючи отримані результати можна зробити наступні висновки:

- насиченість кольорів значно зменшилася під дією змінного сонячного освітлення (умови проведення експерименту – див. додаток Д) – у середньому на 15-20% протягом місяця-півтора. Зокрема це стосується жовтого кольору, що найбільше втрачає в кольорі – до 20%;

- показник L (світлота) зменшився на 10-15% для всіх кольорів протягом місяця, а, отже, кольори стали більш тьманими та відрізнятися від цифрового оригіналу, що призвело до ускладнення їх зчитування (час на сканування зростає на 25-30% із 25-30 дня дослідження).
- показники a та b зменшилися в середньому на 10-15% для всіх відтінків до 35-40 дня досліджуваного періоду, що свідчить про зміну відтінку;
- з'явилося значне пожовтіння матеріалу (почало спостерігатися через два тижні дослідження);
- бруд на поверхні скла, під яким знаходиться матеріал з AR-маркером, суттєво впливав на розпізнавання маркерів, оскільки додатковий бруд створює додаткові елементи на поверхні маркеру при віддаленому зчитування його (130 см), що спотворює його форму, внаслідок чого він став відмінним від цифрового оригіналу та зчитувався із певними затримками (підтверджується збільшеним часом дослідження у порівнянні з такими ж зразками в таких же умовах, що віддруковані на інших матеріалах);
- спостерігалася неможливість взаємодії з цифровим контентом – наприклад, відсутність реакції від кнопок на дії з ними або програвання відео через зависання системи при розпізнаванні (до 5 випадків на кожні 20 досліджень) через можливі спотворення при відповідному куті розпізнавання;
- на поверхні скла відтворювалися тіні та відблиски від зовнішнього середовища, що створюються додаткові спотворення на поверхні маркеру, що знову ж таки призводило до неможливості та складності його відтворення;
- для світлих відтінків (жовтий, пурпуровий) спостерігалася додаткове почорніння матеріалу під дією вологи в межах маркеру (вже починаючи з 3 тижня дослідження), що додатково змінювало відтінок та ускладнювало зчитування (див. рис. 3.24 (2а, 3а));
- маркери, що знаходилися за скляним захисним елементом змінювали свою площинність під дією вологи, в наслідок чого в межах маркеру з'явилися

додаткові загиби, що теж призводило до ускладнення зчитування, особливо з відстані 130 см.

Зважаючи на все вище сказане та отримані результати можна зробити висновок, що при друці продукції плоским офсетним способом, рекомендовано використовувати маркери у відтінках, колірний контраст яких становить не менше 3 при експлуатації продукції до одного місяця без використання захисного елементу; при експлуатації більше одного місяця – 8:1 (як при наявності захисного елементу, так і без нього).

3.2.2. Визначення раціонального кольору маркерів доповненої реальності для білбордів

Аналогічне початкове дослідження було проведене й для білбордів з визначення можливості віддруковування маркерів у кольорі та їх подальшої експлуатації. Було встановлено, що з відстані 130 см зчитуються маркери у блакитному та пурпуровому відтінках у розмірі 230 мм, а з відстані 330 см – у блакитному та пурпуровому у розмірі 280 мм. Маркери жовтого кольору не зчитувалися.

Результати початкових вимірювань занесені у таблицю 3.32.

Таблиця 3.32 – Початкові колірні характеристики матеріалу

№	Досліджуваний елемент	Колірні характеристики			Оптична густина
		L	a	b	
1	Білість матеріалу	90,24	-0,87	-0,95	0,11
Відтворення кольорів					
1	Cyan	57,85	-29,11	-38,11	0,59
2	Magenta	51,30	53,44	-1,71	0,71

Результати досліджень змін колірних координат по завершенню даного етапу дослідження наведені у таблицях 3.33-3.35.

Таблиця 3.33 – Колірні зміни показників матеріалу

№	Матеріал	Колірні характеристики									ΔE		
		L			a			b					
		поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.	поч.	сер.	кін.
1	Банерна тканина	90,57	90,51	90,25	-2,30	-2,17	-2,20	1,30	1,42	1,15	2,69	2,72	2,49



Таблиця 3.34 – Результати дослідження колірних змін маркерів

№	Колір	Колірні характеристики						ΔE	Колірний контраст		
		L		a		b					
		Розмір маркеру, мм									
		230	280	230	280	230	280	230	280	230	280
Початок дослідження – 10-20 днів											
1	Cyan	55,97	57,47	-30,36	-32,36	-39,47	-36,47	2,64	3,66	2,59	2,51
2	Magenta	53,02	51,02	53,05	54,05	-3,73	-1,73	2,68	2,67	3,17	3,47
Середина дослідження – 50-60 днів											
1	Cyan	66,83	61,83	-28,15	-22,85	-41,05	-51,05	9,50	14,92	1,88	2,15
2	Magenta	54,65	54,65	57,62	57,61	-16,99	-13,92	16,19	13,33	2,94	2,94
Кінець дослідження – 100-120 днів											
1	Cyan	69,39	66,19	-23,11	-13,10	-51,97	-55,97	19,01	25,39	1,76	1,97
2	Magenta	65,22	59,44	58,56	64,56	-18,66	-16,66	22,52	20,33	2,10	2,56

Таблиця 3.35 – Часові заміри та відмови при зчитуванні маркерів

№	Колір	Середній час на розпізнавання маркерів, с		Середня кількість відмов за період	
		Відстань зчитування, см			
		130	330	130	330
Початок дослідження – 10-20 днів					
1	Cyan	4,99	4,26	25	30
2	Magenta	4,55	4,01	20	35
Середина дослідження – 50-60 днів					
1	Cyan	7,55	6,25	50	70
2	Magenta	8,01	5,99	75	90
Кінець дослідження – 100-120 днів					
1	Cyan	15,96	10,25	100	95
2	Magenta	Не зчитувався	16,97	125	110

Відповідно до отриманих показників колірного спотворення було побудовано наступні залежності зміни кольору зразків протягом періоду дослідження із зазначенням кількості відмов у відповідний період, що представлені на рисунку 3.25

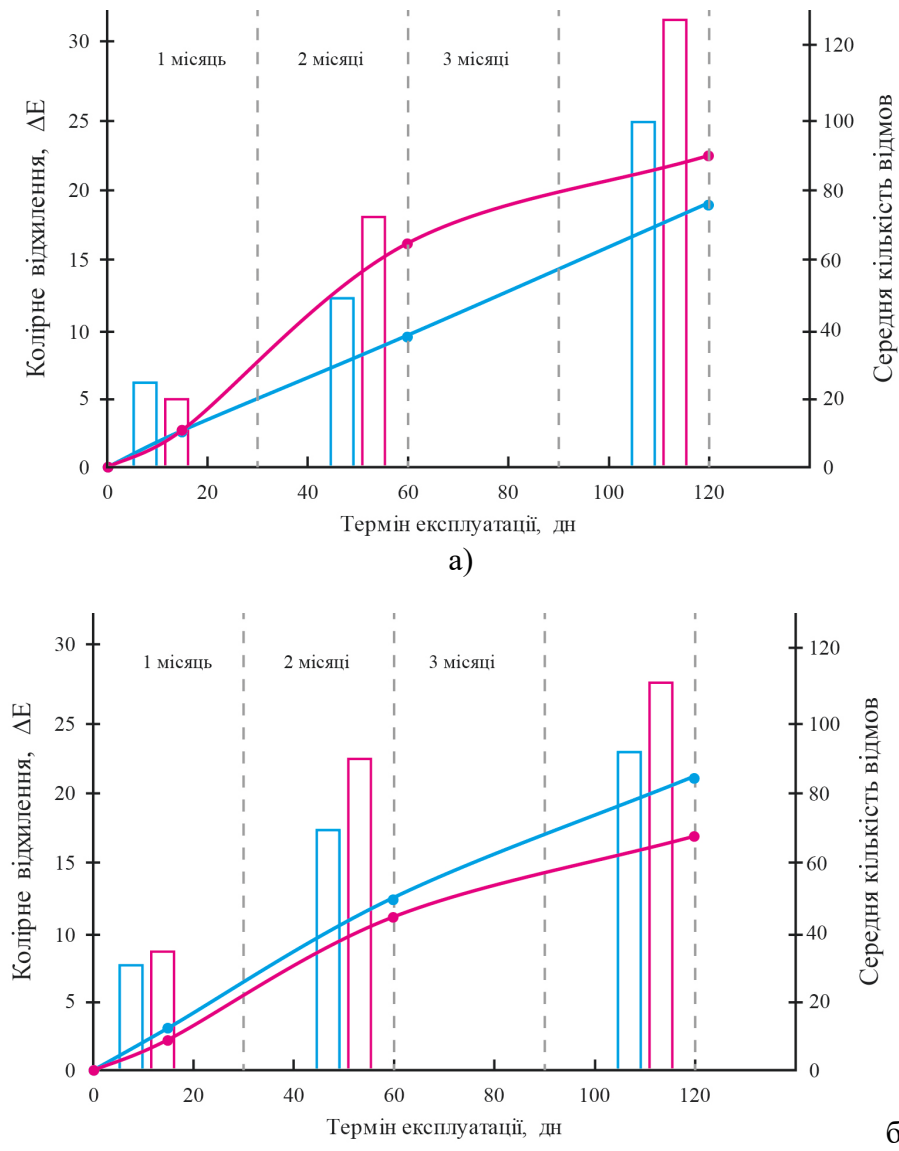


Рисунок 3.25 – Зміна колірних характеристик досліджуваних зразків, віддрукованих на банерній тканині:

а – зчитування маркерів розміром 230 мм на відстані 130 см; б – зчитування маркерів розміром 280 мм на відстані 330 см

□ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 2-3 одиниці; □ – середня кількість відмов для маркеру з колірним контрастом 4-5 одиниць;

— ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 2-3 одиниці;  
 — ймовірність появи відмов для маркеру з колірним контрастом 4-5 одиниць

Оцінюючи отримані результати, можна зробити висновок, що маркери на банерній тканині не витримали значного впливу зовнішніх умов та мали різке погіршення колірних характеристик вже через місяць використання. Це було помітно також візуально – для зразків було характерним поява додаткового вицвітання «смугами» в межах маркеру, що ускладнювало його зчитування та програвання контенту. Крім того, спостерігалася значна зміна колірного контрасту (на 15% за 1,5-2 місяці). Також було відмічено, що для зчитування зразків треба в середньому вдвічі більше часу, ніж для таких самих зразків, що надруковані на оракалі або папері.

Також зразки були візуально досліджені за допомогою мікроскопії. Заміри виконувалися на декількох важливих ділянках – рамка маркеру, суцільна частина рисунку маркеру, область шрифтового елементу. Результати представлені на рисунку 3.26.



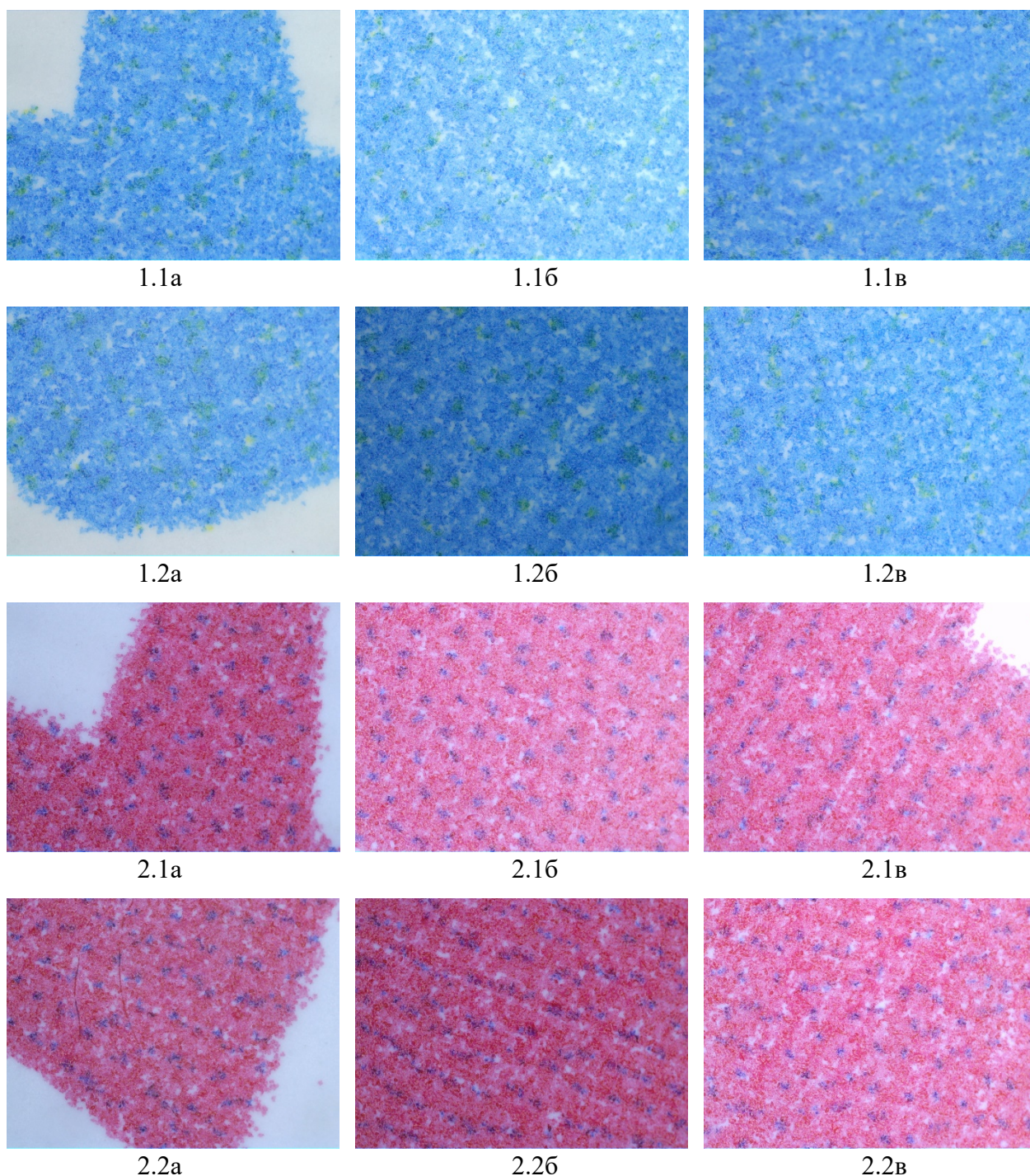


Рисунок 3.26 – Задрукована поверхня елементів маркерів до процесу дослідження:

1.1 – зразок блакитного кольору (до процесу дослідження); 1.2 – зразок блакитного кольору (після експерименту); 2.1 – зразок пурпурового кольору (до процесу дослідження); 2.2 – зразок пурпурового кольору (після експерименту);

а – область шрифтового елементу; б – суцільна частина рисунку маркеру;  
в – рамка маркеру

Після оцінювання отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

а) для всіх зразків через текстурованість матеріалу характерна нечіткість країв при отриманні відбитків, що призводило у подальшому до погіршення сприйняття маркеру камерою пристрою при порівнянні програмою отриманого відбитку з цифровим оригіналом;

б) для блакитного відтінку характерним є потемніння рисунку маркеру у ході експлуатації та посвітління країв, зокрема на рамці, що характеризує певну нерівномірність впливу зовнішніх умов та показників матеріалу на результат, що підтверджується колірними відхиленнями у цей період;

г) для зразків характерне додаткове «полосіння» – колір вицвітає смугами вздовж рисунку маркеру. Цей дефект починає проявлятися вже через місяць дослідження;

д) зразки блакитного та пурпурового відтінків майже не відтворювались при високому рівні освітленості (до 10000 лк).

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок, що:

1. Для білбордів, що використовуватимуться максимум 1 місяць можливе відтворення маркерів у кольорах, колірний контраст яких з фоном складає не менше 2,5:1.

2. Для білбордів, що використовуватимуться більше одного місяць, раціонально відтворення маркерів у кольорах, колірний контраст яких з фоном складає не менше 7:1.

### 3.3. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності

3.3.1. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності для сітілайтів та плакатів

3.3.1.1. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності, що віддруковані цифровим способом друку

Так само, як і для попередніх етапів, було проведено попереднє дослідження в рамках тієї фізичної моделі (див. рис. 3.1-3.2). Було встановлено, що з відстані 50 см зчитуються маркери зі ступенем деталізації 70-80% та 10-20% у розмірах 80 × 80 мм та 130 × 130 мм. Із відстані 130 см зчитувалися того ж ступеня деталізації у розмірі 280 × 280 мм. Протягом дослідження було отримано наступні результати по часу

зчитування маркерів, що наведені у таблиці 3.36-3.37 на основі [4]. Наступним кроком було виконано статистичне опрацювання даних відповідно до методики, описаної у підрозділі 2.8. Результати наведені у таблицях 3.38-3.40, враховуючи результати [4]. Маркери досліджувалися в тих умовах, що були визначені для відповідного розміру (див. пункт 3.1.1). Також було побудовано графічні залежності для аналізу отриманих результатів (див. рис. 3.27-3.29).

Таблиця 3.36 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої мінімальної відстані (50 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с		Отримані результати (середні значення), с					
				Похмурий день		Перемінна хмарність		Сонячний день	
		Ступінь деталізації рисунку маркеру, %							
		70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20
Відсутність захисного елементу									
1	80 × 80	3,98	4,95	3,95	5,30	4,99	5,25	13,02	Не зчитувався
2	130 × 130	3,66	4,48	Наявність захисного елементу (скло)					
				3,55	5,05	6,02	7,59	15,20	Не зчитувався
				Відсутність захисного елементу					
				4,02	5,25	4,37	6,23	5,99	9,12

Таблиця 3.37 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої максимальної відстані (130 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с		Отримані результати (середні значення), с					
				Похмурий день		Перемінна хмарність		Сонячний день	
		Ступінь деталізації рисунку маркеру, %							
		70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20
		Наявність захисного елементу (скло)							
1	280 × 280	3,29	4,89	6,02	7,00	8,39	9,01	15,12	18,29
				Відсутність захисного елементу					
				4.99	5.35	6.39	7.59	10.12	20.20

Після порівняння та оцінювання отриманих результатів, було зроблено висновок, що маркери з більшим та меншим рівнем деталізації (у порівнянні з 40-50%) мали значно більший час на зчитування (на 3-5 с в середньому у залежності від умов освітлення) як при меншій відстані зчитування (50 см), так і при великій (130 см), а також можна відмітити значний вплив освітленості, оскільки при його високому рівні (до 10000 люксів) маркери взагалі незчитувалися як при наявності захисного елементу, так і за його відсутності.

Таблиця 3.38 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (без наявності захисного елементу)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи						
					70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %				
					Розмір маркеру, мм																		
80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130				
Похмурий день – 10-20% освітлення																							
1	7	4	140	25	25	25	25	0,0382	0,0407	0,0360	0,0397	0,1786	0,1786	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214				
8	14	11		25	25	25	30	0,0382	0,0407	0,0360	0,0476	0,1786	0,1786	0,1786	0,2143	0,8214	0,8214	0,8214	0,7857				
15	21	18		35	25	35	25	0,0534	0,0407	0,0504	0,0397	0,2500	0,1786	0,2500	0,1786	0,7500	0,8214	0,7500	0,8214				
22	28	25		40	40	35	40	0,0611	0,0650	0,0504	0,0635	0,2857	0,2857	0,2500	0,2857	0,7143	0,7143	0,7500	0,7143				
29	35	32		30	30	30	30	0,0458	0,0488	0,0432	0,0476	0,2143	0,2143	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857	0,7857	0,7857				
36	42	39		35	35	35	35	0,0534	0,0569	0,0504	0,0556	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500				
43	49	46		35	35	35	35	0,0534	0,0569	0,0504	0,0556	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500				
50	56	53		35	35	35	40	0,0534	0,0569	0,0504	0,0635	0,2500	0,2500	0,2500	0,2857	0,7500	0,7500	0,7500	0,7143				
57	63	60		35	35	50	35	0,0534	0,0569	0,0719	0,0556	0,2500	0,2500	0,3571	0,2500	0,7500	0,7500	0,6429	0,7500				
64	70	67		45	35	45	35	0,0687	0,0569	0,0647	0,0556	0,3214	0,2500	0,3214	0,2500	0,6786	0,7500	0,6786	0,7500				
71	77	74		45	35	50	35	0,0687	0,0569	0,0719	0,0556	0,3214	0,2500	0,3571	0,2500	0,6786	0,7500	0,6429	0,7500				
78	84	81		35	35	60	35	0,0534	0,0569	0,0863	0,0556	0,2500	0,2500	0,4286	0,2500	0,7500	0,7500	0,5714	0,7500				
85	91	88		35	35	35	35	0,0534	0,0569	0,0504	0,0556	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500				
92	98	95		50	50	50	50	0,0763	0,0813	0,0719	0,0794	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429				
99	105	102		50	45	50	45	0,0763	0,0732	0,0719	0,0714	0,3571	0,3214	0,3571	0,3214	0,6429	0,6786	0,6429	0,6786				
106	112	109	50	50	50	50	0,0763	0,0813	0,0719	0,0794	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429					
113	120	116,5	50	45	50	50	0,0763	0,0732	0,0719	0,0794	0,3571	0,3214	0,3571	0,3571	0,6429	0,6786	0,6429	0,6429					
Σ				655	615	695	630	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000												
Математичне очікування								188,3929				165,8929				215,1786				173,9286			
Дисперсія								66,9550				57,4394				100,6920				58,9965			
Середньоквадратичне відхилення								8,1826				7,5789				10,0345				7,6809			
Коефіцієнт варіації								22%				22%				25%				21%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення																							
1	7	4	140	35	35	35	35	0,0455	0,0470	0,0458	0,0476	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500				
8	14	11		35	35	40	40	0,0455	0,0470	0,0523	0,0544	0,2500	0,2500	0,2857	0,2857	0,7500	0,7500	0,7143	0,7143				
15	21	18		45	35	40	40	0,0584	0,0470	0,0523	0,0544	0,3214	0,2500	0,2857	0,2857	0,6786	0,7500	0,7143	0,7143				
22	28	25		45	45	45	40	0,0584	0,0604	0,0588	0,0544	0,3214	0,3214	0,3214	0,2857	0,6786	0,6786	0,6786	0,7143				
29	35	32		45	45	45	45	0,0584	0,0604	0,0588	0,0612	0,3214	0,3214	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	0,6786	0,6786				
36	42	39		45	40	40	40	0,0584	0,0537	0,0523	0,0544	0,3214	0,2857	0,2857	0,2857	0,6786	0,7143	0,7143	0,7143				
43	49	46		50	50	50	50	0,0649	0,0671	0,0654	0,0680	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429				
50	56	53		45	45	50	50	0,0584	0,0604	0,0654	0,0680	0,3214	0,3214	0,3571	0,3571	0,6786	0,6786	0,6429	0,6429				

Продовження таблиці 3.38

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи							
				70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %					
				Розмір маркеру, мм																			
				80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130				
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення																							
57	63	60	140	45	40	40	40	0,0584	0,0537	0,0523	0,0544	0,3214	0,2857	0,2857	0,2857	0,6786	0,7143	0,7143	0,7143				
64	70	67		45	45	45	45	0,0584	0,0604	0,0588	0,0612	0,3214	0,3214	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	0,6786	0,6786				
71	77	74		45	45	50	50	0,0584	0,0604	0,0654	0,0680	0,3214	0,3214	0,3571	0,3571	0,6786	0,6786	0,6429	0,6429				
78	84	81		45	45	45	40	0,0584	0,0604	0,0588	0,0544	0,3214	0,3214	0,3214	0,2857	0,6786	0,6786	0,6786	0,7143				
85	91	88		50	50	50	50	0,0649	0,0671	0,0654	0,0680	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429				
92	98	95		50	45	45	45	0,0649	0,0604	0,0588	0,0612	0,3571	0,3214	0,3214	0,3214	0,6429	0,6786	0,6786	0,6786				
99	105	102		45	45	45	45	0,0584	0,0604	0,0588	0,0612	0,3214	0,3214	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	0,6786	0,6786				
106	112	109		50	50	50	40	0,0649	0,0671	0,0654	0,0544	0,3571	0,3571	0,3571	0,2857	0,6429	0,6429	0,6429	0,7143				
113	120	116,5		50	50	50	40	0,0649	0,0671	0,0654	0,0544	0,3571	0,3571	0,3571	0,2857	0,6429	0,6429	0,6429	0,7143				
Σ				770	745	765	735	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000												
Математичне очікування								251,4286				236,2500				248,3929				229,4643			
Дисперсія								19,0311				25,0865				20,5882				20,4152			
Середньоквадратичне відхилення								4,3625				5,0086				4,5374				4,5183			
Коефіцієнт варіації								10%				12%				10%				11%			
Сонячний день – 90-100% освітлення																							
1	7	4	140	60	50	100	60	0,0482	0,0441	0,0515	0,0399	0,4286	0,3571	0,7143	0,4286	0,5714	0,6429	0,2857	0,5714				
8	14	11		60	45	100	70	0,0482	0,0396	0,0515	0,0465	0,4286	0,3214	0,7143	0,5000	0,5714	0,6786	0,2857	0,5000				
15	21	18		65	65	120	80	0,0522	0,0573	0,0619	0,0532	0,4643	0,4643	0,8571	0,5714	0,5357	0,5357	0,1429	0,4286				
22	28	25		60	60	120	80	0,0482	0,0529	0,0619	0,0532	0,4286	0,4286	0,8571	0,5714	0,5714	0,5714	0,1429	0,4286				
29	35	32		65	65	100	80	0,0522	0,0573	0,0515	0,0532	0,4643	0,4643	0,7143	0,5714	0,5357	0,5357	0,2857	0,4286				
36	42	39		60	60	100	80	0,0482	0,0529	0,0515	0,0532	0,4286	0,4286	0,7143	0,5714	0,5714	0,5714	0,2857	0,4286				
43	49	46		65	65	120	85	0,0522	0,0573	0,0619	0,0565	0,4643	0,4643	0,8571	0,6071	0,5357	0,5357	0,1429	0,3929				
50	56	53		60	60	110	85	0,0482	0,0529	0,0567	0,0565	0,4286	0,4286	0,7857	0,6071	0,5714	0,5714	0,2143	0,3929				
57	63	60		70	50	110	85	0,0562	0,0441	0,0567	0,0565	0,5000	0,3571	0,7857	0,6071	0,5000	0,6429	0,2143	0,3929				
64	70	67		70	70	110	80	0,0562	0,0617	0,0567	0,0532	0,5000	0,5000	0,7857	0,5714	0,5000	0,5000	0,2143	0,4286				
71	77	74		70	45	110	90	0,0562	0,0396	0,0567	0,0598	0,5000	0,3214	0,7857	0,6429	0,5000	0,6786	0,2143	0,3571				
78	84	81		70	50	110	100	0,0562	0,0441	0,0567	0,0664	0,5000	0,3571	0,7857	0,7143	0,5000	0,6429	0,2143	0,2857				
85	91	88		70	70	110	110	0,0562	0,0617	0,0567	0,0731	0,5000	0,5000	0,7857	0,7857	0,5000	0,5000	0,2143	0,2143				
92	98	95		100	80	100	110	0,0803	0,0705	0,0515	0,0731	0,7143	0,5714	0,7143	0,7857	0,2857	0,4286	0,2857	0,2143				
99	105	102		100	100	140	110	0,0803	0,0881	0,0722	0,0731	0,7143	0,7143	1,0000	0,7857	0,2857	0,2857	0,0000	0,2143				
106	112	109		100	100	140	110	0,0803	0,0881	0,0722	0,0731	0,7143	0,7143	1,0000	0,7857	0,2857	0,2857	0,0000	0,2143				
113	120	116,5		100	100	140	90	0,0803	0,0881	0,0722	0,0598	0,7143	0,7143	1,0000	0,6429	0,2857	0,2857	0,0000	0,3571				

Кінець таблиці 3.38

Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи							
			70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %					
			Розмір маркеру, мм																			
			80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130				
Сонячний день – 90-100% освітлення																						
Σ			1245	1135	1940	1505	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000												
Математичне очікування							679,8214				580,1786				1604,2857				976,9643			
Дисперсія							235,1211				320,4152				188,9273				208,1315			
Середньоквадратичне відхилення							15,3337				17,9001				13,7451				14,4268			
Коефіцієнт варіації							22%				28%				12%				17%			

Таблиця 3.39 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (при наявності захисного елемента)

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
				Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	30	30	0,0458	0,0432	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857
8	14	11		30	30	0,0458	0,0432	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857
15	21	18		30	35	0,0458	0,0504	0,2143	0,2500	0,7857	0,7500
22	28	25		30	40	0,0458	0,0576	0,2143	0,2857	0,7857	0,7143
29	35	32		30	40	0,0458	0,0576	0,2143	0,2857	0,7857	0,7143
36	42	39		35	40	0,0534	0,0576	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143
43	49	46		35	40	0,0534	0,0576	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143
50	56	53		40	40	0,0611	0,0576	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
57	63	60		40	40	0,0611	0,0576	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
64	70	67		40	40	0,0611	0,0576	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
71	77	74		40	35	0,0611	0,0504	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500
78	84	81		40	35	0,0611	0,0504	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500
85	91	88		35	50	0,0534	0,0719	0,2500	0,3571	0,7500	0,6429
92	98	95		50	50	0,0763	0,0719	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
99	105	102		50	50	0,0763	0,0719	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
106	112	109		50	50	0,0763	0,0719	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
113	120	116,5		50	50	0,0763	0,0719	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
Σ				655	695	1.0000	1.0000				



Продовження таблиці 3.39

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
					Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Математичне очікування					186,9643				208,3929			
Дисперсія					55,1903				44,8097			
Середньоквадратичне відхилення					7,4290				6,6940			
Коефіцієнт варіації					20%				17%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	35	35	0,0400	0,0333	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
8	14	11		35	35	0,0400	0,0333	0,2500	0,2500	0,7500	0,7500	
15	21	18		50	50	0,0571	0,0476	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
22	28	25		50	50	0,0571	0,0476	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
29	35	32		50	60	0,0571	0,0571	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714	
36	42	39		70	60	0,0800	0,0571	0,5000	0,4286	0,5000	0,5714	
43	49	46		50	60	0,0571	0,0571	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714	
50	56	53		50	60	0,0571	0,0571	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714	
57	63	60		45	75	0,0514	0,0714	0,3214	0,5357	0,6786	0,4643	
64	70	67		45	75	0,0514	0,0714	0,3214	0,5357	0,6786	0,4643	
71	77	74		45	75	0,0514	0,0714	0,3214	0,5357	0,6786	0,4643	
78	84	81		50	75	0,0571	0,0714	0,3571	0,5357	0,6429	0,4643	
85	91	88		50	75	0,0571	0,0714	0,3571	0,5357	0,6429	0,4643	
92	98	95		60	75	0,0686	0,0714	0,4286	0,5357	0,5714	0,4643	
99	105	102		60	60	0,0686	0,0571	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
106	112	109		70	70	0,0800	0,0667	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
113	120	116,5	60	60	0,0686	0,0571	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714		
Σ				875	1050	1,0000	1,0000					
Математичне очікування					333,0357				483,5714			
Дисперсія					93,4256				167,4740			
Середньоквадратичне відхилення					9,6657				12,9412			
Коефіцієнт варіації					19%				22%			
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	50	90	0,0386	0,0417	0,3571	0,6429	0,6429	0,3571	
8	14	11		70	110	0,0541	0,0509	0,5000	0,7857	0,5000	0,2143	
15	21	18		70	100	0,0541	0,0463	0,5000	0,7143	0,5000	0,2857	
22	28	25		70	110	0,0541	0,0509	0,5000	0,7857	0,5000	0,2143	
29	35	32		70	140	0,0541	0,0648	0,5000	1,0000	0,5000	0,0000	
36	42	39		70	120	0,0541	0,0556	0,5000	0,8571	0,5000	0,1429	

Кінець таблиці 3.39

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
				Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Сонячний день – 90-100% освітлення											
43	49	46	140	70	130	0,0541	0,0602	0,5000	0,9286	0,5000	0,0714
50	56	53		70	130	0,0541	0,0602	0,5000	0,9286	0,5000	0,0714
57	63	60		60	130	0,0463	0,0602	0,4286	0,9286	0,5714	0,0714
64	70	67		70	130	0,0541	0,0602	0,5000	0,9286	0,5000	0,0714
71	77	74		60	130	0,0463	0,0602	0,4286	0,9286	0,5714	0,0714
78	84	81		80	140	0,0618	0,0648	0,5714	1,0000	0,4286	0,0000
85	91	88		90	140	0,0695	0,0648	0,6429	1,0000	0,3571	0,0000
92	98	95		95	140	0,0734	0,0648	0,6786	1,0000	0,3214	0,0000
99	105	102		100	140	0,0772	0,0648	0,7143	1,0000	0,2857	0,0000
106	112	109		100	140	0,0772	0,0648	0,7143	1,0000	0,2857	0,0000
113	120	116,5		100	140	0,0772	0,0648	0,7143	1,0000	0,2857	0,0000
Σ				1295	2160	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						731,6071			1988,5714		
Дисперсія						222,1453			232,5260		
Середньоквадратичне відхилення						14,9045			15,2488		
Коефіцієнт варіації						20%			12%		

Таблиця 3.40 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи			
				70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %	
				Наявність захисного елементу															
				є	немає	є	немає	є	немає	є	немає	є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
Похмурий день – 10-20% освітлення																			
1	7	4	140	47	27	45	35	0,0448	0,0375	0,0425	0,0391	0,3357	0,1929	0,3214	0,2500	0,6643	0,8071	0,6786	0,7500
8	14	11		42	27	48	35	0,0400	0,0375	0,0453	0,0391	0,3000	0,1929	0,3429	0,2500	0,7000	0,8071	0,6571	0,7500
15	21	18		54	33	51	34	0,0514	0,0458	0,0481	0,0380	0,3857	0,2357	0,3643	0,2429	0,6143	0,7643	0,6357	0,7571
22	28	25		54	30	51	34	0,0514	0,0417	0,0481	0,0380	0,3857	0,2143	0,3643	0,2429	0,6143	0,7857	0,6357	0,7571
29	35	32		57	33	57	34	0,0543	0,0458	0,0538	0,0380	0,4071	0,2357	0,4071	0,2429	0,5929	0,7643	0,5929	0,7571
36	42	39		51	33	63	40	0,0486	0,0458	0,0594	0,0447	0,3643	0,2357	0,4500	0,2857	0,6357	0,7643	0,5500	0,7143
43	49	46		60	36	60	45	0,0571	0,0500	0,0566	0,0503	0,4286	0,2571	0,4286	0,3214	0,5714	0,7429	0,5714	0,6786

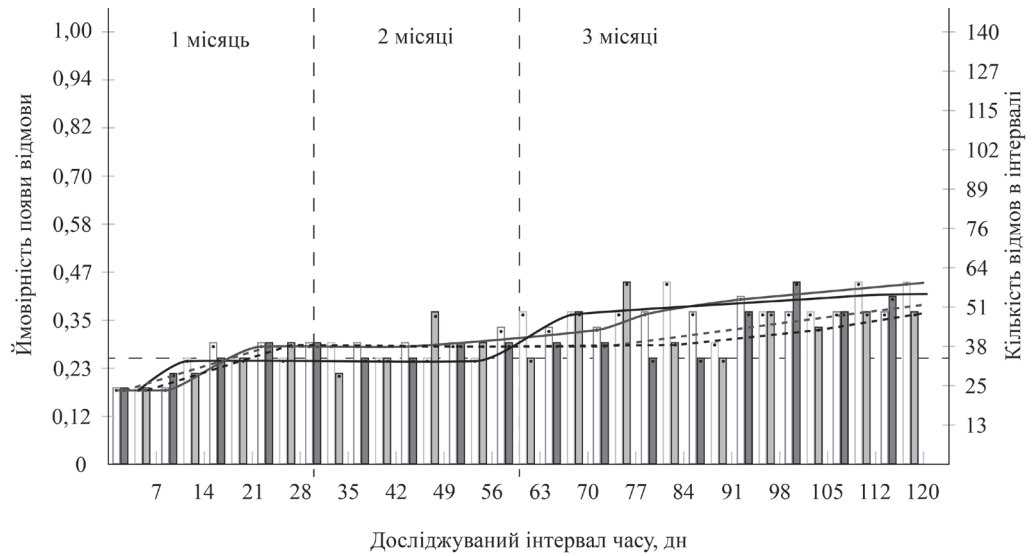


Продовження таблиці 3.40

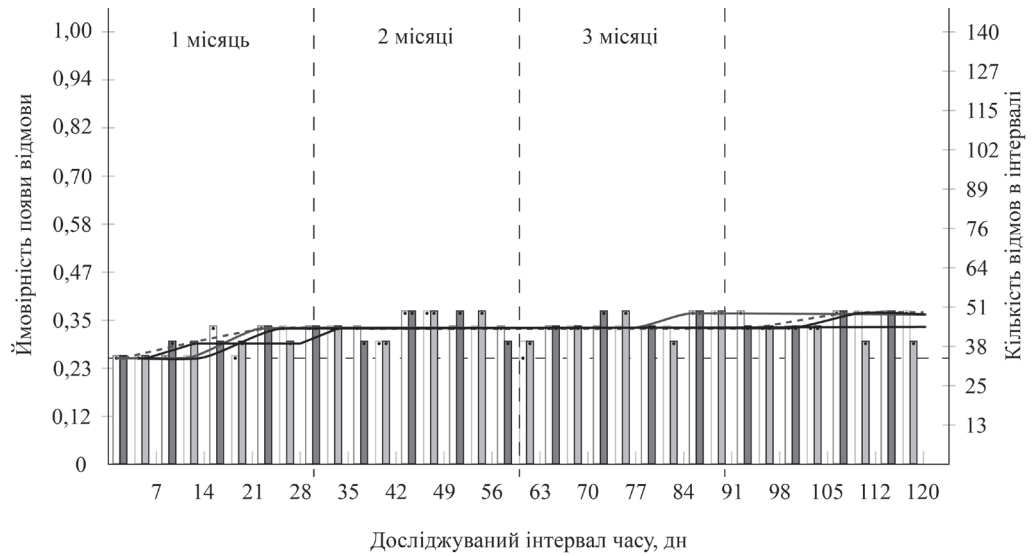
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи						
					70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %				
					Розмір маркеру, мм																		
					€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає			
Похмурий день – 10-20% освітлення																							
50	56	53	140	60	42	60	55	0,0571	0,0583	0,0566	0,0615	0,4286	0,3000	0,4286	0,3929	0,5714	0,7000	0,5714	0,6071				
57	63	60		54	42	60	55	0,0514	0,0583	0,0566	0,0615	0,3857	0,3000	0,4286	0,3929	0,6143	0,7000	0,5714	0,6071				
64	70	67		63	42	63	60	0,0600	0,0583	0,0594	0,0670	0,4500	0,3000	0,4500	0,4286	0,5500	0,7000	0,5500	0,5714				
71	77	74		63	54	57	63	0,0600	0,0750	0,0538	0,0704	0,4500	0,3857	0,4071	0,4500	0,5500	0,6143	0,5929	0,5500				
78	84	81		63	54	63	69	0,0600	0,0750	0,0594	0,0771	0,4500	0,3857	0,4500	0,4929	0,5500	0,6143	0,5500	0,5071				
85	91	88		69	48	75	63	0,0657	0,0667	0,0708	0,0704	0,4929	0,3429	0,5357	0,4500	0,5071	0,6571	0,4643	0,5500				
92	98	95		69	54	75	63	0,0657	0,0750	0,0708	0,0704	0,4929	0,3857	0,5357	0,4500	0,5071	0,6143	0,4643	0,5500				
99	105	102		75	54	78	72	0,0714	0,0750	0,0736	0,0804	0,5357	0,3857	0,5571	0,5143	0,4643	0,6143	0,4429	0,4857				
106	112	109		84	54	75	69	0,0800	0,0750	0,0708	0,0771	0,6000	0,3857	0,5357	0,4929	0,4000	0,6143	0,4643	0,5071				
113	120	116,5		85	57	79	69	0,0810	0,0792	0,0745	0,0771	0,6071	0,4071	0,5643	0,4929	0,3929	0,5929	0,4357	0,5071				
Σ				1050	720	1060	895	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000												
Математичне очікування								479,3286				231,0429				485,2571				361,1929			
Дисперсія								132,5329				108,9343				108,3460				202,8166			
Середньоквадратичне відхилення								11,5123				10,4372				10,4089				14,2414			
Коефіцієнт варіації								19%				25%				17%				28%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення																							
1	7	4	140	45	36	50	35	0,0372	0,0330	0,0398	0,0294	0,3214	0,2571	0,3571	0,2500	0,6786	0,7429	0,6429	0,7500				
8	14	11		51	36	54	36	0,0421	0,0330	0,0430	0,0303	0,3643	0,2571	0,3857	0,2571	0,6357	0,7429	0,6143	0,7429				
15	21	18		54	35	54	40	0,0446	0,0321	0,0430	0,0336	0,3857	0,2500	0,3857	0,2857	0,6143	0,7500	0,6143	0,7143				
22	28	25		75	35	75	51	0,0620	0,0321	0,0598	0,0429	0,5357	0,2500	0,5357	0,3643	0,4643	0,7500	0,4643	0,6357				
29	35	32		75	47	75	54	0,0620	0,0431	0,0598	0,0454	0,5357	0,3357	0,5357	0,3857	0,4643	0,6643	0,4643	0,6143				
36	42	39		54	51	54	57	0,0446	0,0468	0,0430	0,0479	0,3857	0,3643	0,3857	0,4071	0,6143	0,6357	0,6143	0,5929				
43	49	46		57	57	57	69	0,0471	0,0523	0,0454	0,0580	0,4071	0,4071	0,4071	0,4929	0,5929	0,5929	0,5929	0,5071				
50	56	53		63	63	60	72	0,0521	0,0578	0,0478	0,0605	0,4500	0,4500	0,4286	0,5143	0,5500	0,5500	0,5714	0,4857				
57	63	60		75	72	75	69	0,0620	0,0661	0,0598	0,0580	0,5357	0,5143	0,5357	0,4929	0,4643	0,4857	0,4643	0,5071				
64	70	67		75	66	75	81	0,0620	0,0606	0,0598	0,0681	0,5357	0,4714	0,5357	0,5786	0,4643	0,5286	0,4643	0,4214				
71	77	74		75	87	90	87	0,0620	0,0798	0,0717	0,0731	0,5357	0,6214	0,6429	0,6214	0,4643	0,3786	0,3571	0,3786				
78	84	81		75	78	75	84	0,0620	0,0716	0,0598	0,0706	0,5357	0,5571	0,5357	0,6000	0,4643	0,4429	0,4643	0,4000				
85	91	88		75	81	90	100	0,0620	0,0743	0,0717	0,0840	0,5357	0,5786	0,6429	0,7143	0,4643	0,4214	0,3571	0,2857				
92	98	95		90	84	90	96	0,0744	0,0771	0,0717	0,0807	0,6429	0,6000	0,6429	0,6857	0,3571	0,4000	0,3571	0,3143				
99	105	102		90	81	95	84	0,0744	0,0743	0,0757	0,0706	0,6429	0,5786	0,6786	0,6000	0,3571	0,4214	0,3214	0,4000				
106	112	109		90	87	90	84	0,0744	0,0798	0,0717	0,0706	0,6429	0,6214	0,6429	0,6000	0,3571	0,3786	0,3571	0,4000				

Кінець таблиці 3.40

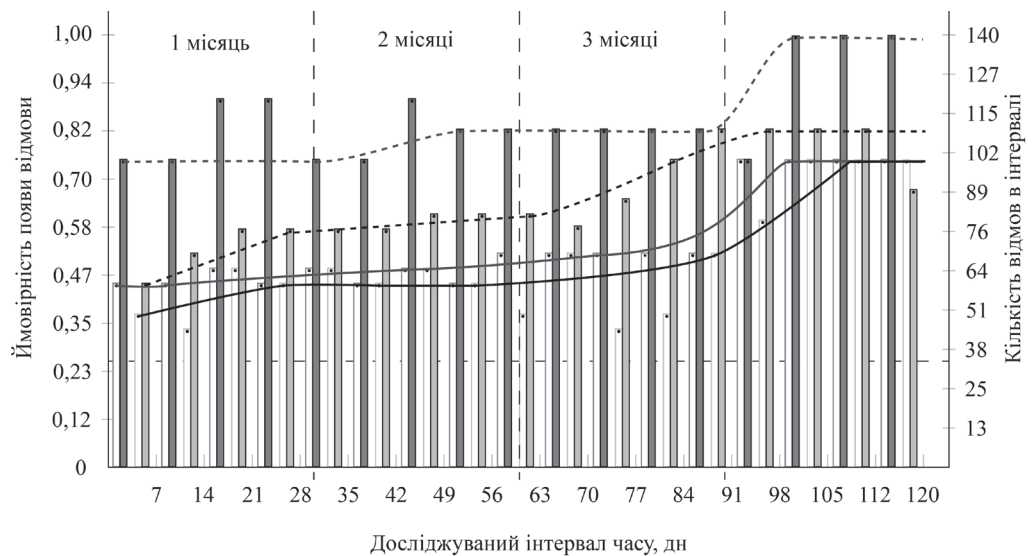
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання			Кількість досліджень			Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи			
									70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %	
									Розмір маркеру, мм															
									€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає	€	немає
Сонячний день – 90-100% освітлення																								
113	120	116,5	140	91	94	96	91	0,0752	0,0862	0,0765	0,0765	0,6500	0,6714	0,6857	0,6500	0,3500	0,3286	0,3143	0,3500					
Σ				1210	1090	1255	1190	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000													
Математичне очікування								640,2286				548,9000				691,8786				645,6286				
Дисперсія								206,3806				409,2803				247,9100				416,9412				
Середньоквадратичне відхилення								14,3660				20,2307				15,7452				20,4191				
Коефіцієнт варіації								21%				33%				22%				30%				
Сонячний день – 90-100% освітлення																								
1	7	4	140	68	57	85	75	0,0452	0,0489	0,0555	0,0478	0,4857	0,4071	0,6071	0,5357	0,5143	0,5929	0,3929	0,4643					
8	14	11		69	63	86	99	0,0458	0,0541	0,0562	0,0631	0,4929	0,4500	0,6143	0,7071	0,5071	0,5500	0,3857	0,2929					
15	21	18		69	60	86	87	0,0458	0,0515	0,0562	0,0554	0,4929	0,4286	0,6143	0,6214	0,5071	0,5714	0,3857	0,3786					
22	28	25		78	81	91	95	0,0518	0,0695	0,0594	0,0605	0,5571	0,5786	0,6500	0,6786	0,4429	0,4214	0,3500	0,3214					
29	35	32		78	57	91	82	0,0518	0,0489	0,0594	0,0522	0,5571	0,4071	0,6500	0,5857	0,4429	0,5929	0,3500	0,4143					
36	42	39		87	63	90	87	0,0578	0,0541	0,0588	0,0554	0,6214	0,4500	0,6429	0,6214	0,3786	0,5500	0,3571	0,3786					
43	49	46		96	63	90	99	0,0638	0,0541	0,0588	0,0631	0,6857	0,4500	0,6429	0,7071	0,3143	0,5500	0,3571	0,2929					
50	56	53		93	60	93	92	0,0618	0,0515	0,0607	0,0586	0,6643	0,4286	0,6643	0,6571	0,3357	0,5714	0,3357	0,3429					
57	63	60		96	66	93	93	0,0638	0,0567	0,0607	0,0592	0,6857	0,4714	0,6643	0,6643	0,3143	0,5286	0,3357	0,3357					
64	70	67		98	66	95	93	0,0651	0,0567	0,0621	0,0592	0,7000	0,4714	0,6786	0,6643	0,3000	0,5286	0,3214	0,3357					
71	77	74		92	69	95	94	0,0611	0,0592	0,0621	0,0599	0,6571	0,4929	0,6786	0,6714	0,3429	0,5071	0,3214	0,3286					
78	84	81		100	69	89	94	0,0664	0,0592	0,0581	0,0599	0,7143	0,4929	0,6357	0,6714	0,2857	0,5071	0,3643	0,3286					
85	91	88		100	78	88	94	0,0664	0,0670	0,0575	0,0599	0,7143	0,5571	0,6286	0,6714	0,2857	0,4429	0,3714	0,3286					
92	98	95		95	84	87	94	0,0631	0,0721	0,0568	0,0599	0,6786	0,6000	0,6214	0,6714	0,3214	0,4000	0,3786	0,3286					
99	105	102	94	69	80	97	0,0625	0,0592	0,0523	0,0618	0,6714	0,4929	0,5714	0,6929	0,3286	0,5071	0,4286	0,3071						
106	112	109	94	72	96	97	0,0625	0,0618	0,0627	0,0618	0,6714	0,5143	0,6857	0,6929	0,3286	0,4857	0,3143	0,3071						
113	120	116,5	98	88	95	98	0,0651	0,0755	0,0621	0,0624	0,7000	0,6286	0,6786	0,7000	0,3000	0,3714	0,3214	0,3000						
Σ				1505	1165	1530	1560	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000													
Математичне очікування								966,6643				580,2071				985,7286				1040,3000				
Дисперсія								123,3080				81,8962				17,7647				38,1107				
Середньоквадратичне відхилення								11,1044				9,0497				4,2148				6,1734				
Коефіцієнт варіації								13%				14%				5%				7%				



а)



б)











в)

Рисунок 3.27 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при відсутності захисного елементу

Пояснення до рисунку 3.27:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

 – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;

 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%

Проаналізувавши отримані результати та порівнявши їх з аналогічними для маркерів зі ступенем деталізації 40-50% (див. пункт 3.1.2) можна зробити висновок, що досліджувані маркери при відсутності захисного елемента в розмірі  $130 \times 130$  мм мають значно менший час експлуатації – до одного місяця – та за умов невисокого рівня освітленості (до 6000 лк). У сонячний день (10000 лк) маркери не зчитувалися. У розмірі  $80 \times 80$  мм маркери не зчитувалися ні за яких умов.

Результати дослідження маркерів при наявності захисного елемента показали, що маркери з високим (70-80%) та низьким (10-20%) ступенем деталізації сильніше піддавалися впливу зовнішніх умов експлуатації, ніж без нього (див. рис. 3.27) – показник відмов становив 50-60 одиниць в середньому на кожні 7 днів дослідження та ймовірність появи відмов значно перевищувала встановлене значення у 0,25 вже з 15-20 дня дослідження при низькому рівні освітленості (до 1000 лк) та з 5-10 дня для середнього та високого рівня (до 10000 лк).

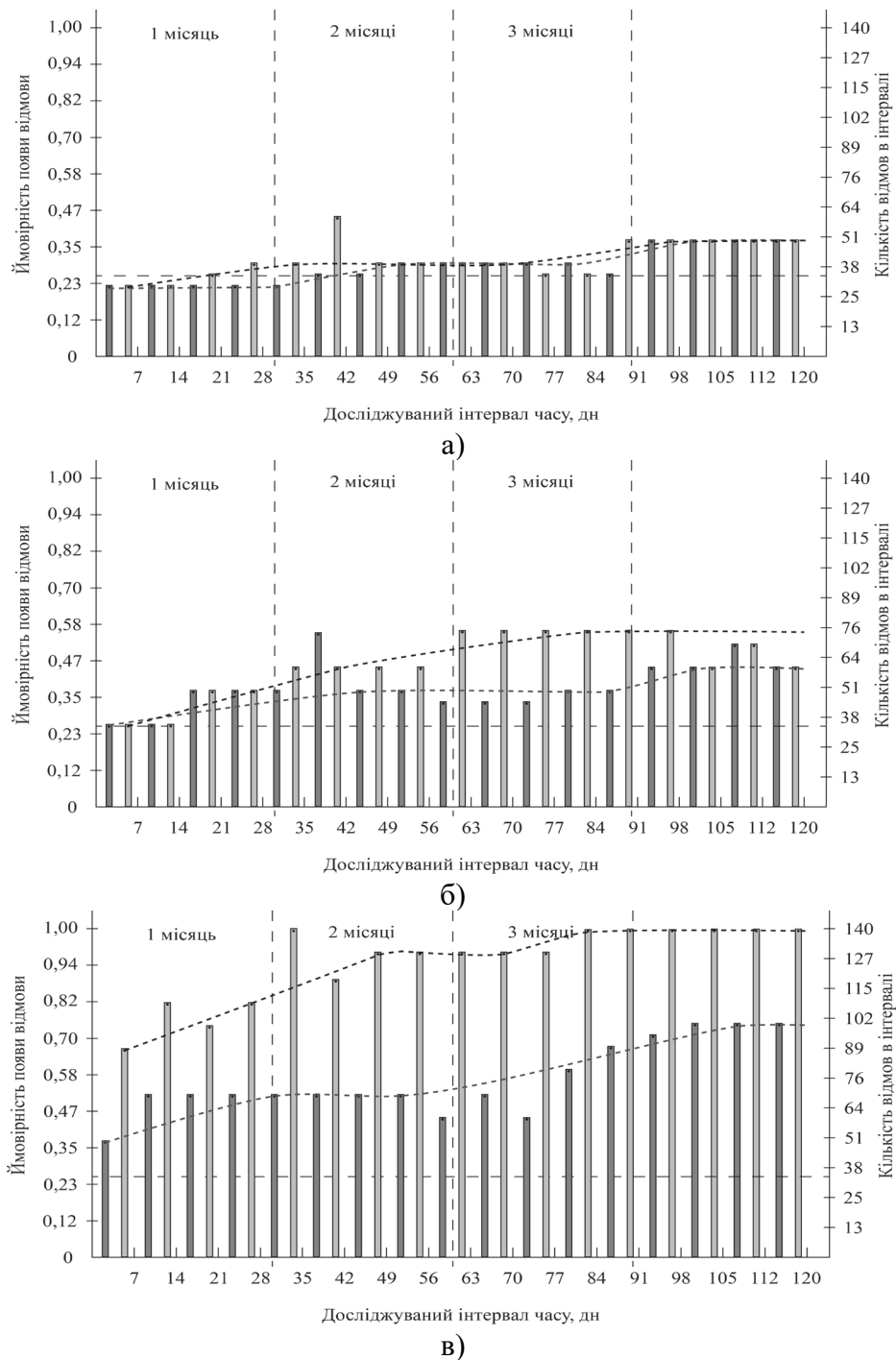
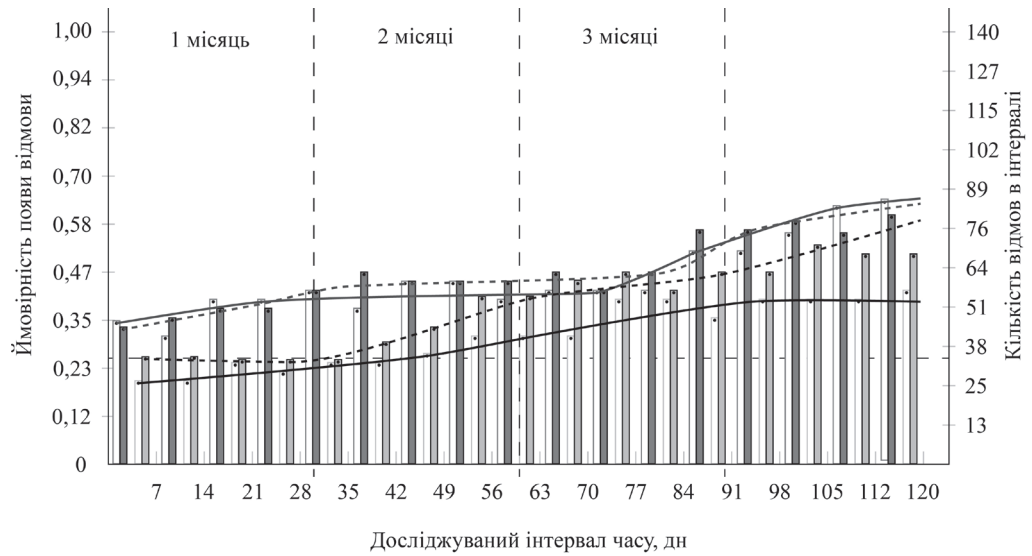


Рисунок 3.28 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при наявності захисного елемента:

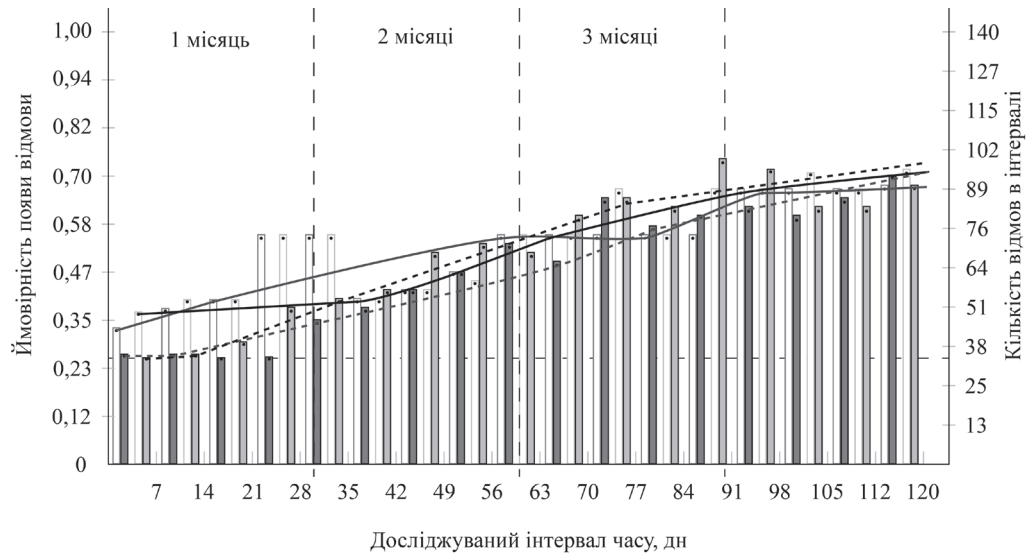
а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

■ – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%; □ – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;

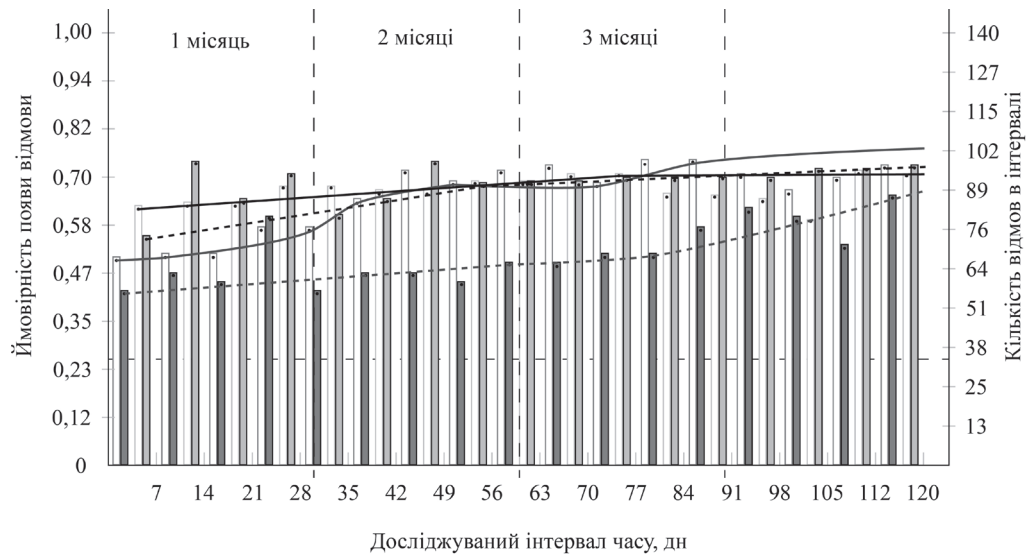
— — – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%; — — – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%



а)



б)



в)

Рисунок 3.29 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 130 см

Пояснення до рисунку 3.29:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

□ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при відсутності захисного елементу; □ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20% при відсутності захисного елементу; ■ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при наявності захисного елементу; ■ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20% при наявності захисного елементу;

— – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при відсутності захисного елементу; — – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20% при відсутності захисного елементу; — – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при наявності захисного елементу; — – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20% при наявності захисного елементу

Аналіз отриманих результатів (див. рис. 3.29) показав, що з відстані 130 см зовнішні умови мають значний вплив на зчитування маркерів з високим та низьким рівнем деталізації, оскільки рівень відмов та ймовірність їх появи значно перевищували задані в підрозділі 2.4 значення вже починаючи з 10-15 дня дослідження, а при високому рівні освітленості – з початку дослідження – як при наявності захисного елементу, так і при його відсутності.

З проведеного дослідження та аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

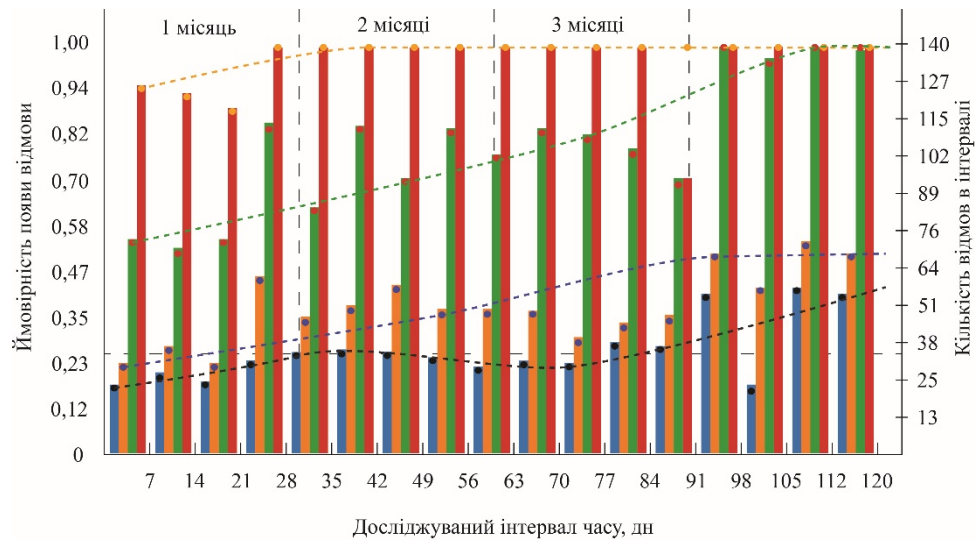
1. Маркери зі ступенем деталізації 70-80% та 10-20% раціонально використовувати у розмірі 130 × 130 мм при відсутності захисного елементу для продукції, термін експлуатації якої становить до одного місяця (зокрема, плакати) при зчитуванні з відстані 50 см в умовах освітленості до 6000-7000 лк; у випадку експлуатації продукції від одного до трьох місяців раціонально використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50%

2. При наявності захисного елементу (у випадку сітілайтів) рекомендовано використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50%

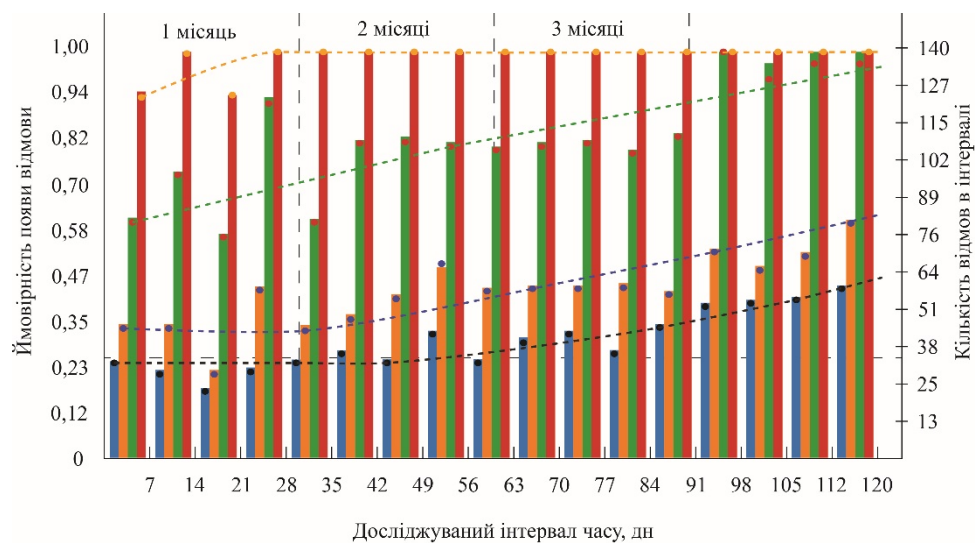
3. При зчитуванні маркерів з відстані 130 см рекомендовано використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50%.

Також було проведено імітаційне моделювання можливості відтворення маркерів зі ступенем деталізації 70-80% та 10-20% у визначених вище умовах у кольорах з іншим колірним контрастом за відповідною методикою, наведеною у підрозділі 2.8 з використанням коду, що наведений у додатку Е.

Отримані графічні залежності наведені на рисунку 3.30-3.31.



а



б

Рисунок 3.30 – Ймовірність появи відмови для зразків із різним рівнем контрасту (у похмурий день)



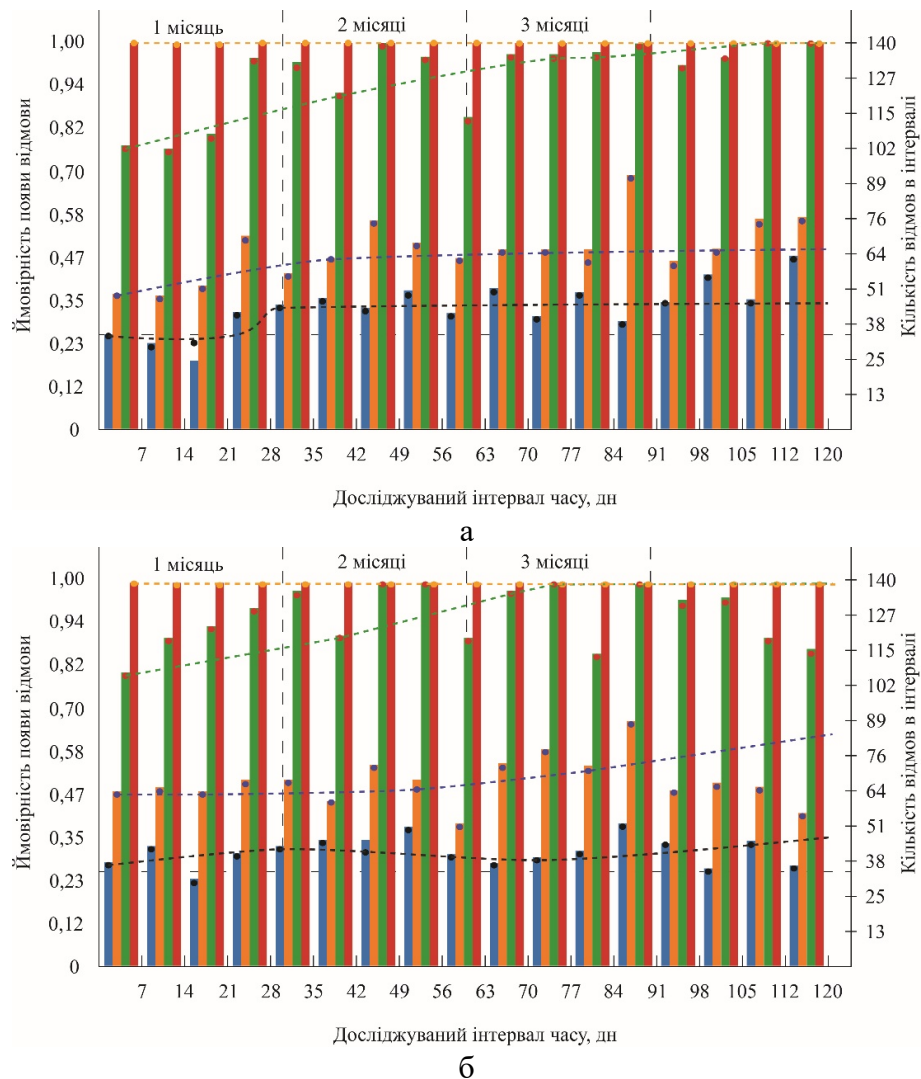


Рисунок 3.31 – Ймовірність появи відмови для зразків із різним рівнем контрасту (перемінна хмарність)

Пояснення до рисунку 3.30-3.31:

а – ступінь деталізації – 70-80%; б – ступінь деталізації – 10-20%;

■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 10-12; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 7-9; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 4-6; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 1-3;

— — — ймовірність появи відмов д для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 10-12; — — — ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 7-9; — — — ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 4-6; — — — ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 1-3

Оцінивши отримані результати можна зробити наступні висновки:

1. Маркери у розмірі 130 мм при їх зчитуванні з 50 см при відсутності захисного елементу зі ступенем деталізації 70-80% при їх використанні для продукції, термін експлуатації якої складає до 1 місяця, рекомендовано використовувати у відтінках, рівень контрасту з фоном становить не менше 7 одиниць.

2. Маркери у розмірі 130 мм при їх зчитуванні з 50 см при відсутності захисного елементу зі ступенем деталізації 70-80% при їх використанні для продукції, термін експлуатації якої складає від одного до двох місяців, рекомендовано використовувати у відтінках, рівень контрасту з фоном становить не менше 10 одиниць.

3. Маркери у розмірі 130 мм при їх зчитуванні з 50 см при відсутності захисного елементу зі ступенем деталізації 10-20% при їх використанні для продукції, термін експлуатації якої складає до 1 місяця, рекомендовано використовувати у відтінках, рівень контрасту з фоном становить не менше 10 одиниць (за умови низького рівня освітленості).

4. Для всіх інших випадків (наявність захисного елементу, більший час експлуатації, більша освітленість тощо) рекомендовано використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50% у відтінках, визначених у пункті 3.2.1.

3.3.1.2. Визначення раціонального ступеня деталізації маркерів доповненої реальності, що віддруковані плоским офсетним способом друку

Також було початково перевірено зразки, що були віддруковані плоским офсетним способом друку. Було встановлено, що з відстані 50 см, так само, як і для цифрового друку, зчитуються маркери зі ступенем деталізації 70-80% та 10-20% у розмірах  $80 \times 80$  мм та  $130 \times 130$  мм. Із відстані 130 см зчитувалися маркери у розмірі  $280 \times 280$  мм зі ступенем деталізації 70-80%. Маркери зі ступенем деталізації 10-20% не зчитувалися із відстані 130 см.

Протягом дослідження було отримано наступні результати по часу зчитування маркерів, що наведені у таблиці 3.41-3.42. Оцінивши часові заміри, було виконано статистичне опрацювання даних відповідно до методики, описаної у підрозділі 2.8. Результати наведені у таблицях 3.43-3.44. Маркери

досліджувалися в тих умовах, що були визначені для відповідного розміру (див. пункт 3.2.1). Після цього було побудовано графічні залежності для аналізу отриманих результатів (див. рис. 3.32-3.34)

Таблиця 3.41 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої мінімальної відстані (50 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с		Отримані результати (середні значення), с					
				Похмурий день		Перемінна хмарність		Сонячний день	
				Ступінь деталізації рисунку маркеру, %					
		70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20	70-80	10-20
1	80 × 80	4,98	5,05	Відсутність захисного елементу					
				5,02	5,95	5,37	6,25	Не зчитувався	Не зчитувався
2	130 × 130	4,66	5,48	Наявність захисного елементу (скло)					
				6,55	5,05	10,02	13,59	Не зчитувався	Не зчитувався
				Відсутність захисного елементу					
				4,95	5,30	4,99	5,25	8,99	10,12

Таблиця 3.42 – Середні часові заміри сканування маркерів з встановленої максимальної відстані (130 см)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день		Сонячний день
			Наявність захисного елементу (скло)		
			Відсутність захисного елементу		Не зчитувався
1	280 × 280	4,39	7,99	9,56	Не зчитувався
			5,85	6,55	Не зчитувався

Таблиця 3.43 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (без наявності захисного елементу)

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи					
					70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %			
					Розмір маркеру, мм																	
					80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130		
Похмурий день – 10-20% освітлення																						
1	7	4	140	25	25	25	25	0,0342	0,0365	0,0336	0,0357	0,1786	0,1786	0,1786	0,1786	0,8214	0,8214	0,8214	0,8214			
8	14	11		25	30	35	30	0,0342	0,0438	0,0470	0,0429	0,1786	0,2143	0,2500	0,2143	0,8214	0,7857	0,7500	0,7857			
15	21	18		40	35	35	35	0,0548	0,0511	0,0470	0,0500	0,2857	0,2500	0,2500	0,2500	0,7143	0,7500	0,7500	0,7500			
22	28	25		40	40	35	40	0,0548	0,0584	0,0470	0,0571	0,2857	0,2857	0,2500	0,2857	0,7143	0,7143	0,7500	0,7143			
29	35	32		40	40	40	30	0,0548	0,0584	0,0537	0,0429	0,2857	0,2857	0,2857	0,2143	0,7143	0,7143	0,7143	0,7857			
36	42	39		40	35	35	35	0,0548	0,0511	0,0470	0,0500	0,2857	0,2500	0,2500	0,2500	0,7143	0,7500	0,7500	0,7500			
43	49	46		40	35	35	50	0,0548	0,0511	0,0470	0,0714	0,2857	0,2500	0,2500	0,3571	0,7143	0,7500	0,7500	0,6429			
50	56	53		40	40	35	40	0,0548	0,0584	0,0470	0,0571	0,2857	0,2857	0,2500	0,2857	0,7143	0,7143	0,7500	0,7143			
57	63	60		45	40	50	35	0,0616	0,0584	0,0671	0,0500	0,3214	0,2857	0,3571	0,2500	0,6786	0,7143	0,6429	0,7500			
64	70	67		45	40	50	50	0,0616	0,0584	0,0671	0,0714	0,3214	0,2857	0,3571	0,3571	0,6786	0,7143	0,6429	0,6429			
71	77	74		45	40	50	60	0,0616	0,0584	0,0671	0,0857	0,3214	0,2857	0,3571	0,4286	0,6786	0,7143	0,6429	0,5714			
78	84	81		50	35	60	40	0,0685	0,0511	0,0805	0,0571	0,3571	0,2500	0,4286	0,2857	0,6429	0,7500	0,5714	0,7143			
85	91	88		50	35	40	35	0,0685	0,0511	0,0537	0,0500	0,3571	0,2500	0,2857	0,2500	0,6429	0,7500	0,7143	0,7500			
92	98	95		55	50	50	50	0,0753	0,0730	0,0671	0,0714	0,3929	0,3571	0,3571	0,3571	0,6071	0,6429	0,6429	0,6429			
99	105	102		50	60	50	45	0,0685	0,0876	0,0671	0,0643	0,3571	0,4286	0,3571	0,3214	0,6429	0,5714	0,6429	0,6786			
106	112	109	50	50	60	50	0,0685	0,0730	0,0805	0,0714	0,3571	0,3571	0,4286	0,3571	0,6429	0,6429	0,5714	0,6429				
113	120	116,5	50	55	60	50	0,0685	0,0803	0,0805	0,0714	0,3571	0,3929	0,4286	0,3571	0,6429	0,6071	0,5714	0,6429				
Σ				730	685	745	630	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000											
Математичне очікування								231,7857				206,2500				246,2500				216,0714		
Дисперсія								64,8789				74,9135				107,4394				83,9100		
Середньоквадратичне відхилення								8,0547				8,6553				10,3653				9,1602		
Коефіцієнт варіації								19%				22%				24%				23%		
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення																						
1	7	4	140	35	35	40	45	0,0422	0,0464	0,0473	0,0556	0,2500	0,2500	0,2857	0,3214	0,7500	0,7500	0,7143	0,6786			
8	14	11		35	35	40	40	0,0422	0,0464	0,0473	0,0494	0,2500	0,2500	0,2857	0,2857	0,7500	0,7500	0,7143	0,7143			
15	21	18		50	35	40	40	0,0602	0,0464	0,0473	0,0494	0,3571	0,2500	0,2857	0,2857	0,6429	0,7500	0,7143	0,7143			
22	28	25		50	40	45	40	0,0602	0,0530	0,0533	0,0494	0,3571	0,2857	0,3214	0,2857	0,6429	0,7143	0,6786	0,7143			
29	35	32		45	45	45	45	0,0542	0,0596	0,0533	0,0556	0,3214	0,3214	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	0,6786	0,6786			
36	42	39		45	40	40	40	0,0542	0,0530	0,0473	0,0494	0,3214	0,2857	0,2857	0,2857	0,6786	0,7143	0,7143	0,7143			
43	49	46		50	50	50	50	0,0602	0,0662	0,0592	0,0617	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429			
50	56	53		50	45	50	50	0,0602	0,0596	0,0592	0,0617	0,3571	0,3214	0,3571	0,3571	0,6429	0,6786	0,6429	0,6429			
57	63	60		50	45	50	50	0,0602	0,0596	0,0592	0,0617	0,3571	0,3214	0,3571	0,3571	0,6429	0,6786	0,6429	0,6429			
64	70	67		45	45	50	50	0,0542	0,0596	0,0592	0,0617	0,3214	0,3214	0,3571	0,3571	0,6786	0,6786	0,6429	0,6429			

Продовження таблиці 3.44

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи				
					70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		
					Розмір маркеру, мм																
					80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення																					
71	77	74	140	45	45	50	50	0,0542	0,0596	0,0592	0,0617	0,3214	0,3214	0,3571	0,3571	0,6786	0,6786	0,6429	0,6429		
78	84	81		45	45	50	40	0,0542	0,0596	0,0592	0,0494	0,3214	0,3214	0,3571	0,2857	0,6786	0,6786	0,6429	0,7143		
85	91	88		50	50	50	50	0,0602	0,0662	0,0592	0,0617	0,3571	0,3571	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	0,6429	0,6429		
92	98	95		55	50	50	60	0,0663	0,0662	0,0592	0,0741	0,3929	0,3571	0,3571	0,4286	0,6071	0,6429	0,6429	0,5714		
99	105	102		60	50	65	60	0,0723	0,0662	0,0769	0,0741	0,4286	0,3571	0,4643	0,4286	0,5714	0,6429	0,5357	0,5714		
106	112	109		60	50	65	60	0,0723	0,0662	0,0769	0,0741	0,4286	0,3571	0,4643	0,4286	0,5714	0,6429	0,5357	0,5714		
113	120	116,5		60	50	65	40	0,0723	0,0662	0,0769	0,0494	0,4286	0,3571	0,4643	0,2857	0,5714	0,6429	0,5357	0,7143		
Σ				830	755	845	810	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000										
Математичне очікування								251,4286				243,0357				308,0357				281,7857	
Дисперсія								19,0311				29,0657				66,0900				50,3460	
Середньоквадратичне відхилення								4,3625				5,3913				8,1296				7,0955	
Коефіцієнт варіації								10%				13%				17%				15%	
Сонячний день – 90-100% освітлення																					
1	7	4	140	120	70	120	90	0,0577	0,0452	0,0569	0,0568	0,8571	0,5000	0,8571	0,6429	0,1429	0,5000	0,1429	0,3571		
8	14	11		120	70	110	70	0,0577	0,0452	0,0521	0,0442	0,8571	0,5000	0,7857	0,5000	0,1429	0,5000	0,2143	0,5000		
15	21	18		120	80	120	80	0,0577	0,0516	0,0569	0,0505	0,8571	0,5714	0,8571	0,5714	0,1429	0,4286	0,1429	0,4286		
22	28	25		120	80	120	80	0,0577	0,0516	0,0569	0,0505	0,8571	0,5714	0,8571	0,5714	0,1429	0,4286	0,1429	0,4286		
29	35	32		120	90	120	100	0,0577	0,0581	0,0569	0,0631	0,8571	0,6429	0,8571	0,7143	0,1429	0,3571	0,1429	0,2857		
36	42	39		120	80	120	80	0,0577	0,0516	0,0569	0,0505	0,8571	0,5714	0,8571	0,5714	0,1429	0,4286	0,1429	0,4286		
43	49	46		130	85	130	100	0,0625	0,0548	0,0616	0,0631	0,9286	0,6071	0,9286	0,7143	0,0714	0,3929	0,0714	0,2857		
50	56	53		140	90	140	90	0,0673	0,0581	0,0664	0,0568	1,0000	0,6429	1,0000	0,6429	0,0000	0,3571	0,0000	0,3571		
57	63	60		110	85	130	85	0,0529	0,0548	0,0616	0,0536	0,7857	0,6071	0,9286	0,6071	0,2143	0,3929	0,0714	0,3929		
64	70	67		110	80	110	80	0,0529	0,0516	0,0521	0,0505	0,7857	0,5714	0,7857	0,5714	0,2143	0,4286	0,2143	0,4286		
71	77	74		140	90	140	90	0,0673	0,0581	0,0664	0,0568	1,0000	0,6429	1,0000	0,6429	0,0000	0,3571	0,0000	0,3571		
78	84	81		110	100	110	100	0,0529	0,0645	0,0521	0,0631	0,7857	0,7143	0,7857	0,7143	0,2143	0,2857	0,2143	0,2857		
85	91	88		110	110	130	110	0,0529	0,0710	0,0616	0,0694	0,7857	0,7857	0,9286	0,7857	0,2143	0,2143	0,0714	0,2143		
92	98	95		100	110	100	110	0,0481	0,0710	0,0474	0,0694	0,7143	0,7857	0,7143	0,7857	0,2857	0,2143	0,2857	0,2143		
99	105	102		140	110	140	100	0,0673	0,0710	0,0664	0,0631	1,0000	0,7857	1,0000	0,7143	0,0000	0,2143	0,0000	0,2857		
106	112	109		130	110	130	110	0,0625	0,0710	0,0616	0,0694	0,9286	0,7857	0,9286	0,7857	0,0714	0,2143	0,0714	0,2143		
113	120	116,5		140	110	140	110	0,0673	0,0710	0,0664	0,0694	1,0000	0,7857	1,0000	0,7857	0,0000	0,2143	0,0000	0,2143		
Σ				2080	1550	2110	1585	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000										

Кінець таблиці 3.44

Границі інтервалу (дн)	Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі				Частість настання відмови				Ймовірність появи відмови				Ймовірність безвідмовної роботи					
			70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %		70-80 %		10-20 %			
			Розмір маркеру, мм																	
			80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130	80	130		
Сонячний день – 90-100% освітлення																				
Математичне очікування					1835,7143				1033,2143				1887,8571				1074,4643			
Дисперсія					147,4048				195,6747				141,8685				155,7093			
Середньоквадратичне відхилення					12,1410				13,9884				11,9109				12,4784			
Коефіцієнт варіації					10%				16%				10%				14%			

Таблиця 3.45 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 50 см (при наявності захисного елемента)

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
				Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Похмурий день – 10-20% освітлення											
1	7	4	140	30	30	0,0432	0,0417	0,2143	0,2143	0,7857	0,7857
8	14	11		35	30	0,0504	0,0417	0,2500	0,2143	0,7500	0,7857
15	21	18		35	40	0,0504	0,0556	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143
22	28	25		40	40	0,0576	0,0556	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
29	35	32		40	40	0,0576	0,0556	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
36	42	39		40	40	0,0576	0,0556	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
43	49	46		40	40	0,0576	0,0556	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
50	56	53		35	45	0,0504	0,0625	0,2500	0,3214	0,7500	0,6786
57	63	60		40	40	0,0576	0,0556	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143
64	70	67		35	40	0,0504	0,0556	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143
71	77	74		40	35	0,0576	0,0486	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500
78	84	81		40	45	0,0576	0,0625	0,2857	0,3214	0,7143	0,6786
85	91	88		40	50	0,0576	0,0694	0,2857	0,3571	0,7143	0,6429
92	98	95		50	50	0,0719	0,0694	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
99	105	102		50	55	0,0719	0,0764	0,3571	0,3929	0,6429	0,6071
106	112	109		50	50	0,0719	0,0694	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429
113	120	116,5	55	50	0,0791	0,0694	0,3929	0,3571	0,6071	0,6429	
Σ				695	720	1.0000	1.0000				

Продовження таблиці 3.45

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
					Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Математичне очікування					208,0357				223,5714			
Дисперсія					41,8685				47,4048			
Середньоквадратичне відхилення					6,4706				6,8851			
Коефіцієнт варіації					16%				17%			
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	35	40	0,0400	0,0377	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143	
8	14	11		35	45	0,0400	0,0425	0,2500	0,3214	0,7500	0,6786	
15	21	18		40	40	0,0571	0,0377	0,3571	0,2857	0,6429	0,7143	
22	28	25		50	50	0,0571	0,0472	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
29	35	32		60	60	0,0571	0,0566	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714	
36	42	39		70	70	0,0800	0,0660	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
43	49	46		50	50	0,0571	0,0472	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
50	56	53		60	60	0,0571	0,0566	0,3571	0,4286	0,6429	0,5714	
57	63	60		45	85	0,0514	0,0802	0,3214	0,6071	0,6786	0,3929	
64	70	67		50	70	0,0514	0,0660	0,3214	0,5000	0,6786	0,5000	
71	77	74		45	45	0,0514	0,0425	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
78	84	81		50	55	0,0571	0,0519	0,3571	0,3929	0,6429	0,6071	
85	91	88		50	50	0,0571	0,0472	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
92	98	95		60	85	0,0686	0,0802	0,4286	0,6071	0,5714	0,3929	
99	105	102		70	85	0,0686	0,0802	0,4286	0,6071	0,5714	0,3929	
106	112	109		70	85	0,0800	0,0802	0,5000	0,6071	0,5000	0,3929	
113	120	116,5	85	85	0,0686	0,0802	0,4286	0,6071	0,5714	0,3929		
Σ				925	1060	1,0000	1,0000					
Математичне очікування					333,0357				506,4286			
Дисперсія					93,4256				282,6990			
Середньоквадратичне відхилення					9,6657				16,8137			
Коефіцієнт варіації					19%				28%			
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	100	100	0,0478	0,0456	0,7143	0,7143	0,2857	0,2857	
8	14	11		110	110	0,0526	0,0501	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143	
15	21	18		140	140	0,0670	0,0638	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	
22	28	25		110	140	0,0526	0,0638	0,7857	1,0000	0,2143	0,0000	
29	35	32		110	140	0,0526	0,0638	0,7857	1,0000	0,2143	0,0000	
36	42	39		110	140	0,0526	0,0638	0,7857	1,0000	0,2143	0,0000	

Кінець таблиці 3.45

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %	70-80 %	10-20 %
				Розмір маркеру – 130 × 130 мм							
Сонячний день – 90-100% освітлення											
43	49	46	140	110	110	0,0526	0,0501	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143
50	56	53		110	110	0,0526	0,0501	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143
57	63	60		120	120	0,0574	0,0547	0,8571	0,8571	0,1429	0,1429
64	70	67		130	130	0,0622	0,0592	0,9286	0,9286	0,0714	0,0714
71	77	74		130	130	0,0622	0,0592	0,9286	0,9286	0,0714	0,0714
78	84	81		135	135	0,0646	0,0615	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357
85	91	88		130	135	0,0622	0,0615	0,9286	0,9643	0,0714	0,0357
92	98	95		135	135	0,0646	0,0615	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357
99	105	102		130	140	0,0622	0,0638	0,9286	1,0000	0,0714	0,0000
106	112	109		140	140	0,0670	0,0638	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
113	120	116,5		140	140	0,0670	0,0638	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
Σ				2090	2195	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						1856,0714			2045,5357		
Дисперсія						170,7612			174,2215		
Середньоквадратичне відхилення						13,0676			13,1993		
Коефіцієнт варіації						11%			11%		

Таблиця 3.46 – Результати аналізу зчитування маркерів, розміщених на відстані 130 см

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					Наявність захисного елементу							
					є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
					Розмір маркеру – 280 × 280 мм							
Похмурий день – 10-20% освітлення												
1	7	4	140	35	25	0,0361	0,0382	0,2500	0,1786	0,7500	0,8214	
8	14	11		35	25	0,0361	0,0382	0,2500	0,1786	0,7500	0,8214	
15	21	18		50	25	0,0515	0,0382	0,3571	0,1786	0,6429	0,8214	
22	28	25		50	35	0,0515	0,0534	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500	
29	35	32		50	35	0,0515	0,0534	0,3571	0,2500	0,6429	0,7500	
36	42	39		60	35	0,0619	0,0534	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500	
43	49	46		60	35	0,0619	0,0534	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500	



Продовження таблиці 3.46

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					Наявність захисного елементу							
					є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
					Розмір маркеру – 280 × 280 мм							
Похмурий день – 10-20% освітлення												
50	56	53		60	35	0,0619	0,0534	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500	
57	63	60		65	40	0,0670	0,0611	0,4643	0,2857	0,5357	0,7143	
64	70	67		60	40	0,0619	0,0611	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143	
71	77	74		60	40	0,0619	0,0611	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143	
78	84	81		65	45	0,0670	0,0687	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786	
85	91	88		65	45	0,0670	0,0687	0,4643	0,3214	0,5357	0,6786	
92	98	95		65	40	0,0670	0,0611	0,4643	0,2857	0,5357	0,7143	
99	105	102		60	40	0,0619	0,0611	0,4286	0,2857	0,5714	0,7143	
106	112	109		65	55	0,0670	0,0840	0,4643	0,3929	0,5357	0,6071	
113	120	116,5		65	60	0,0670	0,0916	0,4643	0,4286	0,5357	0,5714	
Σ				970	655	1,0000	1,0000					
Математичне очікування												
Дисперсія												
Середньоквадратичне відхилення												
Коефіцієнт варіації												
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	35	40	0,0352	0,0390	0,2500	0,2857	0,7500	0,7143	
8	14	11		35	45	0,0352	0,0439	0,2500	0,3214	0,7500	0,6786	
15	21	18		50	50	0,0503	0,0488	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
22	28	25		55	55	0,0553	0,0537	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071	
29	35	32		55	55	0,0553	0,0537	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071	
36	42	39		55	55	0,0553	0,0537	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071	
43	49	46		55	55	0,0553	0,0537	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071	
50	56	53		60	60	0,0603	0,0585	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
57	63	60		60	65	0,0603	0,0634	0,4286	0,4643	0,5714	0,5357	
64	70	67		60	60	0,0603	0,0585	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
71	77	74		60	60	0,0603	0,0585	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
78	84	81		65	65	0,0653	0,0634	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357	
85	91	88		70	70	0,0704	0,0683	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
92	98	95		70	75	0,0704	0,0732	0,5000	0,5357	0,5000	0,4643	
99	105	102		70	70	0,0704	0,0683	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
106	112	109		70	70	0,0704	0,0683	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	

Кінець таблиці 3.46

Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					Наявність захисного елементу							
					є	немає	є	немає	є	немає	є	немає
					Розмір маркеру – 280 × 280 мм							
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
113	120	116,5		70	75	0,0704	0,0732	0,5000	0,5357	0,5000	0,4643	
Σ				995	1025	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						429,8214			453,0357			
Дисперсія						114,0138			95,5017			
Середньоквадратичне відхилення						10,6777			9,7725			
Коефіцієнт варіації						19%			17%			
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	100	100	0,0478	0,0464	0,7143	0,7143	0,2857	0,2857	
8	14	11		110	110	0,0526	0,0510	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143	
15	21	18		140	140	0,0670	0,0650	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	
22	28	25		110	120	0,0526	0,0557	0,7857	0,8571	0,2143	0,1429	
29	35	32		110	120	0,0526	0,0557	0,7857	0,8571	0,2143	0,1429	
36	42	39		110	120	0,0526	0,0557	0,7857	0,8571	0,2143	0,1429	
43	49	46		110	110	0,0526	0,0510	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143	
50	56	53		110	140	0,0526	0,0650	0,7857	1,0000	0,2143	0,0000	
57	63	60		120	120	0,0574	0,0557	0,8571	0,8571	0,1429	0,1429	
64	70	67		130	130	0,0622	0,0603	0,9286	0,9286	0,0714	0,0714	
71	77	74		130	130	0,0622	0,0603	0,9286	0,9286	0,0714	0,0714	
78	84	81		135	135	0,0646	0,0626	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357	
85	91	88		130	135	0,0622	0,0626	0,9286	0,9643	0,0714	0,0357	
92	98	95		135	135	0,0646	0,0626	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357	
99	105	102		130	130	0,0622	0,0603	0,9286	0,9286	0,0714	0,0714	
106	112	109		140	140	0,0670	0,0650	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	
113	120	116,5	140	140	0,0670	0,0650	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000		
Σ				2090	2195	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						1856,0714			1968,3929			
Дисперсія						170,7612			141,0035			
Середньоквадратичне відхилення						13,0676			11,8745			
Коефіцієнт варіації						11%			10%			

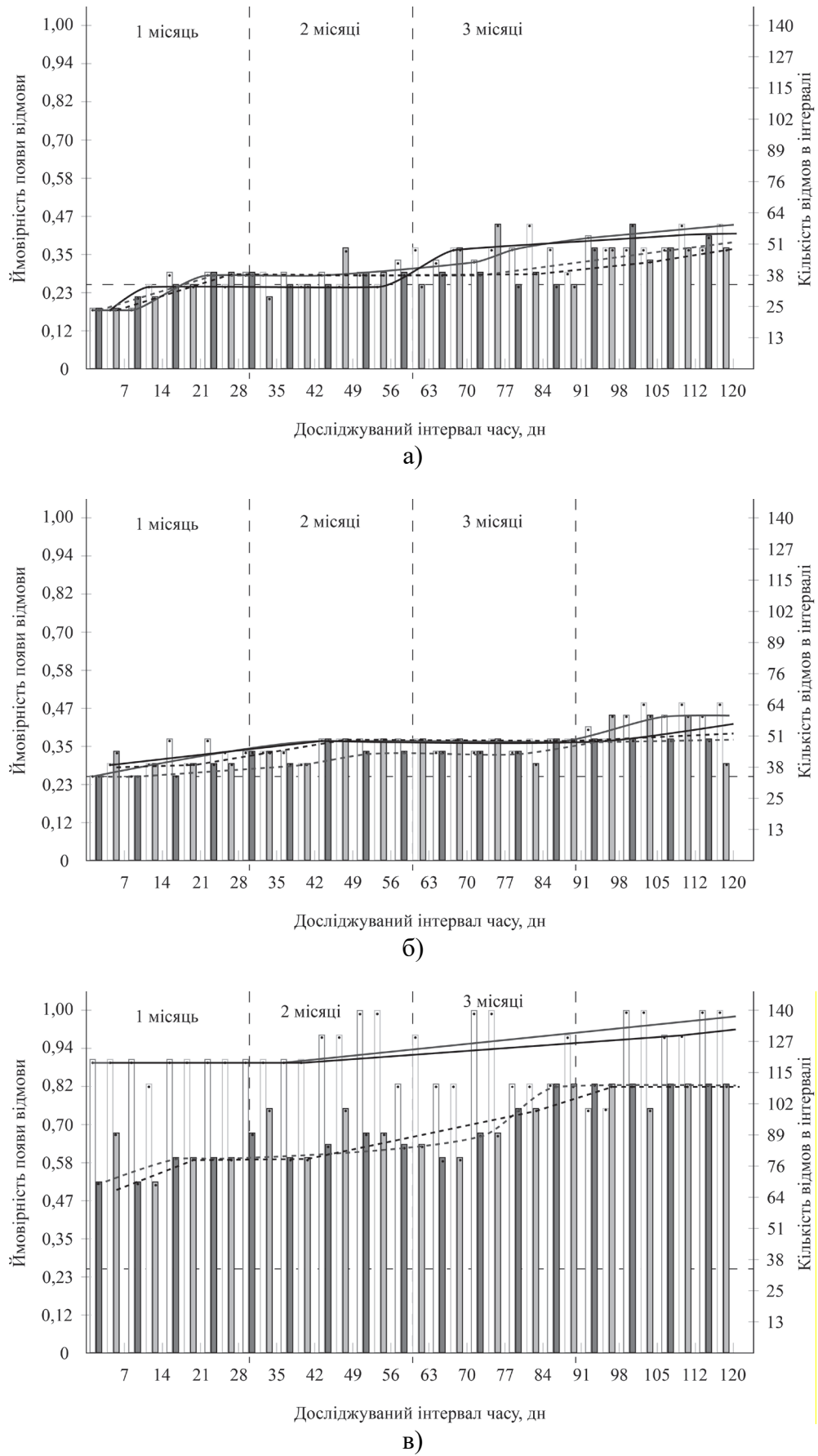










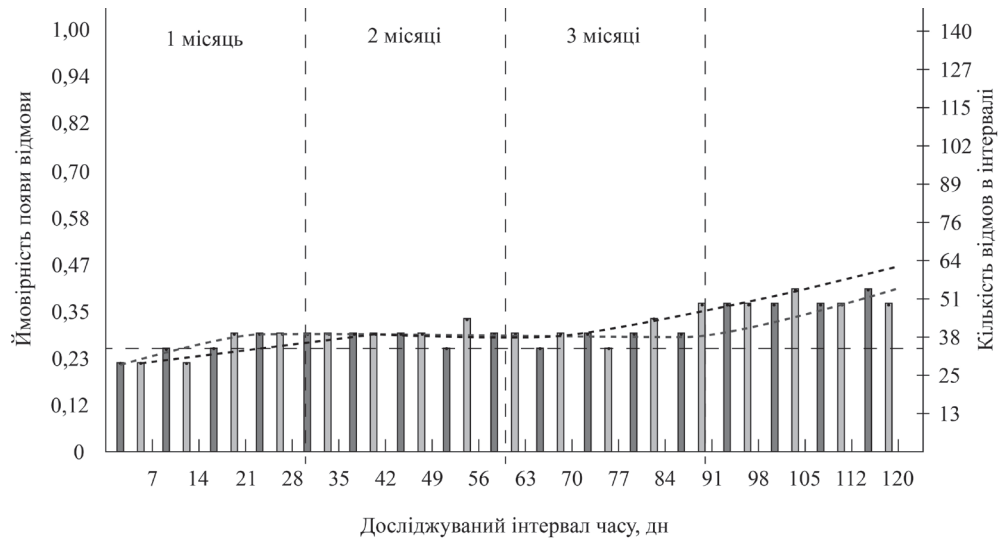
Рисунок 3.32 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при відсутності захисного елемента

Пояснення до рисунку 3.32:

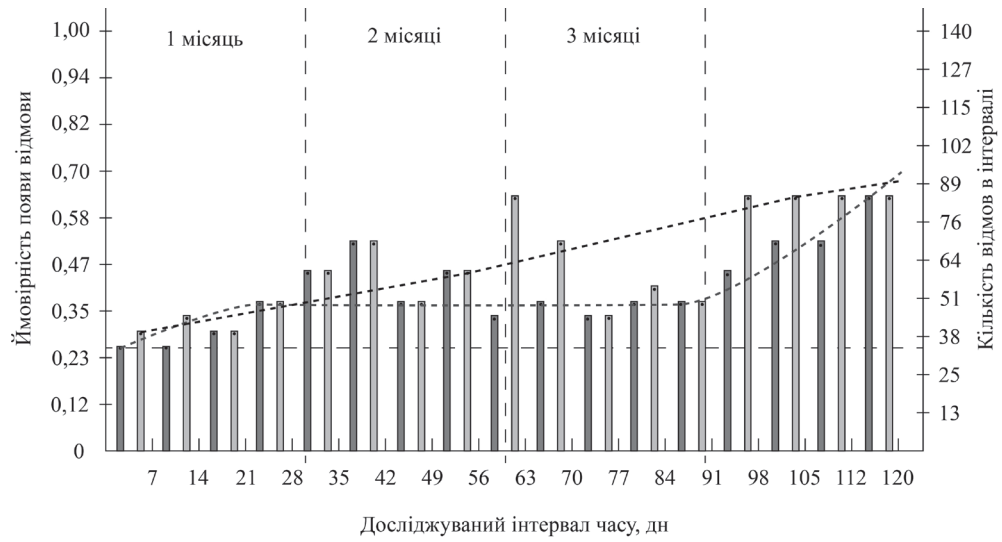
а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

 – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;

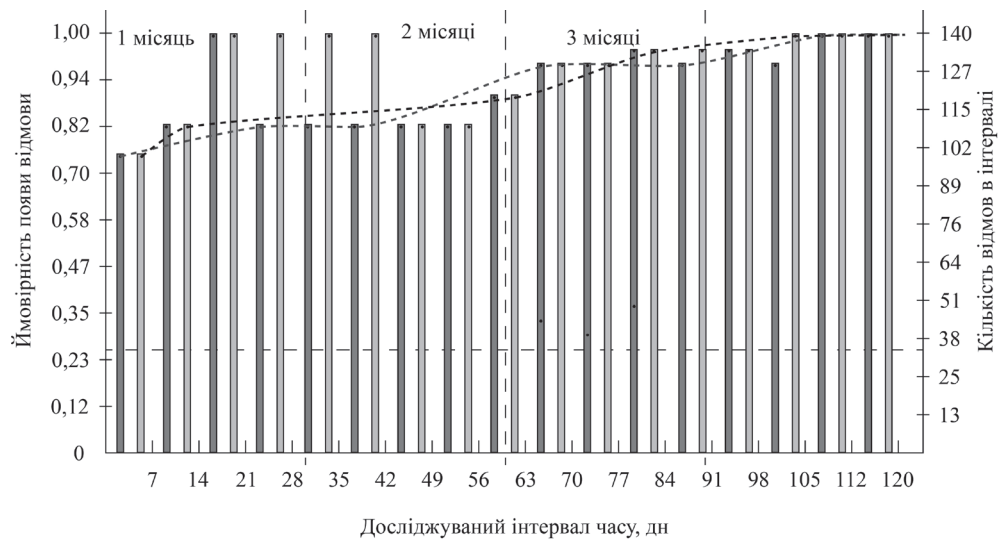
 – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $80 \times 80$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%;  – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%



а



б)



в)

Рисунок 3.33 – Ймовірність появи відмови для зразків, що зчитувалися з відстані 50 см при наявності захисного елементу

Пояснення до рисунку 3.33:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

■ – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%; □ – кількість відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%;

— — – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80%; - - - – ймовірність появи відмов для маркеру розміром  $130 \times 130$  мм зі ступенем деталізації рисунку маркеру 10-20%

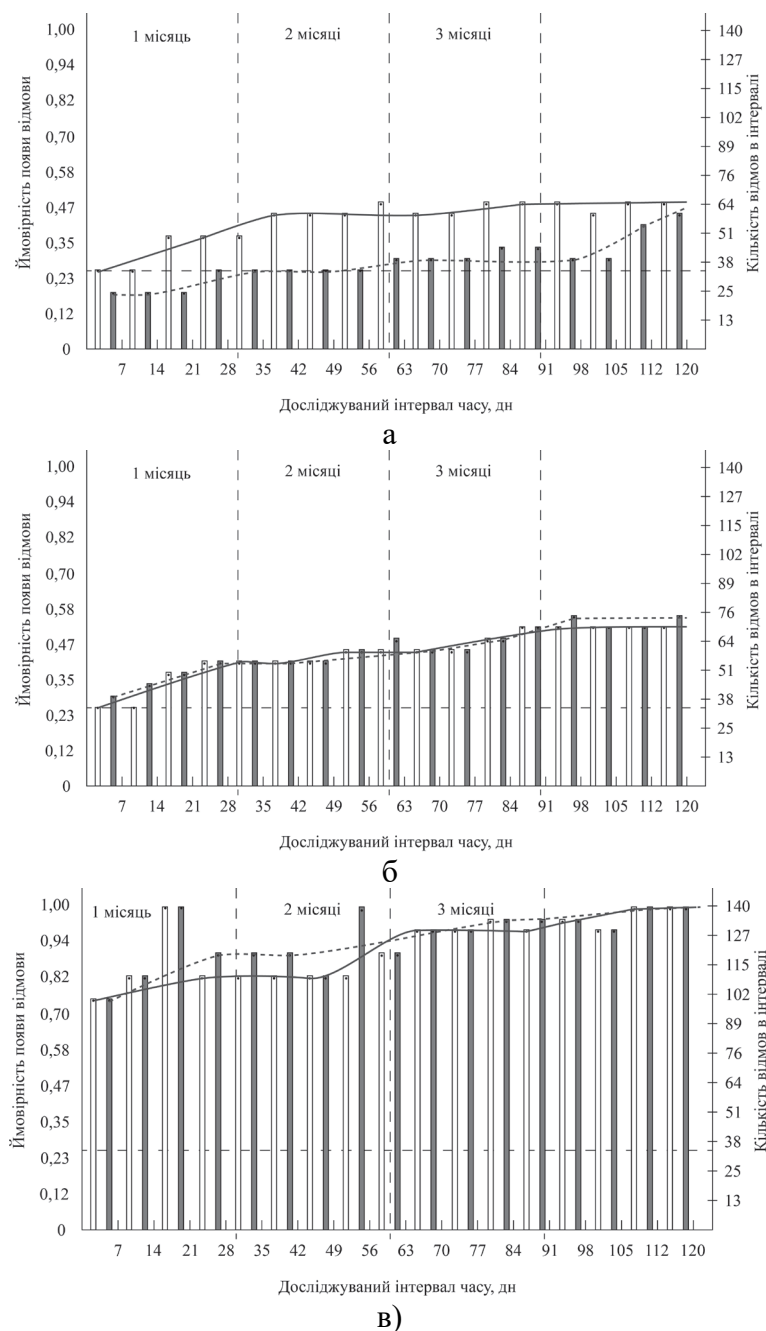


Рисунок 3.34 – Ймовірність появи відмови для зразків (відстань 130 см)

Пояснення до рисунку 3.34:

а – похмурий день; б – помірна хмарність; в – сонячний день;

□ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при наявності захисного елементу; ■ – кількість відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при відсутності захисного елементу;

— — – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при наявності захисного елементу; — — – ймовірність появи відмов для маркеру зі ступенем деталізації рисунку маркеру 70-80% при відсутності захисного елементу

При порівнянні отриманих результатів часових замірів (див. табл. 3.41-3.42) із цифровими (див. табл. 3.36-3.37) можна зробити висновок, що на зразки, віддруковані плоским офсетним способом друку, умови використання, зокрема освітленість, має значно більший вплив – час зчитування більший на 3-4 с, при високому рівні освітленості зразки не зчитувалися ні під склом, ні без нього.

Проаналізувавши всі отримані результати можна зробити висновок, що на відміну від зразків, віддрукованих цифровим способом (див. рис. 3.27-3.29) зразки, віддруковані офсетним способом мають проблеми із зчитуванням вже з 5-10 дня дослідження – показник кількості відмов в середньому становив 55-60 відмов на кожні 7 днів дослідження і показник відмов перевищував встановлене значення у 0,25 – як при наявності захисного елементу так і при його відсутності.

Тому можна зробити висновок, що при друці продукції офсетним способом друку рекомендоване використання маркерів зі ступенем деталізації 40-50%. Тестування можливості використання зразків в кольорі було виконано для зразків із ступенем деталізації 40-50% у пункті 3.2.2.

### 3.3.2. Визначення раціонального ступеня деталізації рисунку AR-маркеру для білбордів

Було виконано попереднє дослідження із визначеними параметрами розміру (див. пункт 3.1.2) та у рамках фізичної моделі, що наведена на рисунку 3.2. Було встановлено, що з відстані 130 см зчитувалися маркери зі ступенем деталізації 10-20% у розмірі  $230 \times 230$  мм, а з відстані 330 см – зі ступенем деталізації 10-20% у розмірі  $280 \times 280$  мм. Маркери зі ступенем деталізації 70-80% не зчитувалися.

Результати часових замірів зчитування маркерів наведені у таблиці 3.41.

Таблиця 3.41 – Середні часові заміри сканування маркерів (ступінь деталізації 10-20%)

№	Розмір маркеру, мм	Початкові заміри, с	Отримані результати (середні значення), с		
			Похмурий день	Перемінна хмарність	Сонячний день
Відстань зчитування – 130 см					
1	230 × 230	4,81	6,50	8,19	Не зчитувався
Відстань зчитування – 330 см					
2	280 × 280	7.34	7.99	9.05	Не зчитувався

Проаналізувавши отримані часові заміри та порівнявши з відповідними для ступеня деталізації 40-50% (див. табл. 3.13), можна зробити висновок, що маркери з меншим ступенем деталізації мали значно більший час на зчитування, особливо при збільшенні рівня освітленості (від 6000-7000 лк), в середньому на 3-4 с. Окрім того, при високому рівні освітленості (10000 лк) вони не відтворювалися.

Після оцінювання часових замірів було виконано статистичне опрацювання даних (див. табл. 3.42) відповідно до методики, описаної у підрозділі 2.8, після чого було побудовано графічні залежності для аналізу отриманих результатів, що наведені на рисунку 3.35.

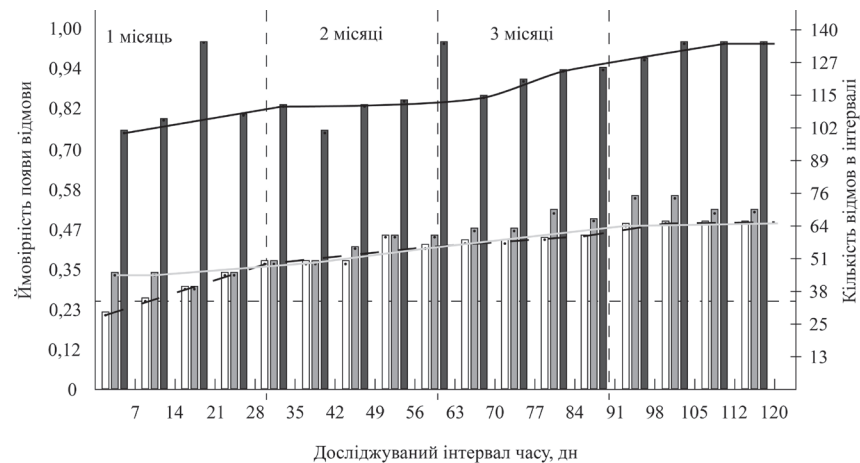


Таблиця 3.27 – Результати аналізу зчитування маркерів

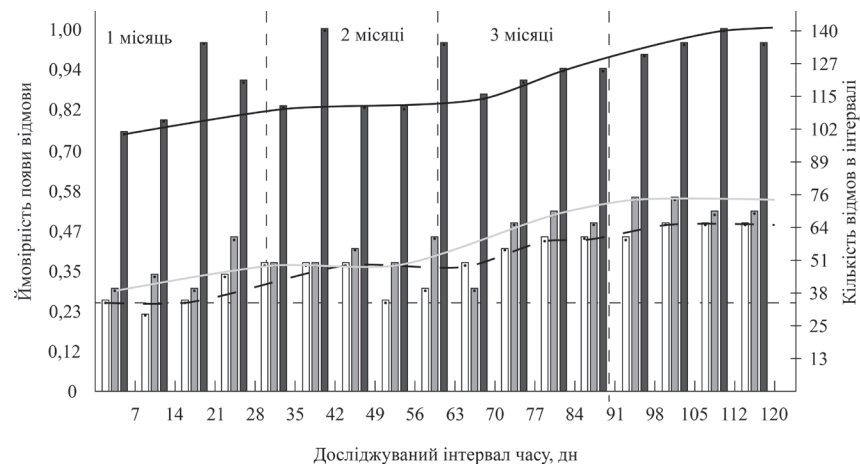
Границі інтервалу (дн)			Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
					230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280
Похмурий день – 10-20% освітлення												
1	7	4	140	30	35	0,0330	0,0412	0,2143	0,2500	0,7857	0,7500	
8	14	11		35	30	0,0385	0,0353	0,2500	0,2143	0,7500	0,7857	
15	21	18		40	35	0,0440	0,0412	0,2857	0,2500	0,7143	0,7500	
22	28	25		45	45	0,0495	0,0529	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
29	35	32		50	50	0,0549	0,0588	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
36	42	39		50	50	0,0549	0,0588	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
43	49	46		50	50	0,0549	0,0588	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
50	56	53		60	35	0,0659	0,0412	0,4286	0,2500	0,5714	0,7500	
57	63	60		56	40	0,0615	0,0471	0,4000	0,2857	0,6000	0,7143	
64	70	67		58	50	0,0637	0,0588	0,4143	0,3571	0,5857	0,6429	
71	77	74		58	55	0,0637	0,0647	0,4143	0,3929	0,5857	0,6071	
78	84	81		59	60	0,0648	0,0706	0,4214	0,4286	0,5786	0,5714	
85	91	88		60	60	0,0659	0,0706	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
92	98	95		64	60	0,0703	0,0706	0,4571	0,4286	0,5429	0,5714	
99	105	102		65	65	0,0714	0,0765	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357	
106	112	109		65	65	0,0714	0,0765	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357	
113	120	116,5	65	65	0,0714	0,0765	0,4643	0,4643	0,5357	0,5357		
Σ				910	850	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						361,1857		319,2857				
Дисперсія						109,0727		129,4118				
Середньоквадратичне відхилення						10,4438		11,3759				
Коефіцієнт варіації						20%		23%				
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення												
1	7	4	140	45	40	0,0450	0,0408	0,3214	0,2857	0,6786	0,7143	
8	14	11		45	45	0,0450	0,0459	0,3214	0,3214	0,6786	0,6786	
15	21	18		40	40	0,0400	0,0408	0,2857	0,2857	0,7143	0,7143	
22	28	25		45	60	0,0450	0,0612	0,3214	0,4286	0,6786	0,5714	
29	35	32		50	50	0,0500	0,0510	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
36	42	39		50	50	0,0500	0,0510	0,3571	0,3571	0,6429	0,6429	
43	49	46		55	55	0,0550	0,0561	0,3929	0,3929	0,6071	0,6071	
50	56	53		60	50	0,0600	0,0510	0,4286	0,3571	0,5714	0,6429	
57	63	60		60	60	0,0600	0,0612	0,4286	0,4286	0,5714	0,5714	
64	70	67		62	40	0,0620	0,0408	0,4429	0,2857	0,5571	0,7143	
71	77	74		62	65	0,0620	0,0663	0,4429	0,4643	0,5571	0,5357	
78	84	81		70	70	0,0700	0,0714	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
85	91	88		66	65	0,0660	0,0663	0,4714	0,4643	0,5286	0,5357	
92	98	95		75	75	0,0750	0,0765	0,5357	0,5357	0,4643	0,4643	
99	105	102		75	75	0,0750	0,0765	0,5357	0,5357	0,4643	0,4643	
106	112	109		70	70	0,0700	0,0714	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
113	120	116,5	70	70	0,0700	0,0714	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000		
Σ				1000	980	1,0000	1,0000					
Математичне очікування						434,9571		421,0714				
Дисперсія						121,7924		144,4637				
Середньоквадратичне відхилення						11,0360		12,0193				
Коефіцієнт варіації						19%		21%				
Сонячний день – 90-100% освітлення												
1	7	4	140	100	100	0,0493	0,0478	0,7143	0,7143	0,2857	0,2857	
8	14	11		105	105	0,0517	0,0502	0,7500	0,7500	0,2500	0,2500	
15	21	18		135	135	0,0665	0,0646	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357	
22	28	25		107	120	0,0527	0,0574	0,7643	0,8571	0,2357	0,1429	
29	35	32		110	110	0,0542	0,0526	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143	
36	42	39		100	140	0,0493	0,0670	0,7143	1,0000	0,2857	0,0000	

Кінець таблиці 3.28

Границі інтервалу (дн)		Середнє напрацювання	Кількість досліджень	Кількість відмов в інтервалі		Частість настання відмови		Ймовірність появи відмови		Ймовірність безвідмовної роботи	
				230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280	230 × 230	280 × 280
Перемінна хмарність – 50-60% освітлення											
43	49	46	140	110	110	0,0542	0,0526	0,7857	0,7857	0,2143	0,2143
50	56	53		112	110	0,0552	0,0526	0,8000	0,7857	0,2000	0,2143
57	63	60		135	135	0,0665	0,0646	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357
64	70	67		114	115	0,0562	0,0550	0,8143	0,8214	0,1857	0,1786
71	77	74		120	120	0,0591	0,0574	0,8571	0,8571	0,1429	0,1429
78	84	81		124	125	0,0611	0,0598	0,8857	0,8929	0,1143	0,1071
85	91	88		125	125	0,0616	0,0598	0,8929	0,8929	0,1071	0,1071
92	98	95		128	130	0,0631	0,0622	0,9143	0,9286	0,0857	0,0714
99	105	102		135	135	0,0665	0,0646	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357
106	112	109		135	140	0,0665	0,0670	0,9643	1,0000	0,0357	0,0000
113	120	116,5		135	135	0,0665	0,0646	0,9643	0,9643	0,0357	0,0357
Σ				2030	2090	1,0000	1,0000				
Математичне очікування						1750,8857			1854,2857		
Дисперсія						159,8893			156,0554		
Середньоквадратичне відхилення						12,6447			12,4922		
Коефіцієнт варіації						11%			10%		



а









б

Рисунок 3.35 – Ймовірність появи відмови для зразків

Пояснення до рисунку 3.35:

а – зчитування з відстані 130 см ( $230 \times 230$  мм); б – зчитування з відстані 330 см ( $280 \times 280$  мм);

 – кількість відмов при зчитуванні в похмурий день;  – кількість відмов при зчитуванні в день з перемінною хмарністю;  – кількість відмов при зчитуванні в сонячний день;

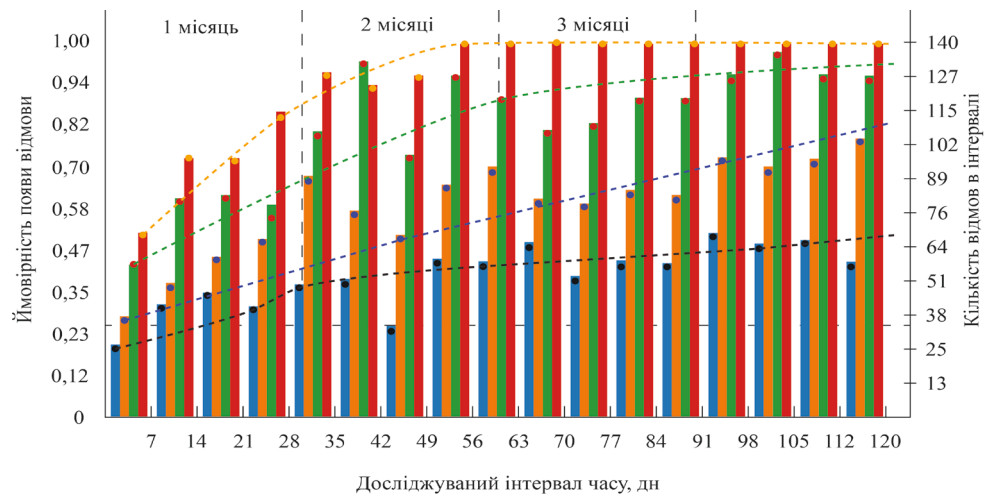
 – ймовірність появи відмов при зчитуванні в похмурий день;  – ймовірність появи відмов при зчитуванні в день з перемінною хмарністю;  – ймовірність появи відмов при зчитуванні в сонячний день

Можна відмітити, що зразки відтворюються протягом місяця зразки відтворюються тільки за умови низького рівня освітленості. Тому можна зробити наступний висновок:

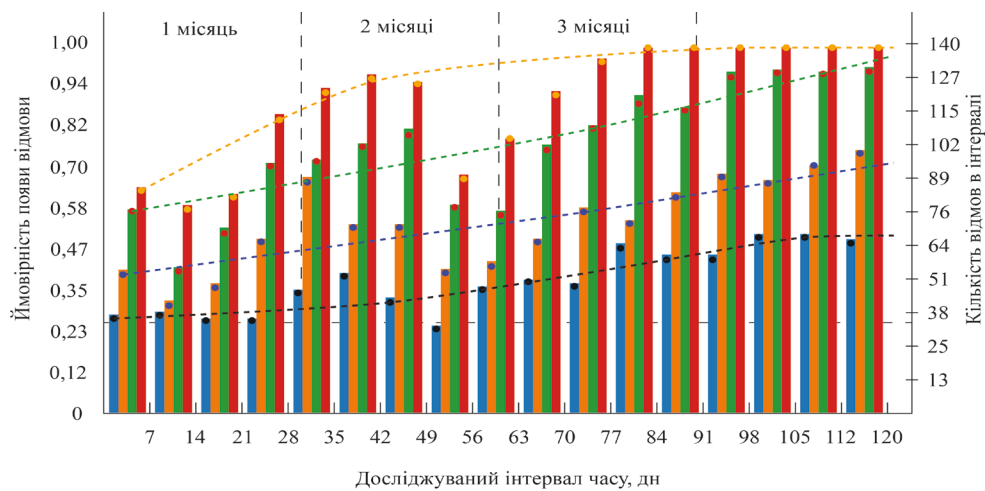
1. Маркери зі ступенем деталізації 10-20% раціонально використовувати для продукції, термін експлуатації якої становить до 1 місяця в умовах невисокого рівня освітленості (до 2000-3000 лк) при ступені контрасту з фоном не менше 7.

2. При експлуатації продукції більше одного місяця слід використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50%

Також було протестовано можливість використання маркерів зі ступенем деталізації 10-20% в інших відтінках, крім чорного, за відповідною методикою, описаною у підрозділі 2.8 з використанням коду, наведеного у додатку Е, у визначених вище умовах. Отримані результати моделювання наведені на рисунку 3.36



а



б

Рисунок 3.36 – Ймовірність появи відмови для зразків із різним рівнем контрасту:

а – зчитування з відстані 130 см ( $230 \times 230$  мм); б – зчитування з відстані 330 см ( $280 \times 280$  мм);

■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 6-7; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 4-5; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 2-3; ■ – кількість відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 1;

--- – ймовірність появи відмов д для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 6-7; --- – ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 4-5; --- – ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 2-3; --- – ймовірність появи відмов для маркерів у кольорах зі ступенем контрасту 1.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити наступні висновки:

1. При експлуатації продукції протягом одного місяця рекомендовано використовувати маркери зі ступенем деталізації 10-20% у кольорах, контраст яких із фоном складає не менше 6-7 одиниць
2. При експлуатації продукції більше одного місяця рекомендовано використовувати маркери зі ступенем деталізації 40-50% з параметрами, визначеними у пункті 3.2.2

#### Висновки до третього розділу

1. Проведено перший етап дослідження відповідно до описаної методики, проаналізовано його результати та визначено раціональний розмір маркерів доповненої реальності для різних умов використання.
2. Проведено другий етап дослідження відповідно до описаної методики, проаналізовано його результати та визначено раціональний колір маркерів доповненої реальності для різних умов використання.
3. Проведено третій етап дослідження відповідно до описаної методики, проаналізовано його результати та визначено раціональний ступінь деталізації маркерів доповненої реальності для різних умов використання.

## РОЗДІЛ 4

### ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ МАРКЕРІВ ДЛЯ ПРОДУКЦІЇ ВУЛИЧНОЇ РЕКЛАМИ

4.1. Визначення параметрів маркерів в залежності від умов їх використання за допомогою імітаційної моделі процесу створення AR-маркеру

За результатами проведених досліджень (див. розділ 3) було виконано вибір параметрів AR-маркерів – розмір, колір (контраст між маркером та фоном) та ступінь деталізації – відповідно до характеристик потенційної друкованої продукції, у контент якої їх буде впроваджено. Вибір виконувався на основі методики, описаної у підрозділі 2.8. Оскільки матеріали, що використовувалися для друку зразків, як показало дослідження (див. розділ 3) в загальному мали несуттєвий вплив на отримані результати, то при проведенні моделювання їх характеристики до уваги не бралися.

Було визначено можливі розміри маркеру для обраної продукції (див. розділ 2), зважаючи на встановлений відсоток площі, що може займати маркер, а саме: до 5%, а також результати експериментального дослідження:

- сітілайти та в plakати – при відсутності захисного елементу – від  $80 \times 80$  мм до  $330 \times 330$  мм з кроком 50 мм; від  $130 \times 130$  мм до  $330 \times 330$  мм з кроком 50 мм;
- бігборди та великі банери – від  $200 \times 200$  мм до  $1000 \times 1000$  мм з кроком 100 мм.

Також було встановлено наступний ступінь контрасту:

- сітілайти та плакати – від 2 до 12 з кроком 2;
- білборд – від 3 до 7 з кроком 2.

Ступінь деталізації був наступний:

- сітілайти та плакати – від 20% до 80% з кроком 10%;
- білборд – від 10% до 50% з кроком 10%.

Відповідно до [90] було визначено середній обсяг пам'яті, який має мати зображення маркеру доповненої реальності, для того, щоб він легко зчитувався камерою пристрою – до 500 кБ.

Для дослідження було визначено декілька етапів у створенні маркеру доповненої реальності, що впливають на визначений вище критерій оцінювання [5]:

- а) створення контенту для наповнення елемента доповненої реальності;
- б) створення зображення-маркеру доповненої реальності;
- в) створення коду елемента доповненої реальності.

Їх можна об'єднати у окремі підсистеми системи створення маркеру доповненої реальності. У кожній з них формуватимуться елементи, які матимуть вплив на обсяг даних файлу елемента доповненої реальності: зображення-маркер, файл цифрового контенту для наповнення елемента доповненої реальності та файл коду елемента доповненої реальності відповідно [5].

Також були визначені параметри кожної з підсистем, що впливатимуть один на одного та на вихідні параметри, обсяг пам'яті відповідного кінцевого результату: вхідні параметри  $X_{ij}$  (ті параметри, що початково задаються для підсистеми відповідно до потенційного використання маркерів), технологічні режими  $t_{ij}$  (параметри, що задаються початково та можуть бути змінені в ході виконання відповідних етапів підсистеми), випадкові фактори  $S_{ij}$  (параметри, що впливають на підсистему, але не можуть бути змінені або проконтрольовані), вихідні параметри підсистеми  $Y_{ij}$  – параметри, що отримуються на виході роботи підсистеми та системи загалом (у даному випадку обсяг пам'яті) [5]

Відповідні параметри цих підсистем представлені у таблиці 4.1 [5].

На основі визначених параметрів було побудовано логічну схему моделювання процесів створення елемента доповненої реальності, що представлена на рисунку 4.1[5]. Наступним кроком було побудовано загальну імітаційну модель процесу створення маркерів доповненої реальності для встановлення зв'язків між параметрами, а також впливу параметрів на вихідний параметр розробленої системи, що наведена на рисунку 4.2, на основі даних таблиці 4.1 [5].

Таблиця 4.1 – Параметри підсистем [5]

№	Змінна	Назва фактору	Множина значень
Підсистема створення зображення-маркеру доповненої реальності			
1	X <sub>11</sub>	Мінімальна товщина рамки навколо маркеру, пікселі	9-17
2	X <sub>12</sub>	Мінімальна ширина маркеру, пікселів	260-380
3	X <sub>13</sub>	Контрастність маркеру та фону	2-12
4	t <sub>11</sub>	Роздільна здатність, dpi	72-300
5	t <sub>12</sub>	Ступінь стиснення зображення, %	20-100
6	t <sub>13</sub>	Ступінь заповненості вільного простору маркеру, %	10-85
7	S <sub>11</sub>	Відхилення від квадратності, %	0,5-1
8	S <sub>12</sub>	Симетричність рисунку маркеру, %	0-60
9	Y <sub>11</sub>	Мінімальний обсяг файлу маркеру, Мб	0,2-0,5
Підсистема створення контенту для наповнення елемента доповненої реальності			
1	X <sub>21</sub>	Середня кількість знаків тексту на одному екрані	400-500
2	X <sub>22</sub>	Кількість зображень на одному екрані	1-5
3	X <sub>23</sub>	Середня тривалість відео, с	90-150
4	X <sub>24</sub>	Середня тривалість аудіо, с	90-100
5	t <sub>21</sub>	Діагональ екрану пристрою	6,1 – 10,3
6	t <sub>22</sub>	Кількість кольорів зображення	1-4
7	t <sub>23</sub>	Роздільна здатність зображення, dpi	72-150
8	t <sub>24</sub>	Ступінь стиснення зображення	4-12
9	t <sub>25</sub>	Бітрейт аудіо, кбіт/с	8-320
10	t <sub>26</sub>	Мінімальний бітрейт відео, Мбіт/с	2,5-4
11	t <sub>27</sub>	Частота кадрів відео, кадрів/с	24-30
12	Y <sub>21</sub>	Середній обсяг файлу мультимедійного продукту, Мб	80-90
Підсистема створення коду елемента доповненої реальності			
1	X <sub>31</sub>	Середня кількість рядків коду	30-40
2	X <sub>32</sub>	Мінімальна кількість запланованих екранів додатку	3-4
3	t <sub>31</sub>	Ступінь інтерактивності додатку, %	40-100
4	Y <sub>31</sub>	Середній обсяг файлу елемента доповненої реальності, Мб	0,2-0,5

Проведення дослідження виконувалося відповідно до методикою, описаної у підрозділі 2.8. Також було побудовано взаємозв'язки між параметрами по кожній підсистемі окремо, що представлені у додатку Ж. Отримані результати наведені у таблиці 4.2.



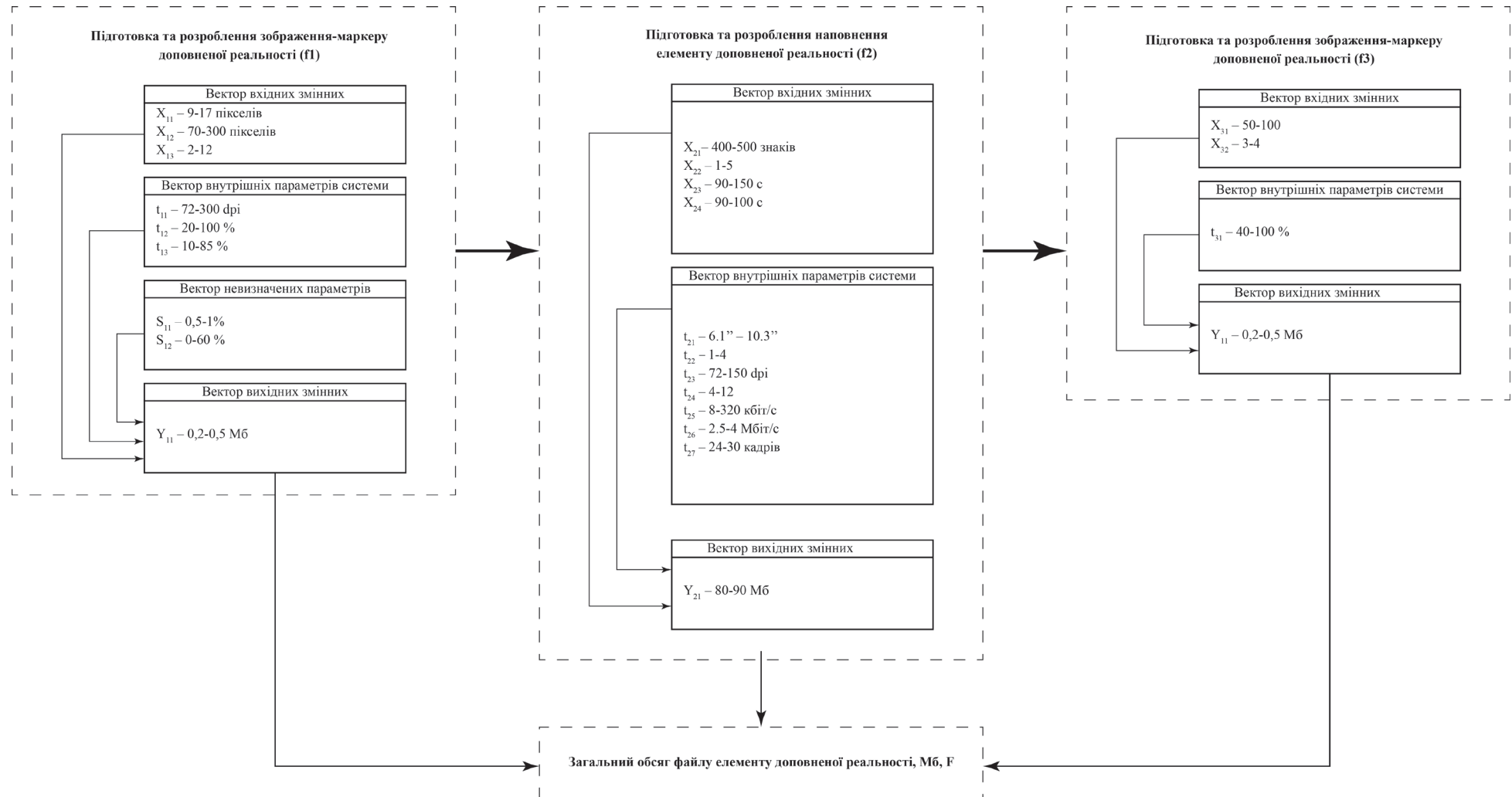


Рисунок 4.1 – Логічна схема створення елемента доповненої реальності [5]

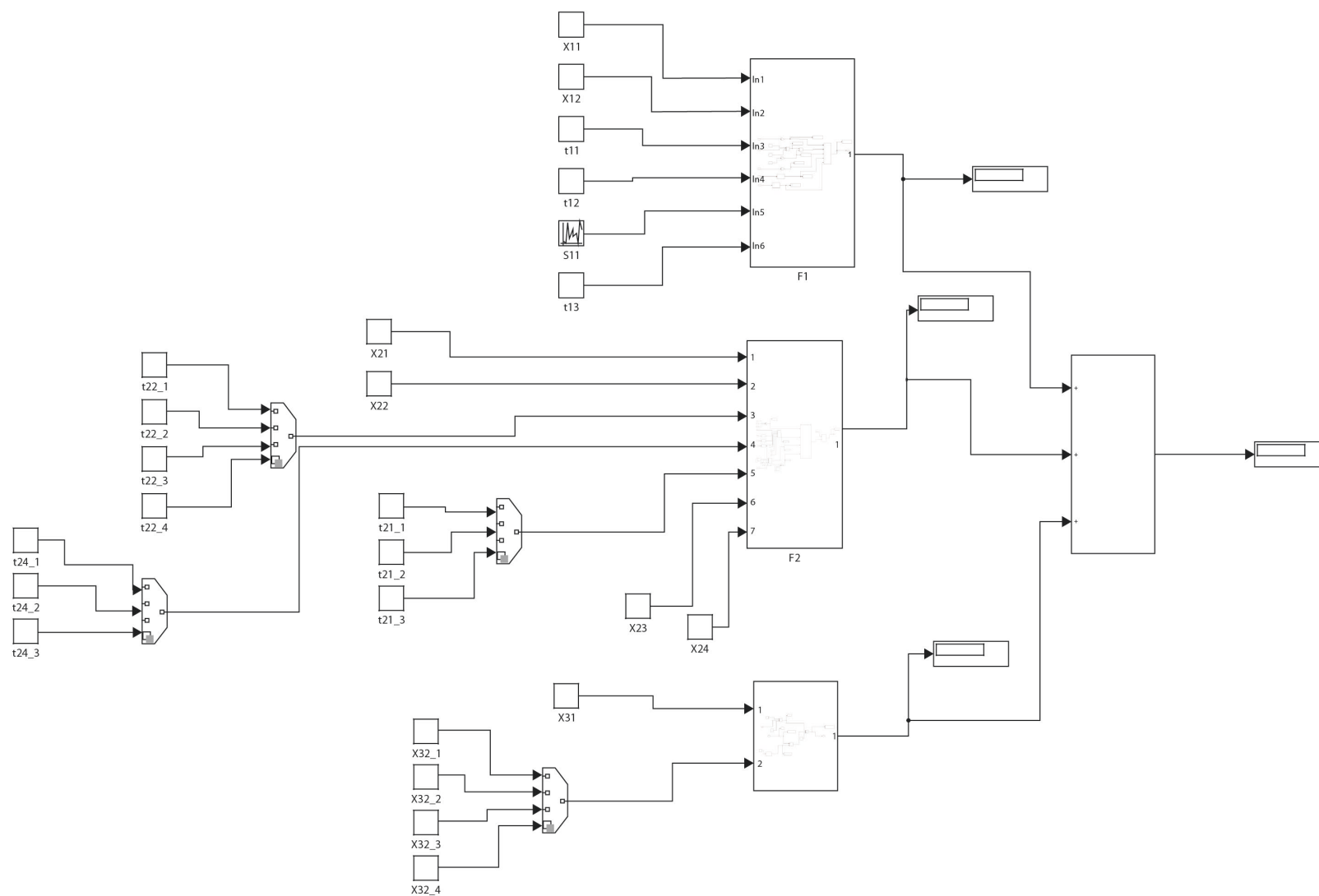


Рисунок 4.2 – Імітаційна модель процесу створення AR-маркерів [5]

Таблиця 4.2 – Обсяг файлу зображення маркеру

№	Вид продукції та її розмір	Розмір маркеру, мм	Обсяг файлу маркеру доповненої реальності, Мб							
			Ступінь деталізації, %							
			10	20	30	40	50	60	70	80
1	Сітілайт та плакат (1200 × 1800 мм)	80 × 80	61,57	107,28	111,94	121,27	130,60	247,20	247,20	312,50
2		130 × 130	100,05	174,32	181,90	197,06	212,22	401,70	401,70	497,81
3		180 × 180	138,53	241,37	251,87	272,86	293,84	456,20	456,20	503,13
4		230 × 230	177,01	208,42	221,83	248,65	375,47	710,71	710,71	898,44
5		280 × 280	215,49	305,47	391,79	424,44	457,09	865,21	865,21	1093,75
6		330 × 330	253,97	442,51	461,75	500,23	538,71	1019,71	1019,71	1289,07
7	Білборд (6000 × 3000 мм)	200 × 200	76,96	134,10	139,93	151,59	163,25	—	—	—
8		300 × 300	115,44	201,14	209,89	227,38	244,87	—	—	—
9		400 × 400	153,92	268,19	279,85	303,17	306,49	—	—	—
10		500 × 500	192,40	335,24	349,81	378,97	408,12	—	—	—
11		600 × 600	230,88	402,29	419,78	454,76	489,74	—	—	—
12		700 × 700	269,36	469,33	489,74	530,55	531,36	—	—	—
13		800 × 800	307,84	496,38	509,70	526,34	652,99	—	—	—
14		900 × 900	546,32	603,43	629,67	682,14	734,61	—	—	—
15		1000 × 1000	584,80	670,48	699,63	757,93	816,23	—	—	—

Проаналізувавши отримані результати, були отримані наступні висновки:

а) при використанні сітілайтів та плакатів можливе використання маркерів з наступними показниками: розмір маркеру – від 80 × 80 до 180 × 180 зі ступенем деталізації від 10% до 80% та у розмірі від 230 × 230 до 330 × 330 зі ступенем деталізації від 10 до 50%. Ступінь контрасту – мінімально 4. У такому випадку обсяг файлу маркеру та елементу доповненої реальності не перевищуватиме встановлені межі (до 300 кБ) і не впливатиме на процес відтворення цифрового контенту;

б) у випадку використання маркерів для увиразнення контенту великої продукції по типу білбордів (6000 × 3000 мм) можливе використання маркерів з наступними показниками: розмір маркеру – від 180 × 180 до 800 × 800 зі ступенем деталізації від 10% до 50%. Ступінь контрасту – мінімально 3. Для всіх інших випадків варто застосовувати додаткові схеми для зменшення обсягу файлу маркеру, аби маркер міг швидко зчитуватися та аналізуватися системою пристрою [5].

## 4.2. Регресійні математичні моделі прогнозування надійного зчитування AR-елементів

### 4.2.1. Прогнозування коректності зчитування AR-маркерів для сітілайтів та плакатів

Відповідно до методики оцінювання отриманих результатів, описаної у підрозділі 2.8, було виконано регресійний аналіз отриманих результатів дослідження з метою визначення відповідних до умов використання параметрів маркерів доповненої реальності [6]. Зважаючи на результати експериментального дослідження, до уваги не бралися результати для кольорів, контраст яких з фоном складав менше, ніж 2, оскільки такі зразки не витримували встановлений термін експлуатації продукції від одного до трьох місяців, а також характеристики матеріалу, оскільки їх вплив мав несуттєвий вплив на показники відтворюваності AR-маркерів.

Для проведення регресійного аналізу було обрано наступні вхідні параметри:  $X_1$  – розмір маркеру РМ,  $X_2$  – ступінь деталізації рисунку маркеру ДМ,  $X_3$  – контрастність маркеру та фону КМ.

Оцінку якості процесу сканування, розпізнавання та відтворення маркерів доповненої реальності здійснювали за ймовірністю появи відмов  $I_v$ .

Дослідження проводилося для двох варіантів використання продукції – при наявності захисного елемента та за його відсутності.

Межі зміни показників факторів визначено відповідно до результатів експерименту (див. третій розділ), а також імітаційного моделювання (див. підрозділ 4.1) з прогнозування вибору показників маркеру відповідно до характеристик продукції, у якій вони використовуватимуться. Значення та межі зміни показників факторів впливу зазначені в таблиці 4.3, результати регресійного аналізу відповідно до методики, описаної у підрозділі 2.8 – у таблиці 4.4-4.5, а також більш детально у додатку К на рисунках К.1-К.2.

Також було проведено перевірку моделей на однорідність дисперсії за коефіцієнтом Кохрена  $G$ , вагомості отриманих коефіцієнтів регресії за критерієм Ст'юдента, адекватності отриманих регресійних рівнянь за розрахунковим критерієм Фішера  $F$ . Було встановлено, що визначені коефіцієнти знаходяться в необхідних межах та обрано відповідні коефіцієнти для регресійного рівняння.

Таблиця 4.3 – Значення та межі зміни показників факторів впливу

№	Фактори впливу	Умовне позначення	Середнє значення (0-ий рівень)	Межі зміни параметру	Мінімальне та максимальне значення фактору	
					min (-1)	max (+1)
1	Розмір маркеру, мм	$X_1$	125	50	80	330
2	Контрастність маркеру та фону	$X_2$	5	2	2	12
3	Ступінь деталізації рисунку маркеру	$X_3$	0,35	0,10	0,10	0,80

Таблиця 4.4 – Результати статистичного аналізу даних для проведення регресійного моделювання

№ досліджу	Кодовані значення факторів				Значення Ів при відсутності захисного елементу						Значення Ів при наявності захисного елементу					
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$\bar{Y}_1$	$S^2$	$\hat{Y}_1$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$\bar{Y}_2$	$S^2$	$\hat{Y}_2$
1	+1	-1	-1	-1	0,0714	0,0571	0,1071	0,0785	0,0013	0,2943	0,3567	0,6452	0,9116	0,6378	0,1540	0,99830
2	+1	+1	-1	-1	0,1071	0,0714	0,1429	0,1071	0,0026	0,0854	0,2619	0,381	0,6660	0,4363	0,0862	0,71590
3	+1	-1	+1	-1	0,1429	0,0857	0,1786	0,1357	0,0044	0,1307	0,2738	0,3869	0,2596	0,3068	0,0097	0,20930
4	+1	+1	+1	-1	0,1786	0,1071	0,2143	0,1667	0,0060	0,2491	0,3274	0,3869	0,5025	0,4056	0,0159	-0,07310
5	+1	-1	-1	+1	0,2143	0,1357	0,2571	0,2024	0,0076	0,1122	0,3333	0,4226	0,1791	0,3117	0,0304	0,43310
6	+1	+1	-1	+1	0,25	0,1429	0,3214	0,2381	0,0161	0,2676	0,3452	0,4345	0,3730	0,3842	0,0042	0,71550
7	+1	-1	+1	+1	0,2857	0,1786	0,3429	0,2691	0,0139	-0,0515	0,3512	0,4643	0,5398	0,4518	0,0180	0,08650
8	+1	+1	+1	+1	0,3214	0,2143	0,4286	0,3214	0,0230	0,4313	0,8333	0,4762	0,9116	0,7404	0,1077	0,36890

Таблиця 4.5 – Коефіцієнти регресійних рівнянь

№ досліджу	Коефіцієнт	Табличне значення коефіцієнту Ст'юдента	При відсутності захисного елементу			При наявності захисного елементу		
			Розрахункове значення	Параметр вагомості	Обрані показники	Розрахункове значення	Параметр вагомості	Обрані показники
1	$b_0$	2,12 (при $f=16$ , $q=0,05$ )	0,1899	6,8008	0,1899	0,4593	6,8944	0,4593
2	$b_1$		0,0685	2,4518	0,0685	-0,1552	2,3295	-0,1552
3	$b_2$		0,0333	1,1943	—	0,0168	0,2523	—
4	$b_3$		0,0554	1,9829	—	0,0002	0,0029	—
5	$b_{12}$		0,0818	2,9314	0,0818	0,1520	2,2823	0,1520
6	$b_{13}$		0,0911	3,2618	0,0911	0,1455	2,1837	0,1455
7	$b_{23}$		0,0042	0,1491	—	0,1447	2,1726	0,1447

Тоді регресійні рівняння для даного аналізу матимуть наступний вигляд (4.1-4.2):

а) для варіанту використання без захисного елементу

$$\hat{Y}_1 = 0,1899 + 0,0685 \cdot x_1 + 0,0818 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0911 \cdot x_1 \cdot x_3 \quad (4.1)$$

б) для варіанту використання із наявністю захисного елементу

$$\hat{Y}_2 = 0,4593 - 0,1552 \cdot x_1 + 0,1520 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,11455 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,1447 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (4.2)$$

На основі цих рівнянь були визначені показники  $\hat{Y}_1$  та  $\hat{Y}_2$ , що були занесені до таблиці 4.11. Далі було проведено перехід від отриманих залежностей для умовних величин до залежностей для реальних факторів впливу, визначених у таблиці 4.10 за методикою описаною у підрозділі 2.8.

Рівняння з натуральними змінними буде мати наступний вигляд (4.3-4.4):

$$\begin{aligned} \hat{Y}_1 = & 1,3270 - 0,0091 \cdot PM + 0,0009 \cdot PM \cdot KM - 0,01023 \cdot KM + \\ & + 0,0182 \cdot PM \cdot ДМ - 2,2775 \cdot ДМ \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \hat{Y}_2 = & 4,0657 - 0,0187 \cdot PM + 0,0015 \cdot PM \cdot KM - 0,4432 \cdot KM + \\ & + 0,0229 \cdot PM \cdot ДМ - 6,4813 \cdot ДМ + 0,7235 \cdot KM \cdot ДМ \end{aligned} \quad (4.4)$$

Відповідно до отриманих результатів було побудовано графік залежності (див. рис. 4.3-4.4) параметрів впливу на ймовірність появи відмов у ході сканування маркерів  $I_v = f(PM, ДМ)$  як найбільш вагомих параметрів.

Графічні залежності будувалися для варіанту сканування з відстані 130 см як більш проблемного варіанту, для розмірів та кольорів відповідно до результатів експериментального дослідження (див. розділ 3) та імітаційного моделювання (див. підрозділ 4.1). При аналізі не враховувалися показники матеріалів та спосіб друку, оскільки експеримент показав, що їх вплив не є суттєвим при зчитуванні маркерів.

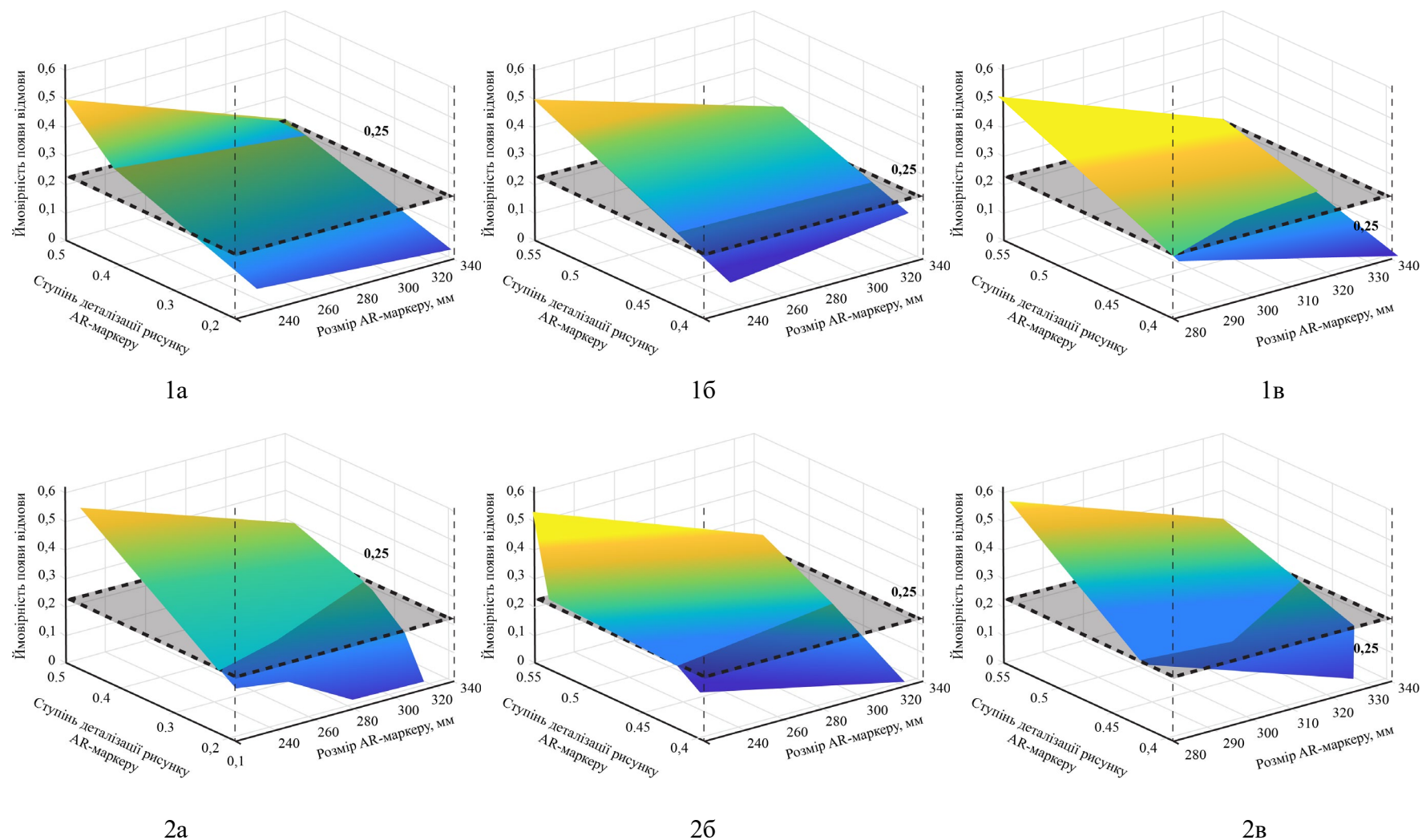


Рисунок 4.3 – Графік залежності ймовірності появи відмови при високому колірному контрасті маркеру та фону:

1 – при відсутності захисного елементу (ступінь контрасту 8:1); 2 – при наявності захисного елементу (ступінь контрасту 12:1)

а – термін експлуатації 1 місяць; б – термін експлуатації 1-2 місяці; в – термін експлуатації 2 місяці і більше

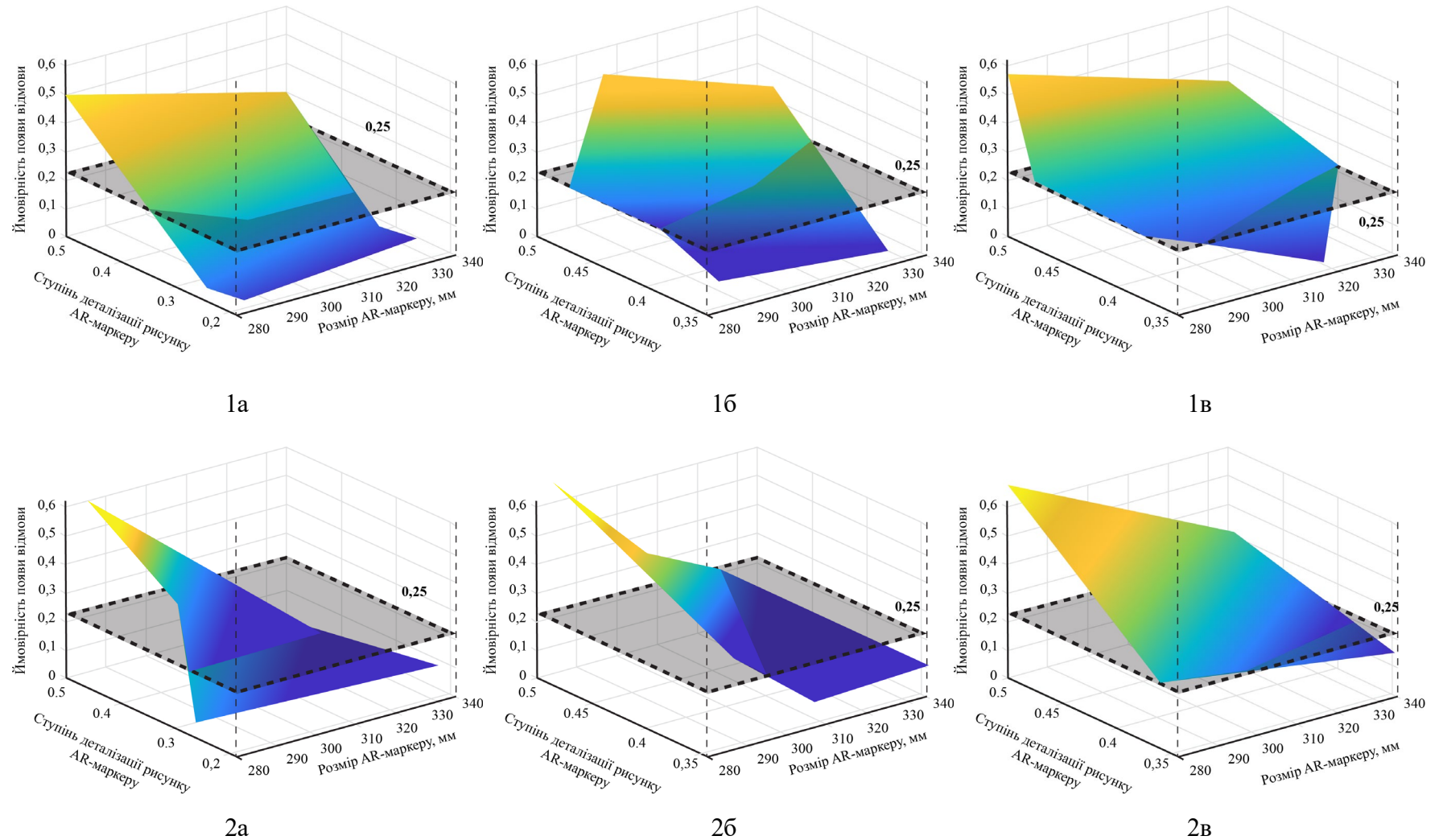


Рисунок 4.4 – Графік залежності ймовірності появи відмови при низькому колірному контрасті маркеру та фону:  
 1 – при відсутності захисного елементу (ступінь контрасту 2:1); 2 – при наявності захисного елементу (ступінь контрасту 4:1)  
 а – термін експлуатації 1 місяць; б – термін експлуатації 1-2 місяці; в – термін експлуатації 2 місяці і більше



Відповідно до аналізу отриманих графіків було визначено раціональні показники маркерів при відповідних умовах, зокрема:

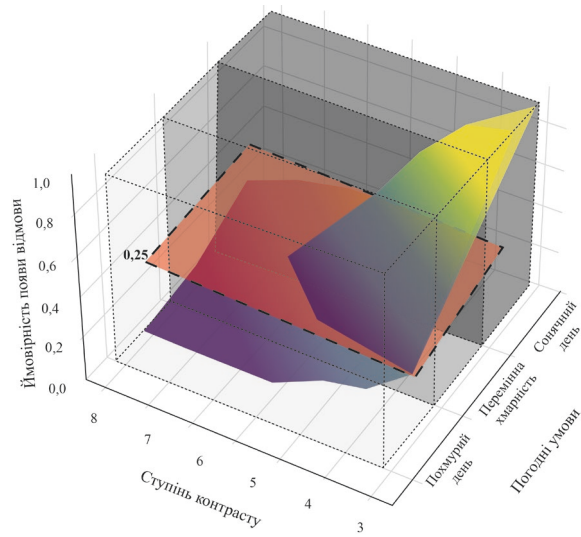
- при експлуатації продукції протягом одного місяця без наявності захисного елементу при ступені контрасту між маркером та фоном від 8 і вище раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  зі ступенем деталізації від 10 до 50%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – маркери розміром від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 40 до 45%; при експлуатації продукції від двох місяців – маркери розміром від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 40 до 50%;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця без наявності захисного елементу при ступені контрасту між маркером та фоном від 3 і вище раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 20 до 40%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації 40-45%; при експлуатації продукції від двох місяців – маркери розміром від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 40 до 50%;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця із наявністю захисного елементу при ступені контрасту між маркером та фоном 10-12 раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 10 до 40%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації 40-45%; при експлуатації продукції від двох місяців – маркери розміром від  $300 \times 300$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації 40%;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця із наявністю захисного елементу при ступені контрасту між маркером та фоном 4-5 одиниць раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 10 до 40%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – від  $315 \times 315$  мм

до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації 40-50%; при експлуатації продукції від двох місяців – маркери розміром від  $320 \times 320$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації 40%.

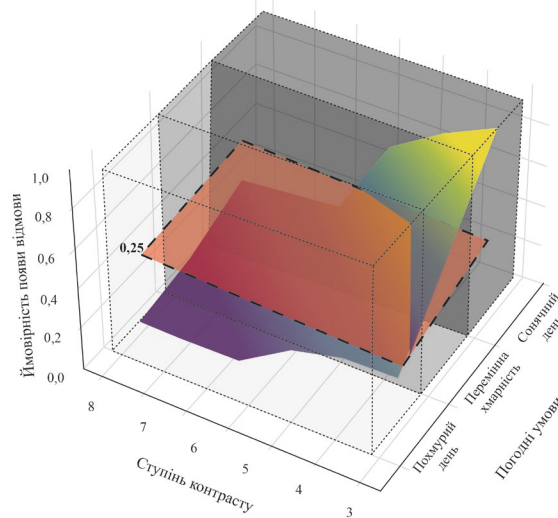
Також було додатково перевірено отримані значення для різних умов освітленості для продукції, термін експлуатації якої становив 3 місяці. Для цього було проведено багатокритеріальне моделювання з використанням програмного коду, наведеного у додатку Л, а також регресійних рівнянь та коду, описаного у додатку Е. Отримані результати наведені на рисунку 4.5-4.6.

Оцінюючи отримані результати, можна зробити наступні висновки:

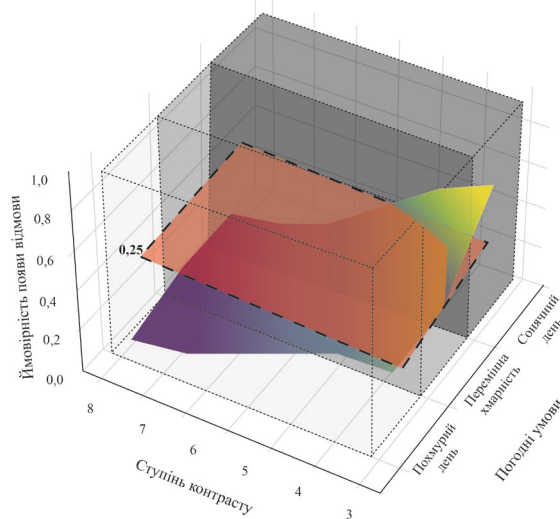
- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом трьох місяців без використання захисного елементу у осінньо-зимовий період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 1000-5000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем контрасту від 4 до 8;
- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом трьох місяців без використання захисного елементу у весняно-літній період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 6000-10000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $300 \times 300$  до  $330 \times 330$  мм зі ступенем контрасту від 6 до 8;
- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом трьох місяців при використанні захисного елементу у осінньо-зимовий період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 1000-5000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $300 \times 300$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем контрасту від 8 до 12;
- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом трьох місяців без використання захисного елементу у весняно-літній період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 6000-10000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $320 \times 320$  до  $330 \times 330$  мм зі ступенем контрасту від 10 до 12.



а



б



в

Рисунок 4.5 – Багатокритеріальне моделювання ймовірності появи відмов в залежності від умов освітленості без наявності захисного елементу:

а – розмір маркеру  $280 \times 280$  мм; б – розмір маркеру  $300 \times 300$  мм; в – розмір маркеру  $330 \times 330$  мм

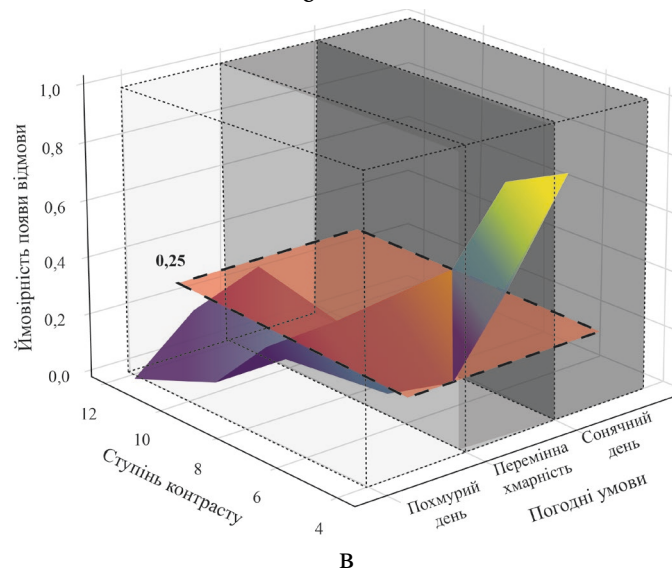
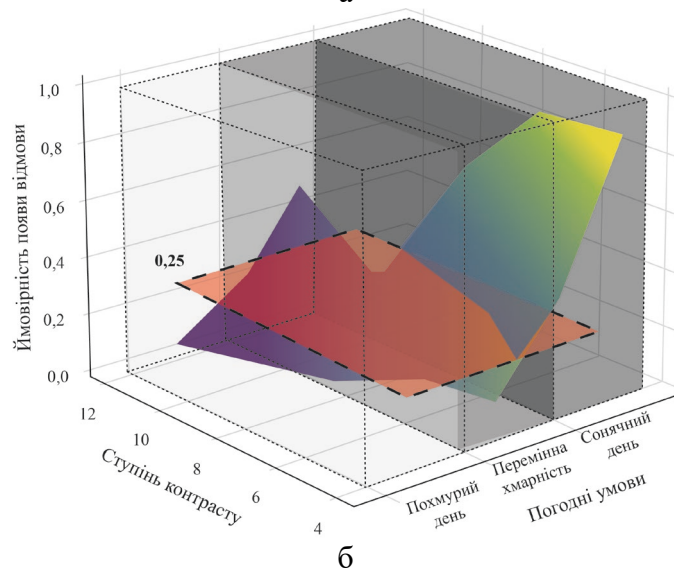
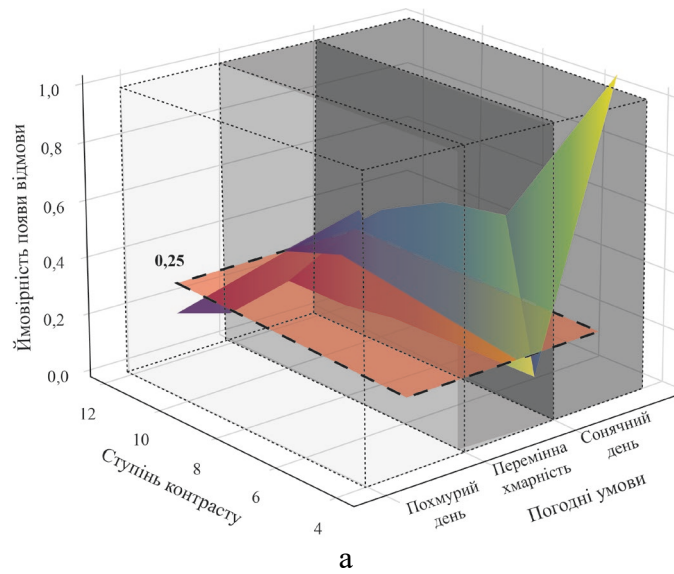


Рисунок 4.6 – Багатокритеріальне моделювання ймовірності появи відмов в залежності від умов освітленості при наявності захисного елементу:

а – розмір маркеру  $300 \times 300$  мм; б – розмір маркеру  $315 \times 315$  мм; в – розмір маркеру  $330 \times 330$  мм

Характеристики AR-маркерів при їх зчитуванні на невеликій відстані (до 50 см) було обрано відповідно до результатів дослідження (див. розділ 3) та аналізу імітаційної моделі процесу створення AR-маркерів (див. підрозділ 4.1) без врахування змін колірного контрасту, оскільки для такого варіанту використання помилки зчитування можна скорегувати зменшенням відстані зчитування.

На основі цього було обрано наступні показники:

- при експлуатації продукції протягом одного місяця без наявності захисного елементу раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $80 \times 80$  мм до  $330 \times 330$  зі ступенем деталізації від 10 до 80%; при експлуатації продукції більше одного місяця – маркери розміром від  $130 \times 130$  мм до  $330 \times 330$  мм зі ступенем деталізації від 40 до 50%;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця при наявності захисного елементу раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $130 \times 130$  мм до  $330 \times 330$  зі ступенем деталізації від 10 до 80%.

#### 4.2.3. Прогнозування коректності зчитування AR-маркерів для білбордів

Аналогічне прогнозування результатів дослідження з використанням регресійного аналізу було проведено також і для білбордів. Фактори впливу були обрані ті ж самі, а їх показники були обрані відповідно до попередніх результатів дослідження (див. розділ 3 та підрозділ 4.1). Отримані результати були занесені до таблиць 4.6-4.7, а більш детально – у додатку К на рисунку К.3. На основі отриманих рівнянь було побудовано графічні залежності ймовірності появи відмов від параметрів впливу  $I_v = f(PM, ДМ)$  як найбільш вагомих параметрів (див. рис. 4.7). Графічні залежності будувалися для розмірів та кольорів відповідно до результатів експериментального дослідження (див. розділ 3) та імітаційного моделювання (див. підрозділ 4.1). При аналізі не враховувалися показники матеріалу, оскільки експеримент показав, що їх вплив не є суттєвим при зчитуванні маркерів.

Таблиця 4.6 – Значення та межі зміни показників факторів впливу

№	Фактори впливу	Умовне позначення	Середнє значення (0-ий рівень)	Межі зміни параметру	Мінімальне та максимальне значення фактору	
					min (-1)	max (+1)
1	Розмір маркеру, мм	X <sub>1</sub>	500	100	200	800
2	Контрастність кольору маркеру та фону	X <sub>2</sub>	5	1	3	7
3	Ступінь деталізації рисунку маркеру	X <sub>3</sub>	0,30	0,10	0,10	0,50

Таблиця 4.7 – Результати статистичного аналізу даних для проведення регресійного моделювання

№ досліду	Кодовані значення факторів				Значення Ів					
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	$\bar{Y}_3$	S <sup>2</sup>	$\hat{Y}_3$
1	+1	-1	-1	-1	0,2560	0,3214	0,5226	0,3667	0,0386	0,8742
2	+1	+1	-1	-1	0,2441	0,3512	0,5714	0,3889	0,0557	0,0429
3	+1	-1	+1	-1	0,2560	0,3512	0,6048	0,4040	0,0650	0,6369
4	+1	+1	+1	-1	0,2857	0,3810	0,5965	0,4210	0,0507	0,1475
5	+1	-1	-1	+1	0,2857	0,3929	0,6333	0,4373	0,0634	0,5059
6	+1	+1	-1	+1	0,3036	0,4107	0,6548	0,4563	0,0648	0,2784
7	+1	-1	+1	+1	0,3214	0,4107	0,6488	0,4603	0,0573	0,4013
8	+1	+1	+1	+1	0,3155	0,4464	0,6429	0,4683	0,0543	0,5157

Таблиця 4.8 – Коефіцієнти регресійних рівнянь

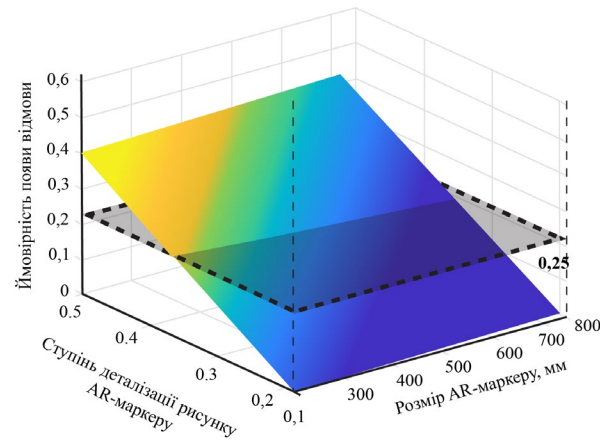
№ досліду	Коефіцієнт	Табличне значення коефіцієнту Ст'юдента	Розрахункове значення	Параметр вагомості	Обрані показники
1	b <sub>0</sub>	2,12 (при f=16, q=0,05)	0,4253	6,2138	0,4253
2	b <sub>1</sub>		-0,1792	2,6181	-0,1792
3	b <sub>2</sub>		0,1505	2,1993	0,1505
4	b <sub>3</sub>		0,1552	2,2674	0,1552
5	b <sub>12</sub>		0,0855	1,2486	—
6	b <sub>13</sub>		0,1510	2,2054	0,1510
7	b <sub>23</sub>		0,0332	0,4848	—

Було отримано наступне регресійне рівняння (4.5):

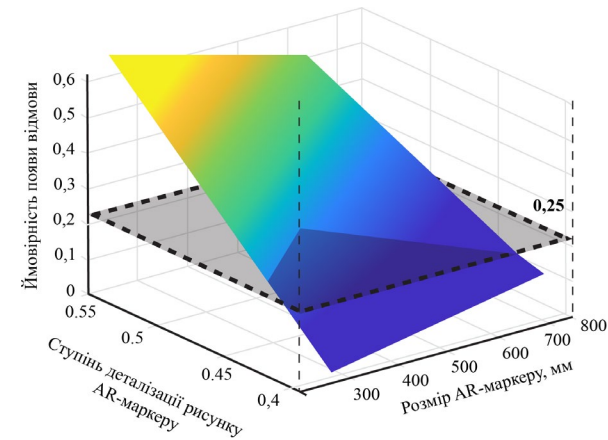
$$\hat{Y}_3 = 0,4253 - 0,1792 \cdot x_1 + 0,1552 \cdot x_2 + 0,1552 \cdot x_3 + 0,1510 \cdot x_1 \cdot x_3 \quad (4.5)$$

Рівняння з натуральними змінними буде мати наступний вигляд (4.6):

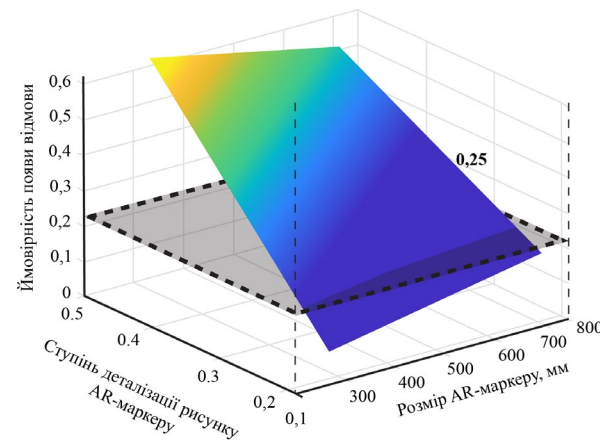
$$\hat{Y}_3 = 2,3682 - 0,4632 \cdot PM + 0,1505 \cdot KM - 5,998 \cdot DM + 0,0151 \cdot PM \cdot DM \quad (4.6)$$



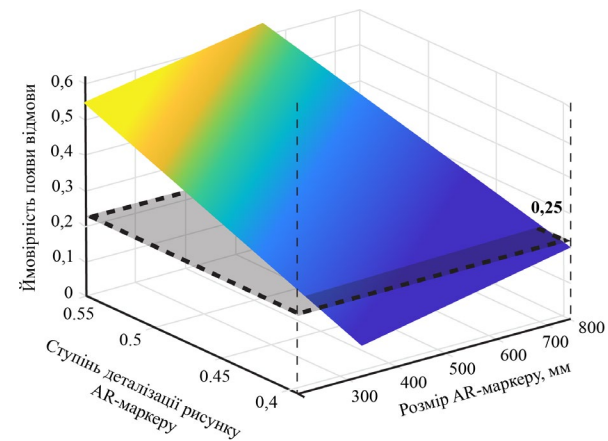
1a



1б



2a



2б

Рисунок 4.7 – Графік залежності ймовірності появи відмови при високому колірному контрасті маркеру та фону:

1 – ступінь колірного контрасту маркеру та фону 7:1; 2 – ступінь колірного контрасту маркеру та фону ступінь контрасту 3:1

а – термін експлуатації 1 місяць; б – термін експлуатації 1-2 місяці

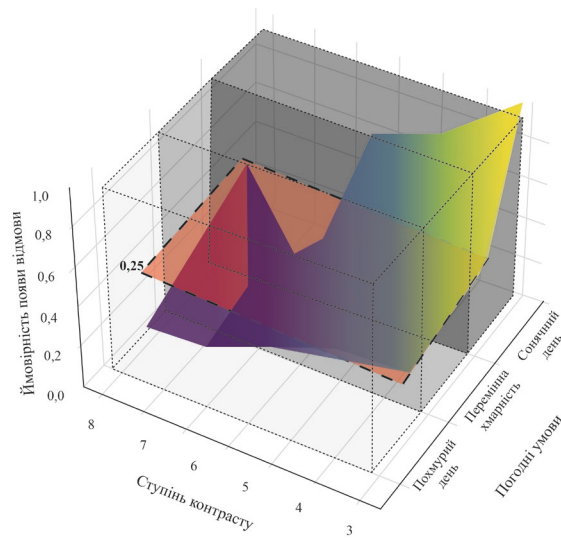
Проаналізувавши отримані графіки було встановлені наступні раціональні показники маркерів, що витримуватимуть відповідні умови використання білбордів при зчитуванні з відстані 330 см, зокрема:

- при експлуатації продукції протягом одного місяця при ступені контрасту між маркером та фоном від 7 і вище раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $230 \times 230$  мм до  $800 \times 800$  мм зі ступенем деталізації від 10 до 40%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – маркери розміром від  $300 \times 300$  мм до  $800 \times 800$  мм зі ступенем деталізації від 40 до 50%;
- при експлуатації продукції протягом одного місяця при ступені контрасту між маркером та фоном від 3 і вище раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $300 \times 300$  мм до  $800 \times 800$  мм зі ступенем деталізації від 10 до 40%; при експлуатації продукції від одного до двох місяців – від  $450 \times 450$  мм до  $800 \times 800$  мм зі ступенем деталізації 40-50%.

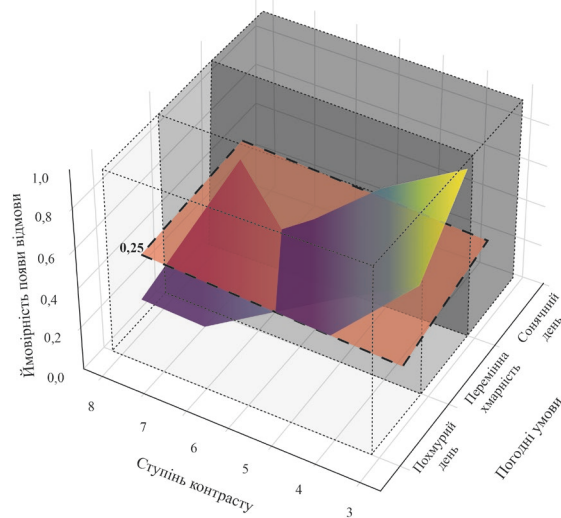
Також було проведено багатокритеріальне моделювання з використанням програмного коду, наведеного у додатку Л, а також регресійних рівнянь та коду, описаного у додатку Е. для визначення особливостей зчитування отриманих параметрів маркерів для різних умов освітленості для продукції, термін експлуатації якої становив 2 місяці. Отримані результати наведені на рисунку 4.8. Оцінюючи отримані результати, можна зробити наступні висновки:

- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом двох місяців у осінньо-зимовий період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 1000-5000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $500 \times 500$  мм до  $800 \times 800$  мм зі ступенем контрасту від 4 до 7;
- при експлуатації продукції з маркерами доповненої реальності протягом двох місяців у весняно-літній період (переважну кількість часу рівень освітленості складає 6000-10000 лк – див. Додаток Г) рекомендоване використання маркерів у розмірах від  $500 \times 500$  до  $800 \times 800$  мм зі ступенем контрасту від 6-7.

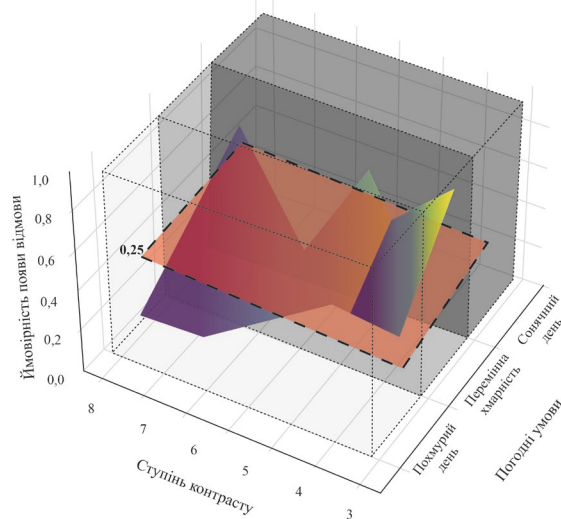




а



б



в

Рисунок 4.8 – Багатокритеріальне моделювання ймовірності появи відмов в залежності від умов освітленості при наявності захисного елемента:

а – розмір маркеру  $300 \times 300$  мм; б – розмір маркеру  $500 \times 500$  мм; в – розмір маркеру  $800 \times 800$  мм

Характеристики AR-маркерів при їх зчитуванні на невеликій відстані (до 130 см) було обрано відповідно до результатів дослідження (див. розділ 3) та імітаційного моделювання (див. підрозділ 4.1) без врахування змін колірного контрасту, оскільки для такого варіанту використання помилки зчитування можна скорегувати зменшенням відстані зчитування.

На основі цього було обрано наступні показники:

- при експлуатації продукції протягом одного місяця – маркери розміром від  $180 \times 180$  мм до  $800 \times 800$  зі ступенем деталізації від 10 до 50%;
- при експлуатації продукції більше одного місяця при наявності захисного елемента раціональні показники маркеру наступні – маркери розміром від  $230 \times 230$  мм до  $800 \times 800$  зі ступенем деталізації від 40 до 50%.

#### 4.3. Удосконалення технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності

Зважаючи на всі отримані раніше результати та отримані рішення було визначено наступну концепцію вибору конструкції AR-маркерів відповідно до умов використання відповідної продукції вуличної реклами, що увиразнено у вигляді наступного алгоритму удосконалення технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності, що наведений на рисунку 4.9-4.11. На основі аналізу розробленого алгоритму було розроблено ряд рекомендацій щодо вибору показників маркерів доповненої реальності відповідно до параметрів експлуатації друкованої продукції, у контент якої їх буде впроваджено.

Розроблені рекомендації були застосовані для проведення повторного дослідження для підтвердження висвітлених у роботі результатів. Для цього були роздруковані тестові зразки у форматах з відповідними параметрами, що були окреслені у рекомендаціях. Зразки були відскановані в рекомендованих умовах і параметрах. Ці результати підтвердили отримані теоретичні та практичні дані дослідження.

Проведення експерименту та повторного дослідження виконувалося на базі підприємства ТОВ «Салютіс Прінт». Результати дослідження були впроваджені в процес виконання ряду друкованої продукції, що успішно пройшли тестування в реальних умовах.

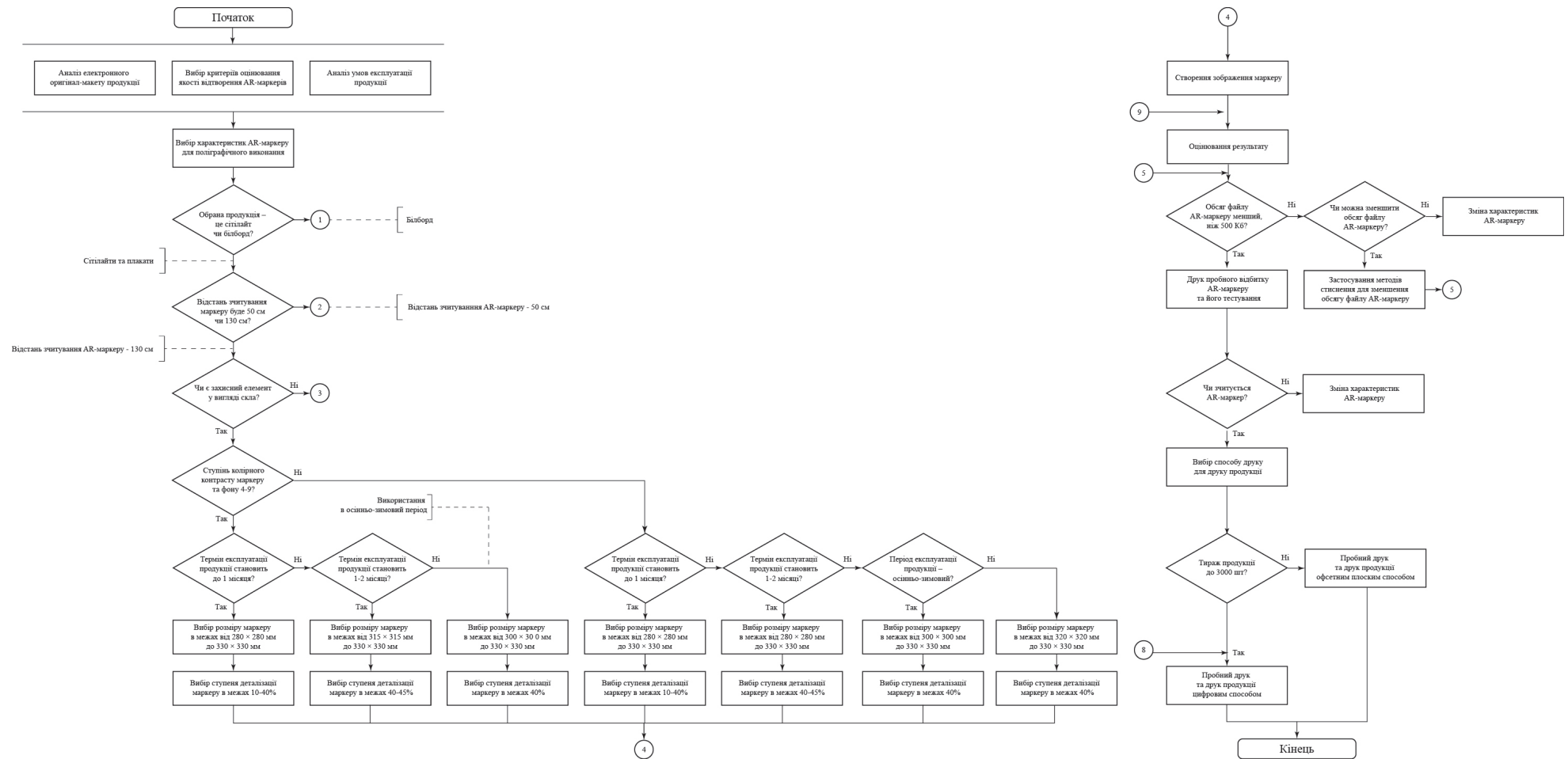


Рисунок 4.9 – Алгоритм технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності при різних умовах її використання (початок)

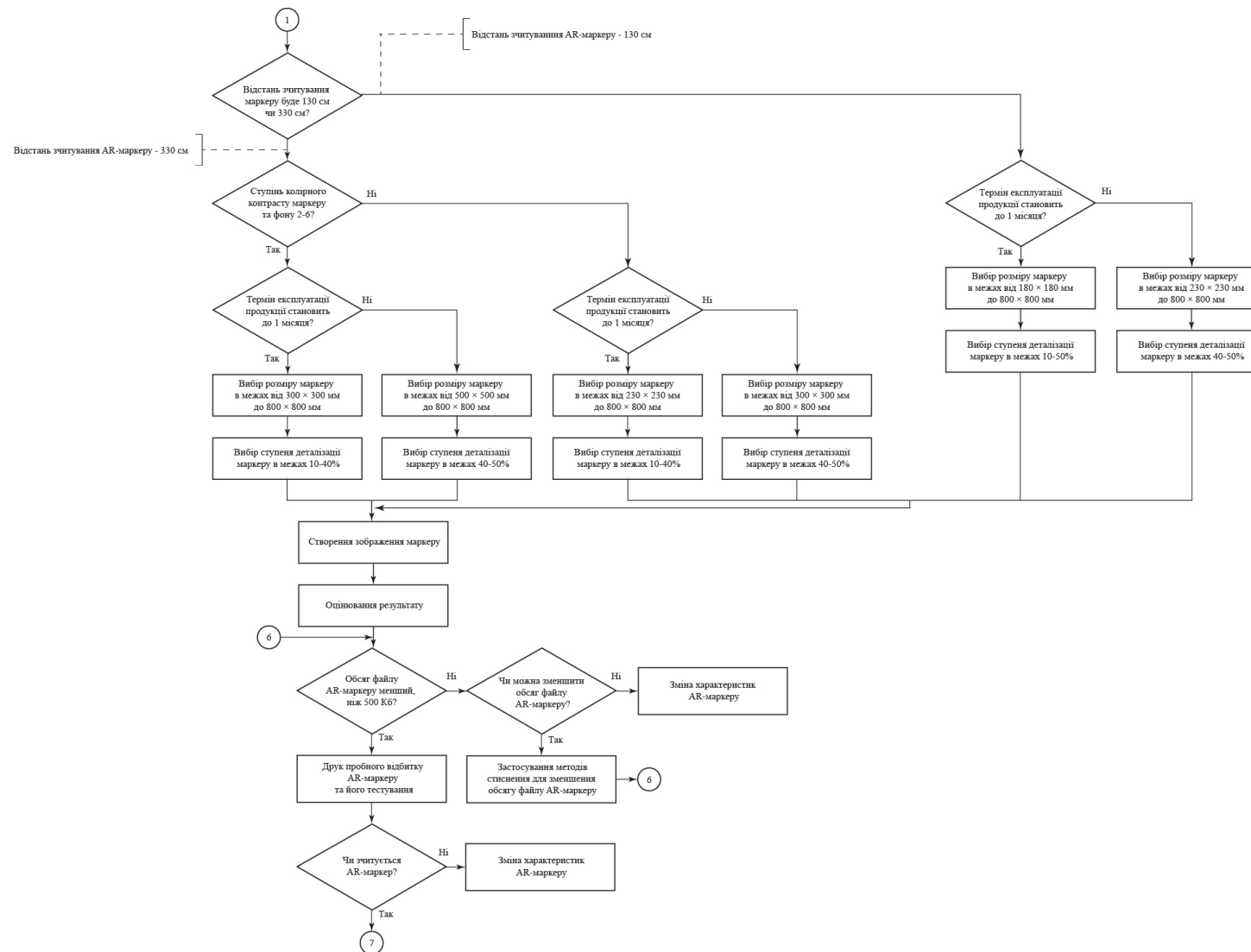


Рисунок 4.10 – Алгоритм технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності при різних умовах її використання (продовження)

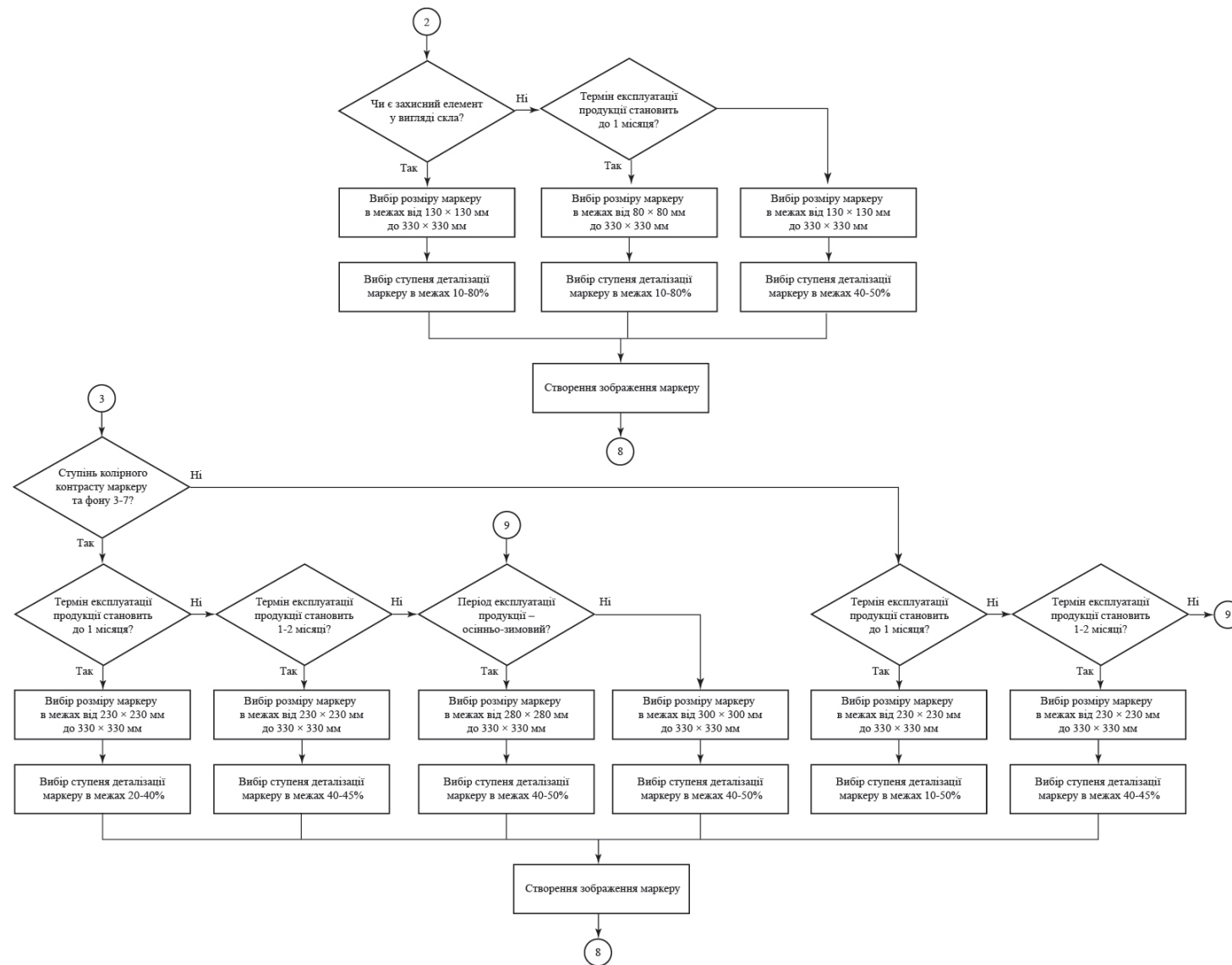


Рисунок 4.11 – Алгоритм технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності при різних умовах її використання (закінчення)

Проаналізувавши отриманий алгоритм, було розроблено рекомендації для практичного застосування отриманих результатів дослідження для кожної групи продукції вуличної реклами:

1. Сітілайти та плакати (розмір –  $1200 \times 1200$  мм):

1.1. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 50 см, відсутній додатковий захисний елемент (скло):

1.1.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $80 \times 80$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-80%;
- мінімальний рекомендований ступінь контрасту між маркером та фоном – 3-4;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцевого або матового оракалі або папері із масою  $1 \text{ м}^2$  до  $120 \text{ г/м}^2$ .

1.1.2. Термін експлуатації продукції – два-три місяці:

- рекомендований розмір – від  $130 \times 130$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- мінімальний рекомендований ступінь контрасту між маркером та фоном – 4-5;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцевого або матового оракалі.

1.2. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 50 см, наявний додатковий захисний елемент (скло):

1.2.1. Термін експлуатації продукції – 1-3 місяці:

- рекомендований розмір – від  $130 \times 130$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-80%;
- мінімальний рекомендований ступінь контрасту між маркером та фоном – 3-4;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;

- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі.

1.3. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 130 см, відсутній додатковий захисний елемент (скло):

1.3.1. Колірний контраст між маркером та фоном – 3-7:

1.3.1.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 20-40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі або папері із масою  $1 \text{ м}^2$  до  $120 \text{ г/м}^2$ .

1.3.1.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від  $230 \times 230$  мм до  $310 \times 310$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-45%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі.

1.3.1.3. Термін експлуатації продукції – три місяці:

- рекомендований розмір – від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм (тільки в осінньо-зимовий період);
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі.

1.3.2. Колірний контраст між маркером та фоном – 8 і більше:

1.3.2.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $230 \times 230$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;

- друк на глянцево́му або матово́му оракалі або папері із масою 1 м<sup>2</sup> до 120 г/м<sup>2</sup>.

#### 1.3.2.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від 230 × 230 мм до 330 × 330 мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-45%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі або папері із масою 1 м<sup>2</sup> до 120 г/м<sup>2</sup>.

#### 1.3.2.3. Термін експлуатації продукції – три місяці:

- рекомендований розмір – від 280 × 280 мм до 330 × 330 мм (в осінньо-зимовий період), 300 × 300 мм до 330 × 330 мм (весняно-літній період);
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі.

### 1.4. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 130 см, наявний додатковий захисний елемент (скло):

#### 1.4.1. Колірний контраст між маркером та фоном – 4-9:

##### 1.4.1.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – рекомендований розмір – від 300 × 300 мм до 330 × 330 мм (в осінньо-зимовий період), 320 × 320 мм до 330 × 330 мм (весняно-літній період);
- рекомендований ступінь деталізації 10-40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцево́му або матово́му оракалі або папері із масою 1 м<sup>2</sup> до 120 г/м<sup>2</sup>.

##### 1.4.1.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від 315 × 315 мм до 330 × 330;



- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцевого або матового оракалі.

#### 1.4.1.3. Термін експлуатації продукції – три місяці:

- рекомендований розмір – рекомендований розмір – від  $300 \times 300$  мм до  $330 \times 330$  мм (в осінньо-зимовий період),  $320 \times 320$  мм до  $330 \times 330$  мм (весняно-літній період);
- рекомендований ступінь деталізації 40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцевого або матового оракалі.

#### 1.4.2. Колірний контраст між маркером та фоном – 10 і більше:

##### 1.4.2.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцевого або матового оракалі або папері із масою  $1 \text{ м}^2$  до  $120 \text{ г/м}^2$ .

##### 1.4.2.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від  $280 \times 280$  мм до  $330 \times 330$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-45%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку або плоским офсетним;
- друк на глянцевого або матового оракалі або папері із масою  $1 \text{ м}^2$  до  $120 \text{ г/м}^2$ .

##### 1.4.2.3. Термін експлуатації продукції – три місяці:

- рекомендований розмір – рекомендований розмір – від  $300 \times 300$  мм до  $330 \times 330$  мм (в осінньо-зимовий період),  $320 \times 320$  мм до  $330 \times 330$  мм (весняно-літній період);

- рекомендований ступінь деталізації 40;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк цифровим способом друку;
- друк на глянцевоому або матовому оракалі.

Загальні рекомендації щодо виконання окремих технологічних операцій з виготовлення сітілайтів та плакатів з доповненою реальністю:

- не рекомендовано застосовувати додаткові оздоблювальні операції (тиснення, лакування) до віддрукованих маркерів доповненої реальності та друкованої продукції загалом для уникнення можливості зміни колірного контрасту;
- не рекомендовано застосовувати для друку фарби з різними ефектами (флуорисцентні, металічні пігменти тощо);
- не рекомендоване висікання частин маркеру або поруч із маркером в межах до 10-20 мм для уникнення втрати інформації.

## 2. Білборди (розмір – 3000 × 6000 мм):

### 2.1. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 130 см:

#### 2.1.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від 180 × 180 мм до 800 × 800 мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-50%;
- мінімальний рекомендований ступінь контрасту між маркером та фоном – 2-3;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;
- друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

#### 2.1.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від 230 × 230 мм до 800 × 800 мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;

- друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

## 2.2. Умови експлуатації – відстань зчитування маркерів до 330 см:

### 2.2.1. Колірний контраст між маркером та фоном – 3-6:

#### 2.2.1.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $300 \times 300$  мм до  $800 \times 800$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;
- друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

#### 2.2.1.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір –  $500 \times 500$  мм до  $800 \times 800$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;
- друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

### 2.2.2. Колірний контраст між маркером та фоном – 7 і більше:

#### 2.2.2.1. Термін експлуатації продукції – до одного місяця:

- рекомендований розмір – від  $230 \times 230$  мм до  $800 \times 800$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 10-40%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;
- друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

#### 2.2.2.2. Термін експлуатації продукції – два місяці:

- рекомендований розмір – від  $500 \times 500$  мм до  $800 \times 800$  мм;
- рекомендований ступінь деталізації 40-50%;
- обсяг файлу маркеру доповненої реальності – до 500 Кб;
- друк широкоформатним цифровим способом друку;

– друк на матеріалах для друку широкоформатної продукції (наприклад, банерна тканина).

Загальні рекомендації щодо виконання окремих технологічних операцій з виготовлення друкованої продукції із доповненою реальністю четвертої групи:

– не рекомендовано застосування маркерів для продукції, яка буде ділитися на рівномірні частини, що будуть кріпитися до певної конструкції (наприклад, призматрон), що може призвести до втрати інформації при скануванні та порушення цілісності зображення маркеру.

### Висновки до четвертого розділу

1. Розроблено імітаційна модель системи елементу доповненої реальності з визначенням раціональних показників розміру та ступеня деталізації маркерів відповідно до особливостей зчитування у відповідних умовах використання продукції.

2. Проведено регресійний аналіз для прогнозування коректності процесу відтворення елементів доповненої реальності з визначенням раціональних показників маркерів доповненої реальності відповідно до умов використання продукції вуличної реклами.

3. Розроблено систему удосконалення технологічного процесу виготовлення продукції з доповненою реальністю у вигляді алгоритму, що дозволяє мінімізувати вплив умов експлуатації обраної продукції вуличної реклами на зчитування маркерів доповненої реальності пристроєм.

4. Розроблено основні рекомендаційні засади використання маркерів доповненої реальності для увиразнення друкованої продукції (зокрема вуличної реклами) відповідно до розміру продукції та умов її експлуатації – розміру, кольору та ступеня деталізації рисунку маркеру – та умов їх експлуатації – задруковуваний матеріал, наявність додаткового захисного елементу, рівня освітленості, вологості, погодних умов тощо.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання поставлених задач дисертаційної роботи було досліджено таке науково-технічне завдання, як визначення особливостей, залежностей та закономірностей впливу особливостей експлуатації та поліграфічного виконання друкованої продукції з доповненою реальністю (показники матеріалу та фарби, умови використання, спосіб отримання відбитків) на роботу системи «оригінал-задруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів та методи і засоби їх вимірювання» загалом та на відтворення маркерів доповненої реальності зокрема. У ході було отримано такі результати:

1. Проведено аналітичне дослідження встановлення факторів впливу на якість відтворення контентної складової друкованої продукції із елементами доповненої реальності. Було систематизовано та класифіковано існуючі технології доповненої реальності, види маркерів доповненої реальності, системи розпізнавання маркерів доповненої реальності, сфери застосування доповненої реальності та друкованої продукції, у контент якої її можна впровадити. За аналізом фахової літератури та інформаційних джерел, а також аналізу ринку друкованої продукції було встановлено основні тенденції розвитку та наукових досліджень у сфері доповненої реальності та встановлено актуальні напрямки для проведення подальших досліджень, встановлено наукову гіпотезу дослідження, що полягає у можливості стабілізації процесу відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю відповідно до зовнішніх умов їх використання шляхом керування параметрами маркерів на стадії їх проєктування.

2. Вперше розроблено інформаційну модель процесу розпізнавання маркерів доповненої реальності з використанням методів декомпозиції та аналізу з встановленням математичних залежностей між елементами інформаційного, енергетичного та матеріального потоків. Встановлено, що характер рисунку друкованого маркеру та характеристики пристрою відтворення суттєво впливають на стабільність процесу відтворення доповненої реальності.

3. Вперше встановлено вплив характеристик маркеру доповненої реальності, дії факторів зовнішнього середовища, відстані сканування, характеристик задрукованого матеріалу на стабільність процесу відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю..

4. Було розроблено систему факторів впливу на роботу системи «оригінал-задруковуваний матеріал-відбиток-система сканування маркерів та методи і засоби їх вимірювання» з використанням методу ієрархій з визначенням найбільш вагомих факторів впливу, серед яких було визначено наступні: колір задрукованого матеріалу; щільність задрукованого матеріалу; гнучкість задрукованого матеріалу; текстурність задрукованого матеріалу; наявність додаткового покриття; стійкість до дії зовнішніх факторів матеріалу; в'язкість фарби; глянець фарби; прозорість фарби; стійкість до дії зовнішніх факторів фарби; розмір маркеру; контрастність маркеру і фону; ступінь деталізації маркеру; інтенсивність освітлення; рівномірність освітлення; світлова температура; погодні умови; наявність додаткового захисного елементу; умови зберігання продукції з маркером; спосіб друку; кількість фарб; обсяг даних; відстань та параметри фокусування приладів, керування якими здатне забезпечити раціоналізувати системи апаратного забезпечення для створення та відтворення елементів доповненої реальності для друкованої продукції.

5. Розроблено систему критеріїв якості відтворення маркерів з визначенням комплексних, групових та одиничних показників та вагомості групових критеріїв за методикою Т. Сааті, а також альтернативи виконання процесів. При цьому враховувався вплив системи факторів впливу на процес відтворення маркерів доповненої реальності. Було встановлено, що найбільш вагомими критеріями є безвідмовність роботи маркеру та відповідність параметрів дизайну маркеру. Встановлено, що найраціональнішим варіантом для розроблення елементу доповненої реальності, що забезпечить стабілізацію якості процесу відтворення додаткового контенту, є розробка на основі програмного коду.

6. Розроблена методика вибору параметрів маркерів відповідно до їх поліграфічного виконання, умов експлуатації та характеристик друкованої продукції, де вони застосовуються, яка дозволяє стабілізувати процес

відтворення контентної складової друкованої продукції із доповненою реальністю та сприяє раціоналізації процесу тестування.

7. Проведено регресійний аналіз залежності ймовірності появи відмов при розпізнавання та відтворені маркерів доповненої реальності від параметрів їх поліграфічного виконання (розмір маркеру, ступінь деталізації рисунку маркеру, рівень контрастності між маркером та фону, обсяг даних файлу маркеру) та умов їх експлуатації (рівень освітленості, вологість, час сканування, відстань фокусування). Отримані залежності дозволяють прогнозувати ступінь впливу цих параметрів на появу заданого показника відмов, що дозволить виконувати превентивні заходи ще на етапі проєктування друкованої продукції з елементами доповненої реальності, що дозволить стабілізувати процес її подальшої експлуатації.

8. Розроблено рекомендації щодо поліграфічного виконання AR-маркерів відповідно до умов експлуатації друкованої продукції з елементами доповненої реальності, що дозволяють унормувати технологічний процес створення такого роду друкованої продукції та суттєво зменшити витрати на підбір раціональних параметрів маркерів та виконання його етапів відповідно до цього.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранова Д. І. Критерії коректного відтворення елементів доповненої реальності у друкованій продукції / Д. І. Баранова // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – К., 2022. – № 1(75) – С. 48-58
2. Баранова Д. І. Дослідження процесу відтворення елементів доповненої реальності / Д. І. Баранова // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. – К., 2022. – № 3(77) – С. 54-63
3. Баранова, Д. І. (2023). Рационалізація розміру AR-маркерів залежно від способу репродукування та умов експлуатації друкованої продукції із доповненою реальністю. Технологія і техніка друкарства, (3(81), 46-58. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(81\).2023.290945](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(81).2023.290945).
4. Баранова Д. І. Визначення раціонального ступеня деталізації рисунка надрукованих AR-маркерів / Д. І. Баранова // Поліграфія і видавнича справа: зб. наук. пр. – Львів: УАД, – Вип. №2 (86). 2023. – С.49–59.
5. Баранова Д. І. Визначення параметрів маркерів в залежності від умов використання друкованої AR-продукції [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». – К.: НАУ, 2024 – С. 201-204
6. Баранова Д. І. Регресійне математичне моделювання успішного зчитування AR-елементів [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». – К.: НАУ, 2024 – С. 205-208
7. Баранова Д. І. Розроблення інформаційної моделі технологічної операції тестування об'єктів доповненої реальності / Д. І. Баранова, В. М. Скиба, Т. В. Розум // Наукові записки: зб. наук. пр. – Львів: УАД, – Вип. №1 (62). 2021. – С.29-41.
8. Baranova, Daryna and Skyba, Vasyl and Rozum, Tetiana and Zolotukhina, Kateryna, Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements (February 25, 2022). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (115)), 51–65, 2022. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>, Available at SSRN:



<https://ssrn.com/abstract=4068854>. – DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>

9. Баранова, Д. І., Скиба, В. М. (2023). Дослідження кольоровідтворення AR-маркерів за різних умов експлуатації друкованої продукції. Технологія і техніка друкарства, (4(82)), 49–60. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(82\).2023.291100](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(82).2023.291100).

10. Баранова Д. І. Systematization of AR-technology [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та системи». – Харків: ФОП Бровін О.В., 2021. – С. 5

11. Баранова Д. І., Скиба В. М. Чинники, що визначають коректність зчитування маркерів доповненої реальності[Текст]: матеріали I Міжнародної науково-теоретичної конференції «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives». – Вільнюс: European Scientific Platform, 2021. – С. 20-22

12. Azuma, R. T. (1995). Predictive Tracking for Augmented Reality. [Doctoral thesis, University of North Carolina]. UNC Chapel Hill Department of Computer Science. Retrieved April 28, 2021, from <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

13. R. Azuma, A Survey of Augmented Reality Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pp. 355-385, August 1997

14. Волинець В. О. Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем [Текст] / В. О. Волинець // Питання культурології. Мистецтво та культура, навчальні практики. – 2021. – doi: <https://doi.org/10.31866/2410-1311.37.2021.23732>

15. Щегельська Ю. П. Особливості застосування технологій доповненої реальності як інструмента перетворення друкованої продукції на тривимірну в практиці промоційних комунікацій [Текст] / Ю. П. Щегельська // Поліграфія і видавнича справа. Соціальні комунікації. – 2019. – doi: 10.32403/0554-4866-2019-1-77-101-110

16. Бізюк А. В. Вибір оптимального алгоритма розпізнавання маркера для доповненої реальності [Текст] / А. В. Бізюк, М. О. Мажуга // Системи обробки інформації. Інфокомунікаційні системи. – 2017. – DOI:10.30748/soi.2017.150.10

17. Експеримент із технологією доповненої реальності у вебі (front-end only) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dou.ua/lenta/articles/web-ar/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

18. Історія та еволюція технології доповненої реальності [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ts2.space/uk/історія-та-еволюція-технології-допов/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

19. 5 Types of AR and How They Improve Online Shopping [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.shopify.com/blog/types-of-ar>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

20. Types of AR [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://digitalpromise.org/initiative/360-story-lab/360-production-guide/investigate/augmented-reality/getting-started-with-ar/types-of-ar/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

21. Що таке доповнена реальність [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

22. Що таке AR? Поняття доповненої реальності [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/what-is-ar.html>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

23. Баранова Д.І. Дослідження тенденцій розвитку застосування технології доповненої реальності [Текст]: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2023). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. – С. 76-78

24. 3 DIFFERENT TYPES OF AR EXPLAINED: MARKER-BASED, MARKERLESS & LOCATION [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.blippar.com/blog/2018/08/14/marker-based-markerless-or-location-based-ar-different-types-of-ar>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

25. Custom AR Markers vs. QR Markers: What Is It, The Differences, and How to Insert [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.assemblrworld.com/blog/assemblr-custom-ar-markers-qr-markers-tutorial>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

26. Історія та еволюція технології доповненої реальності [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ts2.space/uk/історія-та-еволюція-технології-допов/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

27. Коротка історія VR та AR: від Virtual Boy до Reality Pro [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ilounge.ua/ua/review/korotka-istoriya-vr-ta-ar/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

28. Jung, T., & Claudia tom Dieck, M. (2018). Augmented reality and virtual reality: Empowering human, place and business (Progress in IS). Cham, Switzerland: Springer. Retrieved April 26, 2021, from <https://www.worldcat.org/title/augmented-reality-and-virtual-reality-empowering-human-place-and-business/oclc/1008871983>

29. Prasad B., Goswamib M. L. (2021). Advancements in augmented reality. Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.696>.

30. Vuforia Engine [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developer.vuforia.com/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

31. Аналіз ринку доповненої та віртуальної реальності (AR VR) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gameishard.gg/uk/news/аналіз-ринку-доповненої-та-віртуальн/192364/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

32. Останні тенденції та аналіз зростання ринку доповненої реальності та віртуальної реальності (AR і VR) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gameishard.gg/uk/news/останні-тенденції-та-аналіз-зростанн/158770/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

33. Ventana Research. Augmented reality in marketing and sales [Електронний ресурс] / Ventana Research. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2ne79Ci>

34. Augmented Reality, AR [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/dopolnennaja-realnost-ar>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

35. Пат. US2021192846 КНР, МПК H04W4/023 Система доповненої реальності [Текст] / Хилл Іі Роберт Рейнолдс; Шах Хітешем; Хаддад Амір. – № 2021192846; заявл. 11.11.2020; опубл. 24.06.2021. – 25с.: іл.

36. Пат. KR20210055664А Республіка Корея, МПК G06T19/006 Система, сервер, метод та носій запису для забезпечення фотокартки доповненої реальності [Текст] / Сіндо Кан. – № 20210055664; заявл. 10.05.2021; опубл. 24.11.2021. – 42с.: іл.

37. Пат. US20210174578A1 США, МПК G06T17/00 Відстеження зображень і хмар точок і в системах доповненої реальності [Текст] / Натан Юргенсон,

Линджи Луо, П Джонатан М., Родригес, Рахул Шет, Цзя Ли, Сютао Ур. – № 20210174578; заявл. 10.02.2021; опубл. 05.07.2022. – 38с.: іл.

38. Пат. GB2564239A Сполучене королівство, МПК G06T19/006 Визначення завдань доповненої реальності і допомога в будівництві, ремонті та виробництві [Текст] / Джей Шустер Майкл. – № 2564239; заявл. 16.05.2018; опубл. 16.06.2021. – 96с.: іл.

39. Пат. DE102020109794 Німеччина, МПК G02B27/0172 Пристрій доповненої реальності для людей з проблемами зору [Текст] / Джонхён Кім, Девід Любке, Джуй-І Ву. – № 102020109794; заявл. 08.04.2020; опубл. 15.10.2020. – 45с.: іл.

40. Пат. FR3080935 Франція, МПК G06T19/006 Метод і система генерації доповненої реальності одразу на пристрій користувача [Текст] / П'єрр Аддум, Сільвайн Гуарем, Євген Хрущов, Євген Домбровський. – № 3080935; заявл. 02.05.2018; опубл. 22.05.2020. – 28с.: іл.

41. Пат. JP2021064412 Японія, МПК G06Q30/0261 Пристрої, системи та методи доповненої реальності для покупок [Текст] / Келер Адріан; Брадський Гері; Крішна Семмі Прасана; Лі Донг. – № 2021064412; заявл. 18.01.2021; опубл. 02.12.2022. – 43с.: іл.

42. Баранова Д. І. Тенденції розвитку технології доповненої реальності [Текст]: тези доповідей 19-ї між. наук.-техн. конф. студентів і аспірантів «Друкарство молоде» – К.:ВПК «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 39-42.

43. Jung, T., & Claudia tom Dieck, M. (2018). Augmented reality and virtual reality: Empowering human, place and business (Progress in IS). Cham, Switzerland: Springer. Retrieved April 26, 2021, from <https://www.worldcat.org/title/augmented-reality-and-virtual-reality-empowering-human-place-and-business/oclc/1008871983>

44. Prasad B., Goswamib M. L. (2021). Advancements in augmented reality. Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.696>.

45. Catalán, A., Gidlöf F. (2018). Exploring the Use of Augmented Reality in the Experience Industry [Doctoral thesis, Upsala University]. Faculty of Science and Technology. April 28, 2021 <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223688/FULLTEXT01.pdf>.

46. Баранова Д. І., Скиба В. М. Систематизація сфер застосування доповненої реальності [Текст]: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет конференції студентів, магістрантів та аспірантів. – Львів : УАД, 2021. – С. 125-127

47. Баранова Д.І. Дослідження тенденцій розвитку застосування технології доповненої реальності [Текст]: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2023). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. – С. 76-78

48. Доповнена реальність (Augmented Reality, AR) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://lookinar.com/uk/rozyasnennya/dopovnena-realnistaugmented-reality-ar/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

49. The Gigantic List of Augmented Reality Use Cases [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.uploadvr.com/augmented-reality-use-cases-list/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

50. The Future of Augmented Reality: 10 Awesome Use Cases [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.futurebusinesstech.com/blog/future-of-augmented-reality-10-awesome-use-cases>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

51. Augmented Reality 101: Top AR use-cases [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wikitude.com/blog-augmented-reality-101-ar-top-use-cases/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

52. 5 Use Cases of Augmented Reality for Enterprise [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arborxr.com/blog/use-cases-of-augmented-reality-for-enterprise/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

53. Баранова Д. І. Увиразнення елементів системи «чорна скринька» для технологічного процесу створення AR-елементів [Текст]: матеріали міжнародної наукової конференції «Відповідні тенденції наукових досліджень у країнах Центральної та Східної Європи». – Рига: Baltija Publishing, 2020. – С. 183-187

54. Баранова Д. І. Екологічні тенденції у сфері друку, окреслені на виставці DRUPA [Текст]: матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (PMW-2021). – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2021. – С. 40-41

55. CJV30 Series [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mimaki.com/product/inkjet/print-cut/cjv30-series/specification.html>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

56. 4 Colour POLLY Prestige 474, Sheet Fed [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.indiamart.com/proddetail/polly-prestige-474-23798743855.html?srltid=AfmBOopf\\_ltW7j4Eq9nUeiCWSSei1qSuddm\\_ZtnTKpIwF7X3txvJDCR5](https://www.indiamart.com/proddetail/polly-prestige-474-23798743855.html?srltid=AfmBOopf_ltW7j4Eq9nUeiCWSSei1qSuddm_ZtnTKpIwF7X3txvJDCR5), вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

57. AVALON N16 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gpmi.ie/wp-content/uploads/2017/07/Avalon-N16-Datasheet.pdf>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

58. ORACAL® 641 Economy Cal [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.orafol.com/products/europe/en/technical-data-sheet/oracal-641-economy-cal-3550-technical-data-sheet-europe-en.pdf>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

59. Frontlit [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://plastics.ua/product/00-00015550/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

60. Coated Two Sides Art Paper [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.goldeastpaper.com.hk/en/products\\_detail.php?id=5](https://www.goldeastpaper.com.hk/en/products_detail.php?id=5), вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

61. Екосольвентні чорнила Mimaki BS3 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mediaprint.ua/product/ekosolventnye-chernila-mimaki-bs3.html?srltid=AfmBOopS0lcT5oYzZue3ucQO2pfOftVA43zCv2rxYj2z3y6msCKhXTpS>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

62. OFFSET PRINTING INK [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dongyanginken.imweb.me/COMAX>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

63. Aiyinda 603 Thermal CTP Plate [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.careerhkltd.com/product/ayinda-603-thermal-ctp-plate/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

64. Varn Supreme [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.flintgrp.com/media/jrynhc3a/varn\\_supreme\\_8168.pdf](https://www.flintgrp.com/media/jrynhc3a/varn_supreme_8168.pdf), вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

65. SPRAY POWDER [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://agsservice.com.au/product/spray-powder-varn-regular-fine-1kg/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

66. Mi 10T [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mi.com/nl/mi-10t/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

67. i1Basic Pro 2 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.xrite.com/pl-pl/categories/calibration-profiling/i1basic-pro-2>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

68. SIGETA Expert [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sigeta.com.ua/products/tsyfrovuj-mikroskop-sigeta-expert-10-300x-5-0mpx.html#technical>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

69. Light Master G3 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.opple.eu/en/product/lamps/light-master/light-master-g3/light-master-iii>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

70. ARCore supported devices [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developers.google.com/ar/devices>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

71. Augmented Reality Code [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ar-code.com/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

72. Дозволи на вивіску [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://1-rk.com.ua/uk/dozvoli-na-vivisku>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

73. Розміщення зовнішньої реклами на білбордах [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.2s-outdoor.com.ua/ua/billboards/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

74. Розміщення зовнішньої реклами на на сітілайтах [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.2s-outdoor.com.ua/ua/citylights/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

75. Швидкість має значення: який оптимальний час завантаження сайту? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://web-promo.ua.ua/blog/skorost-imeet-znachenie-kakoe-optimalnoe-vremya-zagruzki-sajta/>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

76. Друк білбордів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://print.outdoor-online.com.ua/uk/print-billboard>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

77. Постери [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://urd.com.ua/posters>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

78. Друк сітілайтів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://b2b.svprint.com.ua/druk-sitilajtiv-citylight-12x18-m>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

79. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/#relativeluminancedef>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

80. Contrast Checker [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://webaim.org/resources/contrastchecker/>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

81. Дорош А. К. Теорія ймовірностей та математична статистика. Навч. посібник [Текст] / А. К. Дорош, О. П. Коханівський. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – 268 с.

82. Теорія статистики [Текст] : Навчальний посібник / П. Г. Вашків, П. І. Пастер, В. П. Сторожук, Є. І. Ткач ; П.Г.Вашків, П.І.Пастер, В.П.Сторожук. – К.: Либідь, 2001. – 320 с. – ISBN 966-06-0187-5.

83. Штангрет А.М. Статистика: навч. посібник [Текст] / А. М. Штангрет, О. І. Копилук. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 232 с

84. Цідило, І. М. Імітаційне моделювання засобами MATLAB у структурі підготовки інженера-педагога [Текст] / І. М. Цідило, Т. І. Ковальський // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Педагогіка / гол. ред. Г. Терещук ; редкол.: І. Задорожна, В. Кравець, Л. Морська [та ін.]. – Тернопіль : ТНПУ, 2013. – № 1. – С. 31–39.

85. Кожухівський, А. Д. Імітаційне моделювання систем та процесів в середовищі MATLAB [Електронний ресурс]: практикум / А. Д. Кожухівський, О. А. Кожухівська; М-во освіти і науки України, Черкаський державний технологічний ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2009. – 76 с.

86. Методичні вказівки до лабораторної роботи на тему: «Побудова імітаційних моделей динамічних систем у Simulink» [Електронний ресурс] –



Режим доступу: <https://ua.kursoviki.com.ua/metodychki/5020-metodichni-vkazivki-do-laboratornoi-roboti-na-temu-pobudova-imitatsiynikh-modeley-dinamichnikh-sistem-u-simulink>, вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

87. Баранова Д. І., Штефан Є. В. Проблемно-орієнтовані засоби забезпечення якості аг-технологій поліграфічних виробництв [Текст]: матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 "Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів". – Луцьк : ЛНТУ, 2022. – С. 218-219

88. Розробка статистичної моделі процесу хімічної технології методом повного факторного експерименту [Текст]: метод. вказівки до викон. домашн. контр. роботи для студ. напрямку підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» / уклад. Бойко Т. В.б Абрамова А. О. - К.: ХТФ НТУУ "КПІ" 2012. – 27 с.

89. Основи регресійного аналізу [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://vysloukh.in.ua/6\\_Regres\\_analiz1.pdf](http://vysloukh.in.ua/6_Regres_analiz1.pdf), вільний. – Назва з екрану – Мова укр.

90. Working with Device Databases [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developer.vuforia.com/library/objects/device-databases>, вільний. – Назва з екрану – Мова англ.

**ДОДАТОК А**  
**ПАТЕНТНИЙ ПОШУК**

Таблиця А.1 – Патентний пошук

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
1	Японія JP4880350B2 G06T15/20	Карігунано Андореа, Маручіні Шимона Японія, 03/05/2005	Система доповненої реальності для ідентифікації реального об'єкта маркера [1]
2	США US9761057B2 G06T19/006	Томас Джордж Салтер, Бен Саджден, Деніел Дептфорд, Тобіас Кіненбрю, Алекс Кіпман Майкл Клюхер США 25/06/2013	Індикація зображень доповненої реальності, що знаходяться поза зоною зору [2]
3	Німеччина DE202009019122U1 G06F3/04845	Німеччина, 20/03/2008	Мобільна система для віртуальної та доповненої реальності [3]
4	Німеччина DE102008055528A1 G01S5/30	Шиваппа Нінгаппа Бангалор Горавар, Вайно Падманабхан Бангалор Кумар, Кумар Анандраж Бангалор Сенгупта Німеччина, 20/03/2008	Система і спосіб для «довповненої реальності» – Огляд та візуалізації даних [4]
5	Китай CN105027033B G06F3/011	Арпіте Міталл, Джуліано Маржок, Майкл Л. Турнелъ, Пол Март, Китай, 14/02/2013	Об'єкти доповненої реальності для вибору методу, механізмів і машиночитаного носія [5]
6	Китай, CN102667811B G06K9/3216	Генрі Лян Китай, 03/08/2010	Вирівнювання об'єктів у доповненій реальності [6]
7	Японія, JP4880350B2 G06T15/20	Каліньяно Андреа, Мартіні Симона Японія 05/03/2005	Система доповненої реальності для ідентифікації реального об'єкта-маркера [7]
8	Японія JP5709906B2 G09B21/005	Діа Раме, Оранжу Міра, Дагурасо Буранчадо, Чару Зуші, До Ші, Тимоші Ші, Тимоші Єму, Шу Дору, Джереми Єму Японія 24/02/2010	Панорама доповненої реальності для людей з вадами зору [8]
9	Японія JP6262127B2 A63H33/042	Мушу Яра, Шидо Хасабукі Хаму Ян Фанбіку, Хаму Ян Фандабіде, Арейн Гуїйон, Нікорасу Дабіде, Японія 23/05/2011	Конструкція системи іграшок з доповненою реальністю [9]

## Продовження таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
10	США US9417691B2 H04W4/021	Петрос Белімпасакіс Мікко Алекси Уусітало Тімо Ранталайнен США 26/03/2010	Метод і пристрій для середовища доповненої реальності однорангового зв'язку [10]
11	США US9677840B2 F41A33/00	Стефан Дж. Рубльовський Калєб Кларк Край США 14/03/2014	Симулятор доповненої реальності [11]
12	Китай CN105191282B G06T19/006	Джулія Нуо Ма Кіао Кі Енделю М. Ай Фу Лі Те Китай 13/03/2014	Метод і пристрій для виявлення маркерів доповненої реальності [12]
13	Китай CN107209386A G06T19/006	С Лей Му Сі Бі, Джей Тангпусен, Д Ао Сі Бен, Китай, 14/01/2016	Область перегляду об'єкта доповненої реальності [13]
14	Китай CN102411854B	Чжоу Чжініні, Лі Чаолун, Се Юбін, Лін Шичен, Вень Шулей, Сюй Сяофен, Го Вей Китай 01/09/2011	Система застосування технологій мікшування в класній кімнаті на основі доповненої реальності і спосіб її застосування [14]
15	Німеччина DE202012006008U1 G06T11/00	Німеччина 20/06/2012	Інформаційно-довідкова система доповненої реальності для відвідувачів музеїв, виставок, мистецьких аукціонів, художніх ярмарків, мистецьких подій, мистецтва, історії та архітектури [15]
16	Німеччина DE112017001718T5 G06F3/017	Рон Ференс, Барак Гурвіц, Каміла Дорін, Гіла Камхі, Німеччина 01/03/2017	Доповнена реальність у полі зору, що включає відображення [16]
17	Німеччина DE112016004640T5 H04N21/816	Крістофер Дефарія Грегорі Гевіке, Майкл Сміт Льюїс Островер Німеччина 10/10/2016	Кінематографічна обробка для віртуальної і доповненої реальності [17]
18	Китай CN106030665B G09G5/026	Е Мен Де Сі Мен Де Сі Китай 27/02/2015	Створення реалістичного кольору у середовищі доповненої реальності [18]
19	Німеччина DE102013016244A1 G06T19/006	Крістіан Грюнлер, Вільгельм Вільке, Тобіас Троппер, Адам Шаттон, Маркус Хамморі, Ларс Люце, Марк Некер Німеччина 01/10/2013	Спосіб і пристрій для показу доповненої реальності [19]
20	Китай CN102147658B	Сюй Чжунцзе Китай 12/02/2011	Спосіб і пристрій для реалізації взаємодії доповненої реальності (AR) і мобільного терміналу [21]

## Продовження таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
21	Японія JP6367926B2 G06F3/04815	Рафаеру Гурасетто, Хатамотто Санхіта Японія 14/02/2013	Доповнена реальність (ar) захоплення і відтворення [21]
22	Японія JP4977725B2 G06F3/016	Сан Вук, Ван Ха Ха, Рюч Тесін, Парк Бем Шань, Лі Янг, Японія 04/02/2009	Метод та система гаптичної взаємодії в доповненій реальності [22]
23	Японія JP2017522682A G06T19/006	Ян Мінг Ксіонг Японія 14/07/2014	Портативний пристрій перегляду і метод на основі технології доповненої реальності [23]
24	Японія JP2009020614A	Асако Кімура, Тошіічі Осіма, Фуміхіса Шибата, Хидеюки Тамура, Рюхей Тенме Японія 10/07/2007	Маркерний блок, що використовується для системи доповненої реальності, системи доповненої реальності, системи підтримки створення блоків маркерів і програми підтримки створення блоків маркерів [24]
25	Японія JP2016509293A G06T19/006	Піюшу Шарума, Рамін Резайфа Японія 03/01/2013	Візуалізація доповненої реальності на основі об'єкта переднього плану [25]
26	Японія JP2013521544A G06F3/0304	Кюї Рі Японія 28/02/2011	Доповнена реальність маніпулятора [26]
27	Японія JP2016539668A G06T19/006	Да Суї, Саумітора Мохангупута, Раджаруші Подоурі, Самера Кухорошаді, Бефуй Розу Японія, 24/09/2014	Система, метод і програма доповненої реальності [27]
28	США US9721395B2 G06T19/006	Кальвін Чан, Джеффри Ніл Марголіс, Ендрю Пірсон, Мартін Шеттер, Ашраф Айман Міхаїл, Баррі Корлетт США 17/11/2016	OLED-дисплей з перепроєктування для доповненої реальності [28]
29	США US8433336B2 G01C21/3438	Таесунг Лі, Юнкунг Лі, Тахун Лім, Джоїл Лі, Хайсук Джеон США 30/04/2013	Спосіб наведення маршруту з використанням доповненої реальності і мобільного терміналу з використанням одного і того ж [29]
30	США US9648436B2 H04S5/00	Ноа Крафт, Річард Фріц Ланман, Джефф Бейкер, Гінтс Кліманіс, Ентоні Паркс, США 24/12/2015	Звукова система з доповненою реальністю [30]

## Продовження таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
31	США US8542906B1 G06T19/00	Карл Дж. Перссон, Томас Х. Вілсон США 21/05/2008	Зміщення і накладання зображення доповненої реальності [31]
32	США US9717981B2 A63F9/24	Стівен Джон Роббінс, Вільям Дж. Вестерінен, Ліза М. Хансон, Сун Хо Сон, Річард Дж. Уотлс США 05/04/2012	Доповнена реальність і фізичні ігри [32]
33	США US8830267B2 G06Q10/06	Ларрі Дж. Бракні США 15/11/2010	Інструмент для створення доповненої реальності [33]
34	США US20110181497A1 G02B27/017	Рони Равів США 28/07/2011	Об'єктна ігрова система доповненої реальності [34]
35	США US10223859B2 G07F17/3211	Скотт А. Массинг, Деймон Е. Гура, Даніель П. Луї, Джессі Сміт, Джеймі Ванн США 01/05/2014	Ігрові окуляри доповненої реальності [35]
36	США US10176521B2 G06Q30/0643	Ерік Тодечіні США 16/06/2016	Віртуальний продукт доповненої реальності для відображення [36]
37	Німеччина DE202014103729U1 H04N13/239	Німеччина 09/09/2014	Доповнена реальність з виявленням руху [37]
38	Німеччина DE102018207088A1 G06T19/006	Ніколас Корсо, Майкл Патрік Куттер, Шон Ніу, Колін Джон Тейлор, Марк Скотт Вальдо Німеччина 15/11/2018	Аналіз зображень без маркера для доповненої реальності [38]
39	Німеччина DE102015015503A1 B25J9/1671	Тошіакі Камої, Гоу Інаба Німеччина 09/06/2016	Система роботів з сумісним дисплеєм доповненої реальності [39]
40	Китай CN104798109B G06T11/60	Вумей Шен К Пан Ді, Квайн Де Ла Сай Ке На Сі Лі Ні Ва Санг Китай 22/07/2015	Спосіб і пристрій для організації віртуальних об'єктів у відображенні доповненої реальності [40]
41	Китай CN103389579B G02B27/0172	Д Д Бо Єн Китай 13/11/2013	Непрозорість пікселів для доповненої реальності [41]
42	Китай CN102037485B G06F3/04845	Джулії Сі С Джі Ао Фей, Ай Лі Ке Р Буер Ке, Ху Ан М Луо Пейсі, Китай 25/09/2013	Мобільна система віртуальної і доповненої реальності [42]
43	Китай CN103582893B G06T11/60	Е Ке Лю Ге Лі Ке Китай 13/10/2017	Двовимірні зображення для представлення доповненої реальності і придбання [43]

## Продовження таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
44	Китай CN208621844U	Ма Жаншань, Тянь Веньхон, Чжан Хаоцзін, Ян Ран, Сан Чжію, Ге Вей, Чжен Чао Китай 19/03/2019	Обладнання доповненої реальності [44]
45	Японія JP2018170775A	Ацуші Еджіма, Сатоші Еджіма, Сае Еджіма, Сейїчі Секігучі, Масаїчі Секігучі, Сейїчі Секігучі Японія 01/11/2018	Апарат для візуалізації, спосіб і програма візуалізації [45]
46	США US10095929B1 G06K9/00671	Джейсон Річард Гувер, Міка Прайс, Суніль Субрахманьям Васішт, США 09/10/2018	Системи і методи для показу доповненої реальності [46]
47	Китай CN109655077A	Чень Тао, Ван Яньлун, Ма Бінбін, Мяо Шунь Пінг Китай 19/04/2019	Спосіб обробки навігаційних даних і пристрій обробки для пристрою відображення з доповненою реальністю [47]
48	Китай CN109584654A	Чень Цзінін, Ван Юймін Китай 05/04/2019	Своєрідна система вивчення англійської мови та метод на основі AR [48]
49	Південна Корея KR20190006584A G06T11/60	Квон Джай Хьйун Південна Корея 18/01/2019	Спосіб і пристрій для відображення об'єкта доповненої реальності на основі розпізнавання геометрії [49]
50	США US20080071559A1 G06Q30/06	Джуха Арошвуорі США 20/03/2008	Доповнена реальність помічника з покупок [50]
51	США US20100171758A1 G06T17/05	Пол В. Маассель, Джастін Томас США 08/07/2010	Спосіб і система для генерації сигналів доповненої реальності [51]
52	Японія JP4926817B2 G06T7/73	Соно ко Маеда, Кенджі Моріта, Дайсуке Кодаке, Казукі Такемото Японія 11/08/2006	Пристрій і спосіб вимірювання інформації про розташування маркерів [52]
53	Японія JP5055516B2 G02B27/017	Йохан Баїротто Японія 26/05/2006	Система та спосіб відображення інструкцій з технічного обслуговування та інструкцій з експлуатації пристрою з використанням доповненої реальності [53]
54	Китай CN100534158C G06T15/50	Да дао Денгжуші, Фу Шоу Яо Китай 27/07/2006	Генерація зображень, що поєднують реальні та віртуальні зображення [54]
55	Франція FR2941786B1 G02B27/0172	Рахїд Хамдані, Зіле Лю Німеччина 08/06/2010	Портативний пристрій високої дисплейної головки і доповненої реальності [55]

## Продовження таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
56	Німеччина DE102006004731A1 G03B37/00	Лоран Чавінь Німеччина 02/02/2006	Позиція камери та / або метод визначення орієнтації для системи віртуальної або доповненої реальності, включає виявлення об'єкта реального зображення та визначення положення камери та / або орієнтації [56]
57	Німеччина DE102007041719B4 G03B21/12	Олівер Бімбер, Ансельм Грюндхофер, Даніель Колстер, Стефані Золманн Німеччина 11/06/2006	Метод генерування доповненої реальності в просторі [57]
58	Франція FR2911463B1 H04N5/445	Валентин Лефевр, Ніколас Лайт, Алан Саварі Франція 01/12/2007	Спостереження в режимі реального часу доповненої реальності і методу роботи пристрою [58]
59	Канада CA2815526C G06T19/006	Аві Бар-Зеев, Джон Льюїс Канада 18/11/2010	Покращення автоматичного фокусування для дисплеїв розширеної реальності [59]
60	Канада CA2766005C G06T11/60	Джука Маттіла, Ханну Ніємінен Канада 25/06/2009	Спосіб і пристрій для призначеного для користувача інтерфейсу доповненої реальності [60]
61	Канада CA2850074C G06Q30/0643	Натан Сакхо Канада 27/10/2011	Візуалізація предметів з використанням доповненої реальності [61]
62	Великобританія GB2520146A G06K9/00402	Ерік Тодешіні Великобританія 24/09/2013	Захоплення підпису доповненої реальності [62]
63	Великобританія GB2501567A G06T19/006	Крістіан Стерніцце Великобританія 25/04/2012	Система отримання інформації про доповнену реальність [63]
64	Великобританія GB2499498A G06T7/75	Саймон Джон Тейлор Великобританія 23/12/2011	Розташування ідентифікатора в даних зображення і в поданні доповненої реальності [64]
65	Європейський офіс патентів EP1720131B1 G06T15/20	Андреа Каріньяно, Сімона Мартіні Європейський офіс патентів 08/04/2009	Система доповненої реальності з ідентифікацією об'єкта реального маркера [65]
66	Європейський офіс патентів EP2652940B1 G06F3/013	Кеті Стоун Перес, Аві Бар-Зеев, Сагі Кац Європейський офіс патентів 22/02/2018	Розуміння і заснований на намірах контент для відображень доповненої реальності [66]
67	Всесвітня організація інтелектуальної власності WO2009102138A2 G06F3/04815	На Вон На, Вон Так Ву Всесвітня організація інтелектуальної власності 12/02/2008	Настільна система мобільної доповненої реальності для персоналізації та співпраці, а також метод взаємодії з використанням доповненої реальності [67]



## Кінець таблиці А.1

№	Країна, що видала патент, вид і номер охоронного документу, класифікаційний номер, МКВ	Заявник з вказівкою країни, номеру заявки, дати пріоритету, конвенційний пріоритет, дата публікації	Суть поданого технічного рішення й мета його здійснення за змістом опису винаходу
68	Всесвітня організація інтелектуальної власності WO2011106520A1 G09B21/005	Дуглас Міллер, Чарльз Бланшар, Тімоті С. Дорсі, Джеремі М. Судол Всесвітня організація інтелектуальної власності 01/09/2011	Панорама доповненої реальності, що підтримує осіб із вадами зору [68]
69	Південна Корея KR101469398B1 G06K9/3258	Хеон-Іль Гу, Таевон Лі, Косеон Ю, Йонг-Джі Баег Південна Корея 12/04/2014	Текстова 3D доповнена реальність [69]
70	Південна Корея KR101309176B1 G06F3/013	Хі Сеоп Нам, Донг-Кюнг, Йонг-Хо Лі, Санг-Гук Лі, Янг-Цзінг Хун Південна Корея 23/09/2013	Апарат і спосіб доповненої реальності [70]

## СПИСОК ПАТЕНТІВ

1. Пат. JP4880350B2 Японія, МПК G06T15/20; Система доповненої реальності для ідентифікації реального об'єкта маркера [Текст] / Карігунано Андореа, Маручіні Шимона. – № 4880350B2; заявл. 13.01.2005; опубл. 03.05.2005. – 2с.: іл.

2. Пат. US9761057B2 США, МПК G06T19/006; Індикація зображень доповненої реальності, що знаходяться поза зоною зору [Текст] / Томас Джордж Салтер, Бен Саджден, Деніел Дептфорд, Тобіас Кіненбрю, Алекс Кіпман, Майкл Ключер. – № 9761057B2; заявл. 13.07.2012; опубл. 25.06.2013. – 6с.: іл.

3. Пат. DE202009019122U1 Німеччина, МПК G06F3/04845; Мобільна система для віртуальної та доповненої реальності [Текст] / Алекс Кіпман. – № 202009019122U1; заявл. 20.03.2007; опубл. 20.03.2008. – 2с.: іл.

4. Пат. DE102008055528A1 Німеччина, МПК G06F3/04845; Система і спосіб для «доповненої реальності» – Огляд та візуалізації даних [Текст] / Шиваппа Нінгаппа Бангалор Горавар, Вайно Падманабхан Бангалор Кумар, Кумар Анандраж Бангалор Сенгупта. – № 102008055528A1; заявл. 20.03.2007; опубл. 20.03.2008. – 2с.: іл.

5. Пат. JP2009020614A Японія; Маркерний блок, що використовується для системи доповненої реальності, системи доповненої реальності, системи підтримки створення блоків маркерів і програми підтримки створення блоків маркерів [Текст] / Асако Кімура, Тошіічі Осіма, Фуміхіса Шибата, Хидеюки Тамура, Рюхей Тенме. – № 2009020614A; заявл. 23.08.2011; опубл. 10.07.2007. – 7с.: іл.

6. Пат. CN105027033B Китай, МПК G06F3/011; Система і спосіб для «доповненої реальності» – Огляд та візуалізації даних [Текст] / Арпіте Міталл, Джуліано Маржок, Майкл Л. Турнель, Пол Март, Кумар Анандраж Бангалор Сенгупта. – № 102008055528A1; заявл. 23.08.2011; опубл. 14.02.2013. – 5с.: іл.

7. Пат. CN102667811B Китай, МПК G06K9/3216; Вирівнювання об'єктів у доповненій реальності [Текст] / Генрі Лян. – № 102667811B; заявл. 05.09.2009; опубл. 03.08.2010. – 2с.: іл.

8. Пат. JP4880350B2 Японія, МПК G06T15/20; Система доповненої реальності для ідентифікації реального об'єкта-маркера [Текст] / Генрі Лян. – № 4880350B2; заявл. 30.09.2004; опубл. 05.03.2005. – 3с.: іл.

9. Пат. JP5709906B2 Японія, МПК G09B21/005; Панорама доповненої реальності для людей з вадами зору [Текст] / Діа Раме, Оранжу Міра, Дагурасо Буранчадо, Чару Зуші, До Ші, Тимоші Ші, Тимоші Єму, Шу Дору, Джеремі Єму. – № 5709906B2; заявл. 25.05.2008; опубл. 24.02.2010. – 4с.: іл.

10. Пат. JP6262127B2 Японія, МПК A63H33/042; Конструкція системи іграшок з доповненою реальністю [Текст] / Мушу Яра, Шидо Хасабукі, Хаму Ян Фанбіку, Хаму Ян Фандабіде, Арейн Гуїйон, Нікорасу Дабіде, Нікорасу Разоне. – № 6262127B2; заявл. 25.07.2010; опубл. 23.05.2011. – 7с.: іл.

11. Пат. US9417691B2 США, МПК H04W4/021; Метод і пристрій для середовища доповненої реальності однорангового зв'язку [Текст] / Петрос Белімпасакіс, Мікко Алекси Уусітало, Тімо Ранталайнен. – № 9417691B2; заявл. 10.09.2009; опубл. 26.03.2010. – 6с.: іл.

12. Пат. US9677840B2 США, МПК F41A33/00; Симулятор доповненої реальності [Текст] / Стефан Дж. Рубльовський, Калєб Кларк Край. – № 9677840B2; заявл. 11.12.2013; опубл. 14.03.2014. – 3с.: іл.

13. Пат. CN105191282B Китай, МПК G06T19/006; Метод і пристрій для виявлення маркерів доповненої реальності [Текст] / Джулія Нуо Ма Кіао Кі, Енделю М. Ай Фу Лі Те. – № 105191282B; заявл. 22.12.2013; опубл. 13.03.2014. – 5с.: іл.

14. Пат. CN107209386A Китай, МПК G06T19/006; Область перегляду об'єкта доповненої реальності [Текст] / С Лей Му Сі Бі, Джей Тангпусен, Д Ао Сі Бен. – № 107209386A; заявл. 25.03.2015; опубл. 14.01.2016. – 5с.: іл.

15. Пат. CN102411854B Китай; Система застосування технологій мікшування в класній кімнаті на основі доповненої реальності і спосіб її застосування [Текст] / Чжоу Чжиіні, Лі Чаолун, Се Юбін, Лін Шичен, Вені Шулей, Сюй Сяофен, Го Вей. – № 102411854B; заявл. 21.02.2010; опубл. 01.09.2011. – 8с.: іл.

16. Пат. DE202012006008U1 Німеччина, МПК G06T11/00; Інформаційно-довідкова система доповненої реальності для відвідувачів музеїв, виставок, мистецьких аукціонів, художніх ярмарків, мистецьких подій, мистецтва, історії та архітектури [Текст] / Майкл Клюхер. – № 202012006008U1; заявл. 23.11.2011; опубл. 20.06.2012. – 6с.: іл.

17. Пат. DE112017001718T5 Німеччина, МПК G06F3/017; Доповнена реальність у полі зору, що включає відображення [Текст] / Рон Ференс, Барак Гурвіц, Каміла Дорін, Гіла Камхі. – № 112017001718T5; заявл. 11.01.2016; опубл. 01.03.2017. – 3с.: іл.

18. Пат. DE112016004640T5 Німеччина, МПК H04N21/816; Кінематографічна обробка для віртуальної і доповненої реальності [Текст] / Крістофер Дефарія, Грегорі Гевіке, Майкл Сміт, Льюїс Островер. – № 112016004640T5; заявл. 11.12.2015; опубл. 10.10.2016. – 6с.: іл.

19. Пат. CN106030665B Китай, МПК H04N21/816; Створення реалістичного кольору у середовищі доповненої реальності [Текст] / Е Мен Де Сі Мен Де Сі. – № 106030665B; заявл. 11.01.2013; опубл. 27.02.2015. – 3с.: іл.

20. Пат. DE102013016244A1 Німеччина, МПК G06T19/006; Спосіб і пристрій для показу доповненої реальності [Текст] / Крістіан Грюнлер, Вільгельм Вільке, Тобіас Троппер, Адам Шаттон, Маркус Хамморі, Ларс Люце, Марк Некер, Дірк Ольшевський. – № 102013016244A1; заявл. 15.12.2012; опубл. 01.10.2013. – 3с.: іл.

21. Пат. CN102147658B Китай; Спосіб і пристрій для реалізації взаємодії доповненої реальності (AR) і мобільного терміналу [Текст] / Сюй Чжунцзе. – № 102147658B; заявл. 11.07.2009; опубл. 12.02.2011. – 5с.: іл.

22. Пат. JP6367926B2 Японія, МПК G06F3/04815; Доповнена реальність (ar) захоплення і відтворення [Текст] / Рафаеру Гурасетто, Хатамотто Санхіта. – № 102147658B; заявл. 04.09.2012; опубл. 14.02.2013. – 7с.: іл.

23. Пат. JP4977725B2 Японія, МПК G06F3/016; Метод та система гаптичної взаємодії в доповненій реальності [Текст] / Сан Вук, Ван Ха Ха, Рюч Тесін, Парк Бем Шань, Лі Янг. – № 4977725B2; заявл. 04.09.2008; опубл. 04.02.2009. – 5с.: іл.

24. Пат. JP2017522682A Японія, МПК G06T19/006; Портативний пристрій перегляду і метод на основі технології доповненої реальності [Текст] / Ян Мінг Ксіонг. – № 2017522682A; заявл. 03.03.2012; опубл. 14.07.2014. – 5с.: іл.

25. Пат. JP2009020614A Японія; Маркерний блок, що використовується для системи доповненої реальності, системи доповненої реальності, системи підтримки створення блоків маркерів і програми підтримки створення блоків маркерів [Текст] / Асако Кімура, Тошіічі Осіма, Фуміхіса Шибата, Хидеюки Тамура, Рюхей Тенме. – № 2009020614A; заявл. 18.01.2006; опубл. 10.07.2007. – 11с.: іл.

26. Пат. JP2016509293A Японія, МПК G06T19/006; Візуалізація доповненої реальності на основі об'єкта переднього плану [Текст] / Піюшу Шарума, Рамін Резайфа. – № 2016509293А; заявл. 07.07.2012; опубл. 03.01.2013. – 11с.: іл.

27. Пат. JP2013521544А Японія, МПК G06F3/0304; Доповнена реальність маніпулятора [Текст] / Кюі Рі. – № 2013521544А; заявл. 07.07.2010; опубл. 28.02.2011. – 4с.: іл.

28. Пат. JP2016539668А Японія, МПК G06T19/006; Система, метод і програма доповненої реальності [Текст] / Да Суї, Саумітора Мохангупута, Раджаруші Подоурі, Самера Кухорошаді, Бефуй Роз. – № 2016539668А; заявл. 26.01.2011; опубл. 24.09.2014. – 4с.: іл.

29. Пат. US9721395В2 США, МПК G06T19/006; OLED-дисплей з перепроєктування для доповненої реальності [Текст] / Кальвін Чан, Джеффри Ніл Марголіс, Ендрю Пірсон, Мартін Шеттер, Ашраф Айман Міхаїл, Баррі Корлетт. – № 9721395В2; заявл. 26.01.2015; опубл. 17.11.2016. – 5с.: іл.

30. Пат. US8433336В2 США, МПК G06T19/006; Спосіб наведення маршруту з використанням доповненої реальності і мобільного терміналу з використанням одного і того ж [Текст] / Тассунг Лі, Юнкунг Лі, Тахун Лім, Джоїл Лі, Хайсук Джеон. – № 8433336В2; заявл. 26.02.2012; опубл. 30.04.2013. – 3с.: іл.

31. Пат. US9648436В2 США, МПК H04S5/00; Звукова система з доповненою реальністю [Текст] / Ноа Крафт, Річард Фріц Ланман, Джефф Бейкер, Гінтс Кліманіс, Ентоні Паркс. – № 9648436В2; заявл. 26.02.2013; опубл. 24.12.2015. – 3с.: іл.

32. Пат. US8542906В1 США, МПК G06T19/00; Зміщення і накладання зображення доповненої реальності [Текст] / Карл Дж. Перссон, Томас Х. Вілсон. – № 8542906В1; заявл. 31.08.2007; опубл. 21.05.2008. – 2с.: іл.

33. Пат. US9717981В2 США, МПК A63F9/24; Доповнена реальність і фізичні ігри [Текст] / Стівен Джон Роббінс, Вільям Дж. Вестерінен, Ліза М. Хансон, Сун Хо Сон, Річард Дж. Уотлс. – № 9717981В2; заявл. 31.08.2007; опубл. 21.05.2008. – 2с.: іл.

34. Пат. US8830267В2 США, МПК G06Q10/06; Інструмент для створення доповненої реальності [Текст] / Ларрі Дж. Бракні. – № 8830267В2; заявл. 31.08.2009; опубл. 15.11.2010. – 2с.: іл.

35. Пат. US20110181497A1 США, МПК G02B27/017; Об'єктна ігрова система доповненої реальності [Текст] / Рони Равів. – № 20110181497A1; заявл. 28.08.2009; опубл. 28.07.2011. – 5с.: іл.

36. Пат. US10223859B2 США, МПК G07F17/3211; Ігрові окуляри доповненої реальності [Текст] / Скотт А. Массинг, Деймон Е. Гура, Даніель П. Луї, Джессі Сміт, Джеймі Ванн. – № 10223859B2; заявл. 29.06.2013; опубл. 01.05.2014. – 4с.: іл.

37. Пат. US10176521B2 США, МПК G06Q30/0643; Віртуальний продукт доповненої реальності для відображення [Текст] / Ерік Тодечіні. – № 10176521B2; заявл. 29.06.2015; опубл. 01.05.2016. – 5с.: іл.

38. Пат. DE202014103729U1 Німеччина, МПК H04N13/239; Доповнена реальність з виявленням руху [Текст] / Даніель Колстер. – № 202014103729U1; заявл. 22.07.2013; опубл. 09.09.2014. – 4с.: іл.

39. Пат. DE102018207088A1 Німеччина, МПК G06T19/006; Аналіз зображень без маркера для доповненої реальності [Текст] / Ніколас Корсо, Майкл Патрік Куттер, Шон Ніу, Колін Джон Тейлор, Марк Скотт Вальдо. – № 102018207088A1; заявл. 22.07.2017; опубл. 09.09.2018. – 4с.: іл.

40. Пат. DE102015015503A1 Німеччина, МПК B25J9/1671; Система роботів з сумісним дисплеєм доповненої реальності [Текст] / Тошіакі Камої, Гоу Інаба. – № 102015015503A1; заявл. 17.05.2014; опубл. 09.06.2016. – 12с.: іл.

41. Пат. CN104798109В Китай, МПК G06T11/60; Спосіб і пристрій для організації віртуальних об'єктів у відображенні доповненої реальності [Текст] / Вумей Шен К Пан Ді, Квайн Де Ла Сай Ке На Сі Лі Ні Ва Санг. – № 104798109В; заявл. 19.04.2014; опубл. 22.07.2015. – 10с.: іл.

42. Пат. CN103389579В Китай, МПК G02B27/0172; Спосіб і пристрій для організації віртуальних об'єктів у відображенні доповненої реальності [Текст] / Д Д Бо Єн. – № 103389579В; заявл. 15.12.2012; опубл. 13.11.2013. – 10с.: іл.

43. Пат. CN102037485В Китай, МПК G02B27/0172; Мобільна система віртуальної і доповненої реальності [Текст] / Джулій Сі С Джі Ао Фей, Ай Лі Ке Р Буер Ке, Ху Ан М Луо Пейсі. – № 102037485В; заявл. 25.09.2012; опубл. 25.09.2013. – 9с.: іл.

44. Пат. CN103582893В Китай, МПК G06T11/60; Двовимірні зображення для представлення доповненої реальності і придбання [Текст] / Е Ке Лю Ге Лі Ке. – № 103582893В; заявл. 16.09.2016; опубл. 13.10.2017. – 5с.: іл.

45. Пат. CN208621844U Китай; Обладнання доповненої реальності [Текст] / Ма Жаншань, Тянь Веньхон, Чжан Хаоцзін, Ян Ран, Сан Чжію, Ге Вей, Чжен Чао. – № 208621844U; заявл. 16.09.2018; опубл. 19.03.2019. – 3с.: іл.

46. Пат. JP2018170775А Японія; Апарат для візуалізації, спосіб і програма візуалізації [Текст] / Ма Ацуші Еджіма, Сатоші Еджіма, Сае Еджіма, Сейїчі Секігучі, Масаїчі Секігучі, Сейїчі Секігучі. – № 2018170775А; заявл. 01.01.2018; опубл. 01.11.2018. – 7с.: іл.

47. Пат. US10095929В1 США, МПК G06K9/00671; Системи і методи для показу доповненої реальності [Текст] / Джейсон Річард Гувер, Міка Прайс, Суніль Субрахманьям Васішт. – № 10095929В1; заявл. 01.01.2017; опубл. 09.10.2018. – 12с.: іл.

48. Пат. CN109655077А Китай; Спосіб обробки навігаційних даних і пристрій обробки для пристрою відображення з доповненою реальністю [Текст] / Чень Тао, Ван Яньлун, Ма Бінбін, Мяо Шунь Пінг. – № 109655077А; заявл. 12.12.2017; опубл. 19.04.2019. – 12с.: іл.

49. Пат. CN109584654А Китай; Своєрідна система вивчення англійської мови та метод на основі AR [Текст] / Чень Цзінін, Ван Юймін. – № 109584654А; заявл. 12.12.2018; опубл. 05.04.2019. – 6с.: іл.

50. Пат. KR20190006584А Південна Корея, МПК G06T11/60; Спосіб і пристрій для відображення об'єкта доповненої реальності на основі розпізнавання геометрії [Текст] / Квон Джай Хьйун. – № 20190006584А; заявл. 13.09.2018; опубл. 18.01.2019. – 6с.: іл.

51. Пат. US20080071559А1 США, МПК G06Q30/06; Доповнена реальність помічника з покупок [Текст] Джуха Арошвуорі. – № 20080071559А1; заявл. 14.11.2006; опубл. 20.03.2008. – 5с.: іл.

52. Пат US20100171758А1 США, МПК G06T17/05; Спосіб і система для генерації сигналів доповненої реальності [Текст] Пол В. Маассель, Джастін Томас. – № 20100171758А1; заявл. 14.11.2009; опубл. 08.07.2010. – 11с.: іл.

53. Пат JP4926817В2 Японія, МПК G06T7/73; Пристрій і спосіб вимірювання інформації про розташування маркерів [Текст] Соно ко Маеда, Кенджі Моріта, Дайсукє Кодаке, Казукі Такемото. – № 4926817В2; заявл. 27.04.2005; опубл. 11.08.2006. – 9с.: іл.

54. Пат JP5055516B2 Японія, МПК G02B27/017; Система та спосіб відображення інструкцій з технічного обслуговування та інструкцій з експлуатації пристрою з використанням доповненої реальності [Текст] Йохан Баїротто. – № 5055516B2; заявл. 03.04.2005; опубл. 26.05.2006. – 12с.: іл.

55. Пат CN100534158C Китай, МПК G06T15/50; Генерація зображень, що поєднують реальні та віртуальні зображення [Текст] Да дао Денгжуші, Фу Шоу Яо. – № 100534158C; заявл. 03.04.2005; опубл. 27.07.2006. – 5с.: іл.

56. Пат DE102006004731A1 Німеччина, МПК G03B37/00; Позиція камери та / або метод визначення орієнтації для системи віртуальної або доповненої реальності, включає виявлення об'єкта реального зображення та визначення положення камери та / або орієнтації [Текст] Да дао Денгжуші, Фу Шоу Яо. – № 102006004731A1; заявл. 05.10.2005; опубл. 02.02.2006. – 8с.: іл.

57. Пат DE102007041719B4 Німеччина, МПК G03B21/12; Метод генерування доповненої реальності в просторі [Текст] Олівер Бімбер, Ансельм Грюндхофер, Даніель Колстер, Стефані Золманн. – № 102007041719B4; заявл. 12.05.2005; опубл. 11.06.2006. – 8с.: іл.

58. Пат FR2941786B1 Франція, МПК G02B27/0172; Портативний пристрій високої дисплейної головки і доповненої реальності [Текст] Рахід Хамдані, Зіле Лю. – № 2941786B1; заявл. 15.05.2009; опубл. 08.06.2010. – 3с.: іл.

59. Пат FR2911463B1 Франція, МПК H04N5/445; Спостереження в режимі реального часу доповненої реальності і методу роботи пристрою [Текст] Валентин Лефевр, Ніколас Лайт, Алан Саварі. – № 2911463B1; заявл. 15.05.2005; опубл. 01.12.2007. – 3с.: іл.

60. Пат CA2815526C Канада, МПК G06T19/006; Покращення автоматичного фокусування для дисплеїв розширеної реальності [Текст] Аві Бар-Зеєв, Джон Льюїс. – № 2815526C; заявл. 10.07.2009; опубл. 18.11.2010. – 6с.: іл.

61. Пат CA2766005C Канада, МПК G06T11/60; Спосіб і пристрій для призначеного для користувача інтерфейсу доповненої реальності [Текст] Джука Маттіла. – № 2766005C; заявл. 10.11.2007; опубл. 25.06.2009. – 9с.: іл.

62. Пат CA2850074C Канада, МПК G06Q30/0643; Візуалізація предметів з використанням доповненої реальності [Текст] Натан Сакхо. – № 2850074C; заявл. 23.12.2010; опубл. 27.10.2011. – 3с.: іл.



63. Пат GB2520146A Великобританія, МПК G06K9/00402; Захоплення підпису доповненої реальності [Текст] Ерік Тодешіні. – № 2520146A; заявл. 23.12.2012; опубл. 24.09.2013. – 3с.: іл.

64. Пат GB2501567A Великобританія, МПК G06T19/006; Система отримання інформації про доповнену реальність [Текст] Крістіан Стерніцце. – № 2501567A; заявл. 22.11.2011; опубл. 25.04.2012. – 5с.: іл.

65. Пат GB2499498A Великобританія, МПК G06T19/006; Розташування ідентифікатора в даних зображення і в поданні доповненої реальності [Текст] Саймон Тейлор. – № 2499498A; заявл. 21.10.2010; опубл. 23.12.2011. – 6с.: іл.

66. Пат EP1720131B1 Європейський офіс патентів, МПК G06T15/20; Система доповненої реальності з ідентифікацією об'єкта реального маркера [Текст] Андреа Каріньяно, Сімона Мартіні. – № 1720131B1; заявл. 21.10.2008; опубл. 08.04.2009. – 5с.: іл.

67. Пат EP2652940B1 Європейський офіс патентів, МПК G06F3/013; Розуміння і заснований на намірах контент для відображень доповненої реальності [Текст] Кеті Стоун Перес, Аві Бар-Зеєв, Сагі Кац. – № 2652940B1; заявл. 01.10.2017; опубл. 22.02.2018. – 5с.: іл.

68. Пат WO2009102138A2 Всесвітня організація інтелектуальної власності, МПК G06F3/04815; Настільна система мобільної доповненої реальності для персоналізації та співпраці, а також метод взаємодії з використанням доповненої реальності [Текст] На Вон На, Вон Так Ву. – № 2652940B1; заявл. 01.10.2007; опубл. 12.02.2008. – 7с.: іл.

68. Пат WO2011106520A1 Всесвітня організація інтелектуальної власності, МПК G09B21/005; Панорама доповненої реальності, що підтримує осіб із вадами зору [Текст] Дуглас Міллер, Чарльз Бланшар, Тімоті С. Дорсі, Джеремі М. Судол. – № 2011106520A1; заявл. 01.09.2010; опубл. 01.09.2011. – 3с.: іл.

69. Пат KR101469398B1 Південна Корея, МПК G06K9/3258; Текстова 3D доповнена реальність [Текст] Хеон-Іль Гу, Таевон Лі, Косеон Ю, Йонг-Джі Баег. – № 101469398B1; заявл. 01.09.2013; опубл. 12.04.2014. – 5с.: іл.

70. Пат KR101309176B1 Південна Корея, МПК G06F3/013; Апарат і спосіб доповненої реальності [Текст] Хі Сеоп Нам, Донг-Кюн, Йонг-Хо Лі, Санг-Гук Лі. – № 101309176B1; заявл. 11.05.2012; опубл. 23.09.2013. – 9с.: іл.

**ДОДАТОК Б**  
**ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗЧИТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ**  
**ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ**

Процес зчитування маркерів доповненої реальності в більшості випадків залежить від того, яким чином було створено елемент доповненої реальності. Загалом даний етап можна представити за допомогою методу системного аналізу у вигляді системи «чорна скринька», що представлена на рисунку Б.1 відповідно до [7]. Вхідною інформацією (I) може бути все, що необхідно для наповнення елемента доповненої реальності – текст, ілюстрації, анімаційні елементи, аудіо- та відео-елементи, 3D-моделі тощо. Окрім цього, до вхідної інформації можна віднести концепцію AR-продукції та відтворюваних AR-елементів [7]. Вихідна інформація ( $I_1$ ) – це валідні протестовані готові елементи доповненої реальності або ж розроблений мультимедійний об'єкт, який потім можна використати для інших проєктів [7]. Вхідні матеріали (M) – це мінімально необхідний об'єм пам'яті: оперативна пам'ять, обсяг жорсткого диску, трафік інтернету. Вихідні матеріали ( $M_1$ ) – це розмір готового файлу і необхідний обсяг пам'яті під нього на сервері [7]. Вхідна енергія (E) – це потужність робочих станцій, а також електроенергія, яка витрачається на освітлення приміщення. У якості витраченої електроенергії ( $E_1$ ) можуть виступати реально витрачена приладами та освітленням електроенергія, а також теплова енергія, яка виділилася при роботі приладів [7].



Рисунок Б.1 – «Чорна скринька» для технологічного етапу створення AR-елементів [7]:

I,  $I_1$  – вхідна (I) та вихідна ( $I_1$ ) інформація; E,  $E_1$  – вхідна (E) та витрачена ( $E_1$ ) енергія; M,  $M_1$  – вхідні та вихідні матеріали відповідно.

Наступним етапом побудови інформаційної моделі є проведення декомпозиції технології створення елементів доповненої реальності, схема якої представлена на рисунку Б.2 відповідно [7]. Виконавши декомпозицію технологічного процесу розроблення AR-елементів, встановлено, що однією з важливих ланок є технологічна операція тестування цих створених AR-маркерів, тобто зчитування маркерів доповненої реальності. [7]. Далі було виконано аналіз характеристик та особливостей процесу зчитування маркерів доповненої реальності камерою пристрою [7]. Результат представлений на рисунку Б.3.

Схема декомпозиції технології створення елементів доповненої реальності

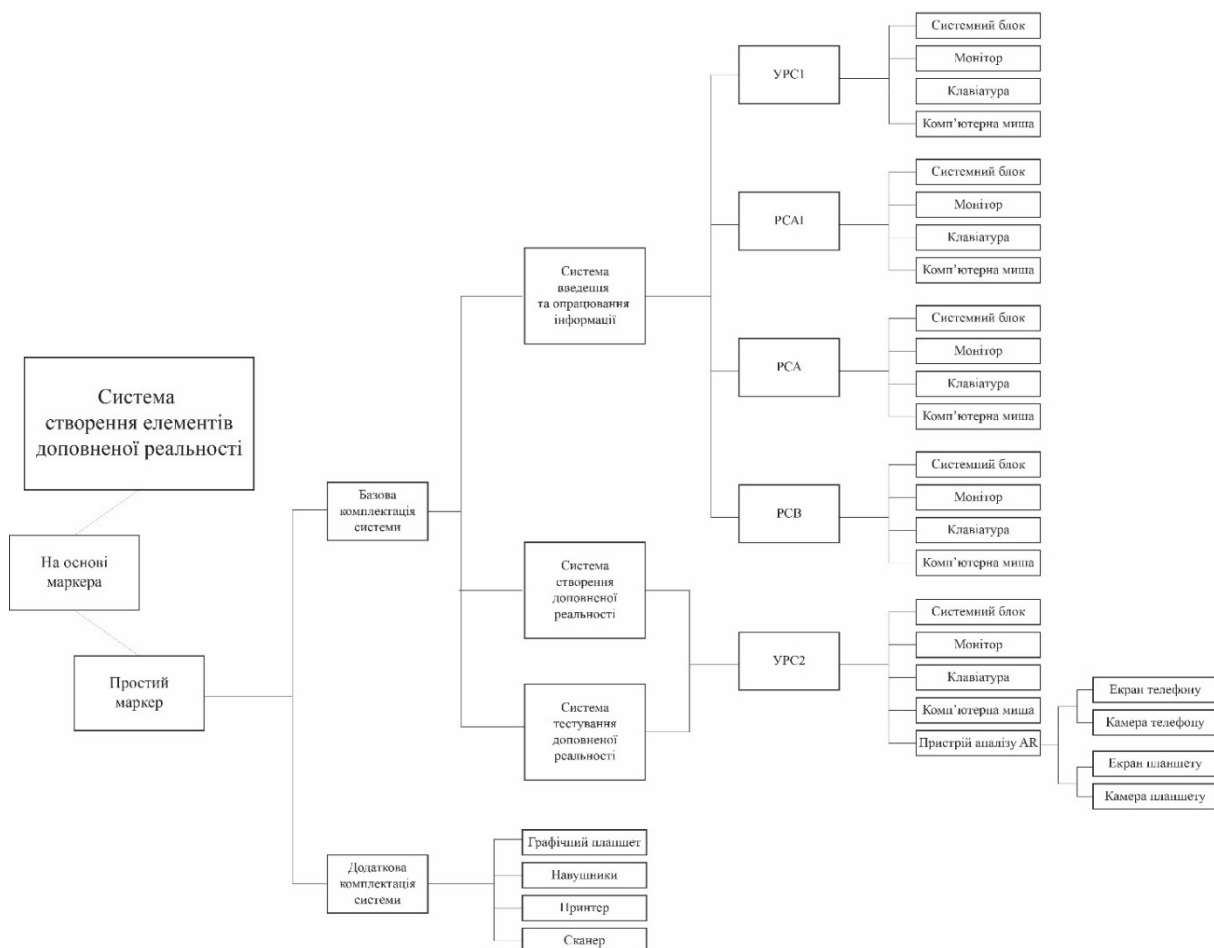


Рисунок Б.2 – Схема декомпозиції технології створення елементів доповненої реальності [7]

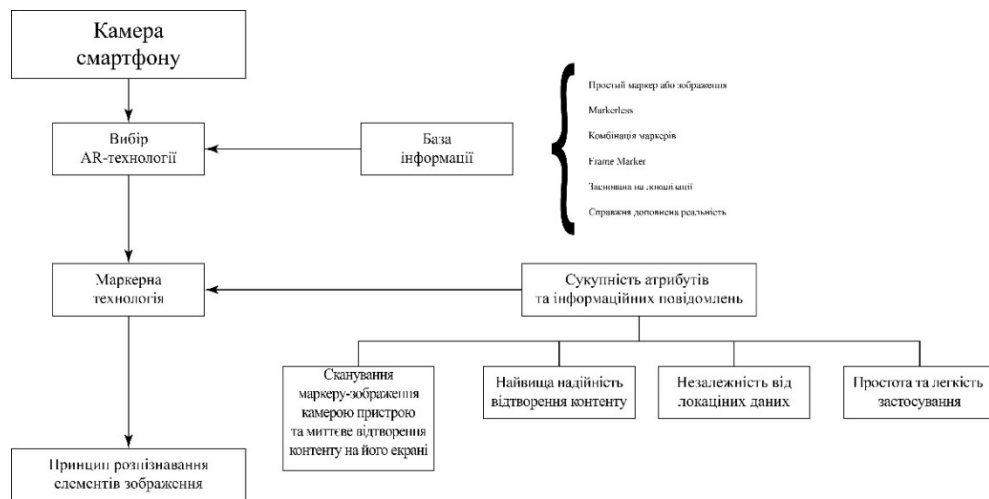


Рисунок Б.3 – Аналіз особливостей роботи камери смартфону для виконання технологічної операції тестування маркерів доповненої реальності [7]

Однією з простих та легких як у використанні, так і при створенні продукції з доповненою реальністю, є маркерна технологія. Саме вона й була обрана у якості основи для обраного процесу. Декомпозиція даної технології представлена на рисунку Б.4 відповідно до [7].



Рисунок Б.4 – Схема декомпозиції процесу розпізнавання маркеру [7]

Серед всіх методів (див. рис. 5) було обрано метод Собеля, який базується на встановленні поточкового градієнта яскравості обраного зображення. Цей метод можна показати відповідно до рисунку Б.5 [7].

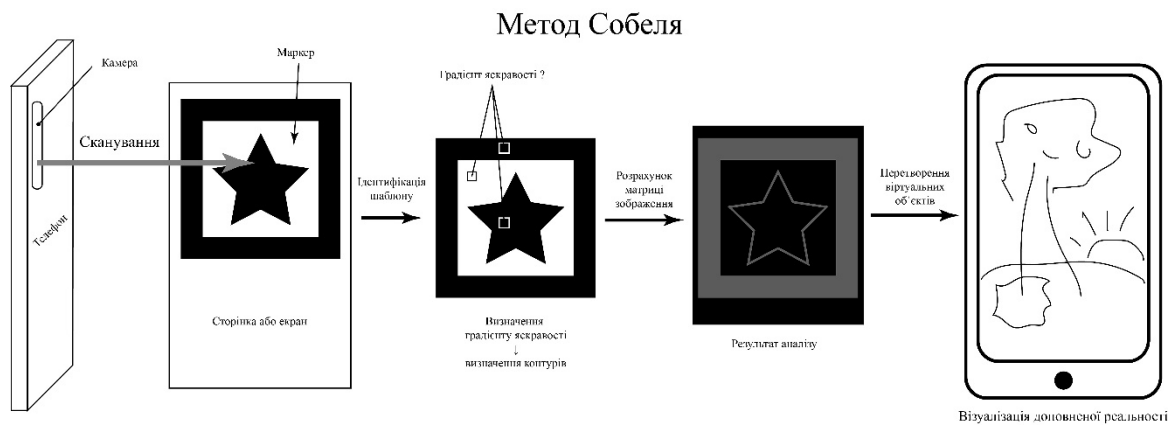


Рисунок Б.5 – Розпізнавання елементів доповненої реальності на основі методу Собеля [7]

Виходячи з проведеного аналізу було розроблено інформаційну модель обраної технологічної операції зчитування AR-елементів (див. рисунок Б.6), відповідно до раніше представленої методики [7].

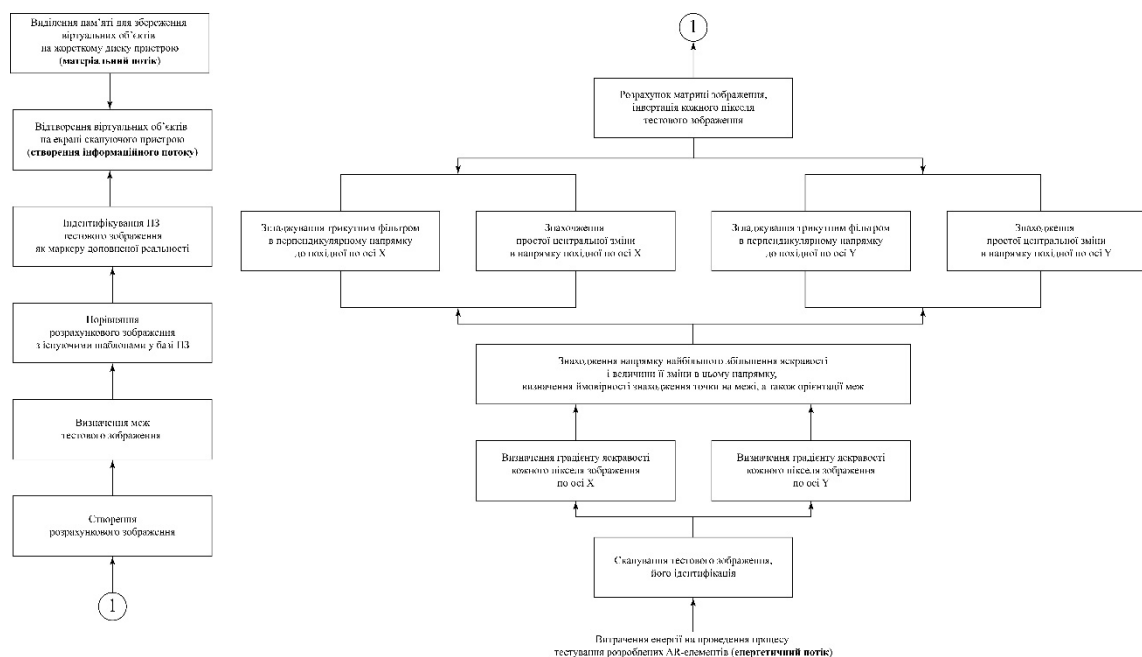


Рисунок Б.6 – Розроблення інформаційної моделі процесу тестування AR-елементів [7]

Отримані результати дали змогу визначити вхідні та вихідні параметри для даної операції. Вхідною інформацією буде розроблений AR-елемент. Вихідна

ж – це відтворений цифровий об’єкт. Вхідним кількісним показником інформації може бути обсяг зображення-маркеру, кількість кольорів, складність рисунку, а на виході можна отримати, наприклад, кількість зчитаних пікселів за одиницю часу, кількість інвертованих пікселів за одиницю часу, значення градієнту яскравості для кожного пікселю, кількість непроконвертованих пікселів, умови середовища тестування AR-елементів [7].

Вхідна та вихідна енергія – це енергія, яка треба для виконання технологічної операції, а також тепла, яка виділяється при роботі РС. Кількісний показник енергетичного потоку – це потужність скануючого пристрою, потужність робочої станції для тестування, кількість теплоти, що виділяється при роботі РС та скануючого пристрою, кількість силової електроенергії, що витрачається при роботі РС, кількість електроенергії, що іде на освітлення приміщення, витрати заряду акумулятора скануючого пристрою [7].

У якості вхідного матеріального потоку може бути загальний обсяг файлу AR-елементів, а вихідного – кількість зайнятої пам’яті скануючого пристрою. Як кількісний показник матеріального потоку може бути обсяг пам’яті для кожного пікселя зображення, загальний обсяг пам’яті оцифрованого об’єкту, обсяг пам’яті записуючого пристрою [7].

Наступним кроком було розглянуто систему взаємозв’язків між трьома потоками у вигляді математичних залежностей відповідно до [7]:

1. Припустимо, що  $Q$  – вихідне тест-зображення, тоді  $\{Q_1...Q_n\}$  – сукупність елементів-пікселів цього зображення, а  $\{Q_{1x}...Q_{nx}\}$  і  $\{Q_{1y}...Q_{ny}\}$  – сукупність пікселів по осі  $X$  та осі  $Y$  відповідно. Тоді метод Собеля можна описати наступним чином (Б.1) [7]:

$$G_y = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} \cdot Q \quad G_x = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \cdot Q, \quad (\text{Б.1})$$

де  $Q$  – вихідне тест-зображення;

$G_x$  та  $G_y$  – два зображення, у яких будь-яка точка містить наближені по осям  $X$  та  $Y$  похідні [7].

Проаналізувавши вище сказане, можна побачити певну залежність, а саме: кількість зчитуваних за одиницю часу елементів-пікселів зображення прямопропорційна площі рисунку зображення-маркеру, а також витраченій енергії – чим більше пікселів зображення зчитується, тим більше енергії та потужності пристрою витрачається на цей процес. Чим складнішим є рисунок зображення, чим більшим є обсяг пам'яті вхідної інформації, тим більше пам'яті в пристрої воно займає. Тоді енергетичні витрати при перетворенні тестового зображення на розрахункове за методом Собеля можуть бути описані наступним рівнянням (Б.2) [7]:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{сил}} &= P \cdot K = K \cdot \frac{A}{t} = K \cdot \frac{F \cdot S}{t} = K \cdot \frac{F \cdot \sqrt{S_x^2 + S_y^2}}{t} = \\
 &= K \cdot \frac{F \cdot \sqrt{(G_x * a \cdot N_x)^2 + (G_y * a \cdot N_y)^2}}{t} = \\
 &= K \cdot F \cdot \frac{\sqrt{\left( \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} * a \cdot N_x \right)^2 + \left( \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} * a \cdot N_y \right)^2}}{t}
 \end{aligned} \tag{Б.2}$$

де  $E_{\text{сил}}$  – силова енергія, що витрачається скануючим пристроєм на виконання процесу тестування, Вт;  $P$  – потужність цього пристрою, Вт;  $K$  – коефіцієнт втрат електроенергії в мережі;  $A$  – пророблена робота, Дж;  $t$  – час виконання процесу, с;  $F$  – сила, яка необхідна для перетворення зображення з аналогової форми у цифрову, Н;  $S$  – пройдений шлях, м;  $S_x$  – пройдений шлях по осі  $x$ , м;  $S_y$  – пройдений шлях по осі  $y$ , м;  $a$  – розмір пікселів;  $N_x$  – кількість пікселів по осі  $x$ ;  $N_y$  – кількість пікселів по осі  $y$ ;  $G$  – оператор Собеля [7].

Також можна відзначити, що (Б.3) [7]:

$$\begin{aligned}
 M_T \geq M_\phi &= \sqrt{(G_x * N_x)^2 + (G_y * N_y)^2} \cdot i = \\
 &= \sqrt{\left( \begin{vmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} * N_x \right)^2 + \left( \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} * N_y \right)^2} \cdot i
 \end{aligned} \tag{Б.3}$$

де,  $M_T$  – пам'ять телефону або іншого скануючого пристрою;  $M_\phi$  – обсяг файлу доповненої реальності;  $N_x$  – кількість пікселів по осі  $x$ ;  $N_y$  – кількість пікселів по осі  $y$ ;  $G$  – оператор Собеля;  $i$  – глибина кольору в бітах на один піксель [7].



З нерівності (Б.3) видно, що обсяг файлу має бути меншим за обсяг пам'яті телефону. Тому відповідно, що чим більше часу проходить, тим більше даних записується в пам'ять телефону, тим менше місця у ньому залишається, а тому є певний відсоток неконвертації пікселів, що призведе до того, що AR-маркер доповненої реальності не буде правильно або взагалі розпізнаний та відтворений. Це означає, що чим складнішим є рисунок маркеру, тобто чим більше площа його рисунку, тим більше пам'яті телефону та його заряду буде витрачено [7].

Цю залежність можна показати так (Б.4) [7]:

$$S \uparrow \rightarrow M_{\phi} \uparrow \rightarrow t_z \uparrow \rightarrow M_T \downarrow \rightarrow P_T \downarrow \quad (\text{Б.4})$$

де  $S$  – площа об'єкта;  $M_{\phi}$  – обсяг файлу;  $t_z$  – час запису;  $M_T$  – пам'ять телефону;  $P_T$  – заряд пристрою [7].

**ДОДАТОК В**  
**АНАЛІЗ БІНАРНОЇ МАТРИЦІ ДОСЯЖНОСТІ М'**

Таблиця В.1 – Ітерація аналізу бінарної матриці досяжності М'

№ рівня	i-й елемент	L(c <sub>i</sub> ) – досягнуті вершини	P(c <sub>i</sub> ) – вершини-попередниці	L(c <sub>i</sub> ) ∪ P(c <sub>i</sub> )
Визначення першого рівня ієрархії				
а	1	1,5, 14,15,16,18,21	1,8,9,11,12,13,22,24	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10,17,24	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10,17,18,24	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11,12,17,24	4
	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13,17	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13,17,24	6
	7	5,6,7,10,11,18,21,22	2,3,7,8,9, 12,13, 24,25	7
	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6,9,10,11,13,14,15,16,18,21,22,25	7,11,12,17,23,24	11
	12	1,4, 11,12,18,19,22	12,17,18	12
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14,24	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15,24	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16,24	16
	17	2,3,4,5,6,11,12,17,22	17	17
	18	1,2,3,5,11,12,13,18,19,20,21	17,18,23	18
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10, 12,13,14,15,16,18,19,20,21	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,18,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,18,20,21,22,24,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13, 22,23,24,25	22
	23	18,22,23	23,24	23
	24	1,2,3,4,6,7,11,12,13,14,15,16,20,21,22,23, 24	24	24
	25	7, 17,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25
Визначення другого рівня ієрархії				
б	1	1,5, 14,15,16,18,21	1,8,9,11,12,13,22	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10,18	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11,12	4
	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13	6
	7	5,6,7,10,18,21,22	2,3,7,8,9,11,12,13,25	7

Продовження таблиці В.1

№ рівня	і-й елемент	$L(c_i)$ – досягнуті вершини	$P(c_i)$ – вершини-попередниці	$L(c_i) \cup P(c_i)$
Визначення другого рівня ієрархії				
б	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6, 7, 9,10,11,13,14,15,16,18,21,22,25	7, 11,12, 23	11
	12	1,4, 11,12,18,19,22	12,18	12
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16	16
	18	2,3,5,11,12,13,18,19,20,21	18,23	18
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10, 12,13,14,15,16,18,19	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,18,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,18,20,21,22,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13, 22,23,25	22
	23	18,22,23	23	23
	25	7,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25
Визначення третього рівня ієрархії				
в	1	1,5, 14,15,16,18,21	1,8,9,11,12,13,22	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10,18	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11,12	4
	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13	6
	7	5,6,7,10,18,21,22	2,3,7,8,9,11,12,13,25	7
	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6, 9,10,11,13,14,15,16,18,21,22,25	7,11,12	11
	12	1,4, 11,12,18,19,22	12,18	12
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16	16

## Продовження таблиці В.1

№ рівня	i-й елемент	L(c <sub>i</sub> ) – досягнуті вершини	P(c <sub>i</sub> ) – вершини-попередниці	L(c <sub>i</sub> ) ∪ P(c <sub>i</sub> )
Визначення третього рівня ієрархії				
В	18	2,3,5,11,12,13,18,19,20,21	<b>18</b>	18
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10, 12,13,14,15,16,18,19	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,18,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,18,20,21,22,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13, 22,25	22
	25	7,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25
Визначення четвертого рівня ієрархії				
Г	1	1,5, 14,15,16,21	1,8,9,11,12,13,22	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11,12	4
	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13	6
	7	5,6,7,10,21,22	2,3,7,8,9,11,12,13,25	7
	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6, 9,10,11,13,14,15,16,21,22,25	7,11,12	11
	12	1,4, 11,12,18,19,22	<b>12</b>	12
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16	16
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10, 12,13,14,15,16,19	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13, 20,21,22,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13, 22,25	22
	25	7,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25
Визначення п'ятого рівня ієрархії				
Д	1	1,5, 14,15,16,21	1,8,9,11,13,22	1
	2	2,4,5,7,19,21,22	2,3,8,9,10	2
	3	2,3,4,5, 7,19,21,22	3,10	3
	4	4, 14,15,16,21,22,25	2,3,4,5,10,11	4

## Кінець таблиці В.1

№ рівня	і-й елемент	$L(c_i)$ – досягнуті вершини	$P(c_i)$ – вершини-попередниці	$L(c_i) \cup P(c_i)$
Визначення п'ятого рівня ієрархії				
Д	5	4,5, 19,21,22	1,2,3,5,7,8,9,10,11,13	5
	6	2,3,4,5,6,19,20,21,22	6,7,10,11,13	6
	7	5,6,7,10,21,22	2,3,7,8,9,11,13,25	7
	8	1,2,5,7,8,10,14,15,19,20,21,22,25	8, 13	8
	9	1,2,4,5,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	9,11	9
	10	2,3,4,5,6,10,14,15,19,20,21	7,8,9,10,11,13	10
	11	1,4,5,6, 9,10,11,13,14,15,16,21,22,25	7,11	11
	13	1,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,19,21,22,25	11,13,18,22,24,25	13
	14	14,19,20	1,4,8,9,10,11,13,14	14
	15	15,19,20	1,4,7,8,9,10,11,13,15	15
	16	16,19,20	1,4,9,11,13,16	16
	19	19	2,3,5,6, 8,9,10,13,14,15,16,19	19
	20	19,20,21	6,8,10,14,15,16,20	20
	21	19,21	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13, 20,21,22,25	21
	22	1, 21,22	2,3,4,5,6,7,8,9,11, 13, 22,25	22
	25	7,12,13,21,22,25	4, 8,9,13,25	25

**ДОДАТОК Г**  
**ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ**  
**ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Таблиця Г.1 – Характеристики друкарської машини Mimaki CJV30 [54]

Характеристики	Показники
Основні характеристики	
Максимальна ширина різки, мм	1361
Продуктивність, м <sup>2</sup> /хв	18
Максимальна роздільна здатність, dpi	1440×1440
Мінімальна ширина задруковуваного матеріалу, мм	210
Максимальна ширина задруковуваного матеріалу, мм	1361
Максимальний діаметр рулону, мм	180
Тип друку	сольвентний
Розміри	
Габарити (Ш×Г×В), мм	2538×739×1424
Вага, кг	145

Таблиця Г.2 – Характеристики друкарської машини Polly Prestige 474 [55]

Характеристики	Показники
Характеристики друку	
Максимальна продуктивність, листів/год	13000
Розмір друкарської форми, мм	575×735
Товщина друкарської форми, мм	0,2-0,3
Розмір офсетного гумовотканинного полотна, мм	615×740
Товщина офсетного гумовотканинного полотна, мм	1,95
Кількість друкарських секцій, шт	5
Характеристики матеріалу для друку	
Мінімальний формат задруковуваного матеріалу, мм	330×330
Максимальний формат задруковуваного матеріалу, мм	520×740
Максимальний формат задруковуваної області, мм	509×720
Товщина задруковуваного матеріалу, мм	0,04-0,5
Маса 1м <sup>2</sup> задруковуваного матеріалу, г/м <sup>2</sup>	40-350
	1361
Максимальний діаметр рулону, мм	180
Тип друку	сольвентний
Розміри	
Габарити (Ш×Г×В), мм	7120×2240×1750
Вага, кг	19350

Таблиця Г.3 – Характеристики стр-машини Agfa Avalon N16 [56]

Характеристики	Показники
Загальні характеристики	
Технологія	Зовнішній барабан
Лазер	Термальний інфрачервоний лазер, 830 нм
Роздільна здатність, dpi	2400
Характеристики друкарської форми	
Мінімальний розмір пластин, мм	550×650
Максимальний розмір пластин, мм	1165×1470
Товщина пластин, мм	0,2-0,4
Розміри	
Габарити (Ш×Г×В), мм	2740×1775×1515
Вага, кг	1640



Таблиця Г.4 – Характеристики задрукованого матеріалу ORACAL® 641 [57]

Характеристики	Показники
Загальні характеристики	
Товщина, мм	0,075
Характеристики поверхні	Матова / глянцева
Термостійкість, °C	від -40 °C до +80 °C
Адгезія, Н/мм	16 Н / 25 мм
Мінімальна міцність на розрив (повздовжня), МПа	19
Мінімальна міцність на розрив (поперечна), МПа	
Мінімальне подовження матеріалу під час розриву (повздовжнє), %	130
Мінімальне подовження матеріалу під час розриву (поперечне), %	150
Температура склеювання, °C	від +10 °C

Таблиця Г.5 – Характеристики Solex™ premium 510M Frontlit [58]

Характеристики	Показники
Загальні характеристики	
Товщина, мм	0,37
Розмір матеріалу, мм	2500×5000
Характеристика поверхні матеріалу	матова
Маса 1м <sup>2</sup> , г/м <sup>2</sup>	510

Таблиця Г.6 – Характеристики задрукованого матеріалу Art tech [59]

Характеристики	Показники
Загальні характеристики	
Розмір матеріалу, мм	640×900
Характеристика поверхні матеріалу	матова
Тип поліграфічного паперу	пігментований
Маса 1м <sup>2</sup> , г/м <sup>2</sup>	150

Таблиця Г.7 – Характеристики чорнил Mimaki BS3 [60]

Характеристики	Показники
Загальні характеристики	
Тип чорнила	екосольвентні
Друкуючі частини машини, що підходять	Epson DX4, DX5, DX6, DX7
Принтери, що можна використовувати	Mimaki JV33BS, JV34BS, CJV30BS, JV5, JV150, CJV150, JV300, CJV300 та інші принтери Mutoh, Roland, Epson, що друкують аналогічними частинами
Колірна конфігурація	СМΥК

Таблиця Г.8 – Характеристики офсетної фарби DONG YANG INK CoMax [61]

Характеристики	Показники			
	Колір			
	Cyan	Magenta	Yellow	Black
Липкість	10-11	9-10	8-9	8,5-9,5
В'язкість	62-63	61-62	64-65	63-64
Глянець, %	від 70	від 70	від 75	від 75
Час висихання, год	до 6 год			

Таблиця Г.9 – Характеристики пластин для друкарських форм Agfa Aiyinda 603 [62]

Характеристики	Показники
Характеристики пластин	
Тип пластин	позитивні термальні
Колір	Синій
Мінімальний розмір пластини, мм	289×400
Максимальний розмір пластини, мм	1500×2100
Спектральна чутливість, нм	830
Чутливість до ІЧ, мДж/см	120
Роздільна здатність, lpi	240
Тиражестійкість без термообробки/після термообробки	150000/350000
Маса 1м <sup>2</sup> , г/м <sup>2</sup>	150
Проявник	THD200 developer
Регенеруючий розчин	THR200 replenisher
Гумуючий розчин	RC795, RC795A, Unifin
Для зберігання	RC73
Для термообробки	RC510

Таблиця Г.10 – Характеристики смартфона Xiaomi Mi 10T [65]

Характеристики	Показники
Дисплей	
Діагональ екрану	6,67"
Розмір екрану	2400×1080
Частота оновлення екрану, Гц	144
Кількість відтворюваних кольорів	16000000
Пам'ять	
ОЗП, Гб	6
ПЗП, Гб	128
Камера	
Основна камера, Мп	64 Мп + 13 Мп + 5 Мп
Діафрагма	f/1.89 + f/2.4 + f/2.4
Процесор	
Частота, ГГц	1×2.84 ГГц + 3×2.42 ГГц + 4×1.80 ГГц
Кількість ядер, шт	8
Тип процесора	Qualcomm Snapdragon 865

Таблиця Г.11 – Характеристики спектрофотометра X-Rite i1Pro 2 [66]

Характеристики	Показники
Спектральний діапазон, нм	380-730
Спектральна роздільна здатність, нм	10
Джерело світла	Стандартне джерело світла типу А і УФ-СВД

Таблиця Г.12 – Характеристики мікроскопу Sigeta expert [66]

Характеристики	Показники
Збільшення	10x-300x
Матриця	5 MPixel
Формат фото	JPEG
Розміри фото, px	2592 x 1944, 2048 x 1536, 1600 x 1200, 1280 x 960 px
Фокусна відстань, мм	10-500
Кадрова частота, кадр/с	30

**ДОДАТОК Д**  
**УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**

Таблиця Д.1 – Зовнішні умови проведення експерименту

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
1	Сонячний день	8:00	286	91
		10:00	4770	
		12:00	9812	
		15:00	484	
		Σ за день	15352	
2	Похмурий день	8:00	53	94
		10:00	384	
		12:00	929	
		15:00	146	
		Σ за день	1512	
3	Похмурий день	8:00	63	94
		10:00	315	
		12:00	897	
		15:00	184	
		Σ за день	1459	
4	Сонячний день	8:00	208	91
		10:00	4669	
		12:00	8748	
		15:00	464	
		Σ за день	14089	
5	Похмурий день	8:00	96	93
		10:00	376	
		12:00	840	
		15:00	132	
		Σ за день	1444	
6	Похмурий день	8:00	53	98
		10:00	385	
		12:00	920	
		15:00	124	
		Σ за день	1482	
7	Похмурий день	8:00	78	92
		10:00	320	
		12:00	831	
		15:00	181	
		Σ за день	1410	
8	Сонячний день	8:00	203	91
		10:00	3118	
		12:00	9033	
		15:00	481	
		Σ за день	12835	
9	Перемінна хмарність	8:00	53	97
		10:00	375	
		12:00	895	
		15:00	175	
		Σ за день	1498	
10	Перемінна хмарність	8:00	55	97
		10:00	369	
		12:00	992	
		15:00	179	
		Σ за день	1595	
11	Перемінна хмарність	8:00	44	91
		10:00	338	
		12:00	827	
		15:00	155	
		Σ за день	1364	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
12	Перемінна хмарність	8:00	96	91
		10:00	332	
		12:00	990	
		15:00	190	
		Σ за день	1608	
13	Перемінна хмарність	8:00	88	97
		10:00	301	
		12:00	818	
		15:00	191	
		Σ за день	1398	
14	Перемінна хмарність	8:00	80	95
		10:00	323	
		12:00	934	
		15:00	173	
		Σ за день	1510	
15	Похмурий день	8:00	41	91
		10:00	309	
		12:00	923	
		15:00	153	
		Σ за день	1426	
16	Похмурий день	8:00	55	98
		10:00	325	
		12:00	909	
		15:00	147	
		Σ за день	1436	
17	Похмурий день	8:00	52	92
		10:00	390	
		12:00	953	
		15:00	125	
		Σ за день	1520	
18	Похмурий день	8:00	53	95
		10:00	361	
		12:00	824	
		15:00	152	
		Σ за день	1390	
19	Похмурий день	8:00	41	94
		10:00	318	
		12:00	845	
		15:00	168	
		Σ за день	1372	
20	Похмурий день	8:00	40	97
		10:00	333	
		12:00	740	
		15:00	124	
		Σ за день	1237	
21	Похмурий день	8:00	38	90
		10:00	392	
		12:00	773	
		15:00	101	
		Σ за день	1304	
22	Похмурий день	8:00	34	98
		10:00	341	
		12:00	803	
		15:00	126	
		Σ за день	1304	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
23	Похмурий день	8:00	35	98
		10:00	376	
		12:00	779	
		15:00	145	
		Σ за день	1335	
24	Похмурий день	8:00	35	93
		10:00	330	
		12:00	765	
		15:00	134	
		Σ за день	1264	
25	Похмурий день	8:00	40	98
		10:00	318	
		12:00	809	
		15:00	105	
		Σ за день	1272	
26	Сонячний день	8:00	298	91
		10:00	4127	
		12:00	8686	
		15:00	431	
		Σ за день	13542	
27	Похмурий день	8:00	52	97
		10:00	359	
		12:00	893	
		15:00	133	
		Σ за день	1437	
28	Перемінна хмарність	8:00	40	98
		10:00	318	
		12:00	809	
		15:00	105	
		Σ за день	1272	
29	Похмурий день	8:00	43	98
		10:00	329	
		12:00	891	
		15:00	193	
		Σ за день	1456	
30	Похмурий день	8:00	42	96
		10:00	315	
		12:00	988	
		15:00	195	
		Σ за день	1540	
31	Перемінна хмарність	8:00	88	91
		10:00	314	
		12:00	862	
		15:00	173	
		Σ за день	1437	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				27872
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				10410
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				55818
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				94100
Весна – березень				
1	Похмурий день	8:00	82	77
		12:00	1060	
		15:00	975	
		18:00	16	
		Σ за день	2133	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
2	Похмурий день	8:00	46	79
		12:00	1143	
		15:00	1058	
		18:00	13	
		Σ за день	2260	
3	Похмурий день	8:00	42	70
		12:00	1148	
		15:00	1063	
		18:00	17	
		Σ за день	2270	
4	Перемінна хмарність	8:00	74	74
		12:00	1088	
		15:00	1003	
		18:00	14	
		Σ за день	2179	
5	Перемінна хмарність	8:00	71	77
		12:00	1216	
		15:00	1131	
		18:00	14	
		Σ за день	2432	
6	Перемінна хмарність	8:00	86	79
		12:00	1174	
		15:00	1089	
		18:00	11	
		Σ за день	2360	
7	Перемінна хмарність	8:00	97	75
		12:00	1203	
		15:00	1118	
		18:00	16	
		Σ за день	2434	
8	Перемінна хмарність	8:00	86	76
		12:00	1174	
		15:00	1089	
		18:00	11	
		Σ за день	2360	
9	Перемінна хмарність	8:00	88	77
		12:00	1020	
		15:00	935	
		18:00	14	
		Σ за день	2057	
10	Перемінна хмарність	8:00	89	75
		12:00	1024	
		15:00	939	
		18:00	11	
		Σ за день	2063	
11	Сонячний день	8:00	224	63
		12:00	3341	
		15:00	9099	
		18:00	490	
		Σ за день	13154	
12	Перемінна хмарність	8:00	90	68
		12:00	1357	
		15:00	1272	
		18:00	11	
		Σ за день	2730	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
13	Сонячний день	8:00	209	76
		12:00	4391	
		15:00	9621	
		18:00	411	
		Σ за день	14632	
14	Сонячний день	8:00	224	67
		12:00	3341	
		15:00	9099	
		18:00	490	
		Σ за день	13154	
15	Перемінна хмарність	8:00	96	78
		12:00	1208	
		15:00	1123	
		18:00	18	
		Σ за день	2445	
16	Похмурий день	8:00	49	89
		12:00	1048	
		15:00	963	
		18:00	14	
		Σ за день	2074	
17	Похмурий день	8:00	51	88
		12:00	1310	
		15:00	1225	
		18:00	19	
		Σ за день	2605	
18	Похмурий день	8:00	76	85
		12:00	1488	
		15:00	1403	
		18:00	10	
		Σ за день	2977	
19	Похмурий день	8:00	69	89
		12:00	1062	
		15:00	977	
		18:00	20	
		Σ за день	2128	
20	Похмурий день	8:00	44	90
		12:00	921	
		15:00	836	
		18:00	14	
		Σ за день	1815	
21	Похмурий день	8:00	68	81
		12:00	1381	
		15:00	1296	
		18:00	18	
		Σ за день	2763	
22	Похмурий день	8:00	45	70
		12:00	1484	
		15:00	1399	
		18:00	18	
		Σ за день	2946	
23	Похмурий день	8:00	69	77
		12:00	1062	
		15:00	977	
		18:00	20	
		Σ за день	2128	



## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
24	Похмурий день	8:00	52	65
		12:00	1220	
		15:00	1135	
		18:00	12	
		Σ за день	2419	
25	Похмурий день	8:00	53	62
		12:00	1075	
		15:00	990	
		18:00	18	
		Σ за день	2136	
26	Похмурий день	8:00	44	78
		12:00	921	
		15:00	836	
		18:00	14	
		Σ за день	1815	
27	Сонячний день	8:00	298	62
		12:00	3615	
		15:00	9786	
		18:00	495	
		Σ за день	14194	
28	Похмурий день	8:00	45	72
		12:00	1484	
		15:00	1399	
		18:00	18	
		Σ за день	2946	
29	Сонячний день	8:00	298	81
		12:00	3615	
		15:00	9786	
		18:00	495	
		Σ за день	14194	
30	Перемінна хмарність	8:00	93	71
		12:00	1401	
		15:00	1316	
		18:00	14	
		Σ за день	2824	
31	Похмурий день	8:00	48	72
		12:00	1154	
		15:00	1069	
		18:00	19	
		Σ за день	2290	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				39884
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				21705
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				69328
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				130917
Літо – липень				
1	Похмурий день	8:00	463	66
		12:00	1533	
		15:00	1316	
		19:00	595	
		Σ за день	3907	
2	Похмурий день	8:00	391	71
		12:00	1758	
		15:00	1511	
		19:00	460	
		Σ за день	4120	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
3	Похмурий день	8:00	399	63
		12:00	1358	
		15:00	1214	
		19:00	410	
		Σ за день	3381	
4	Сонячний день	8:00	797	36
		12:00	10250	
		15:00	10111	
		19:00	3200	
		Σ за день	24358	
5	Сонячний день	8:00	850	35
		12:00	10497	
		15:00	10009	
		19:00	3145	
		Σ за день	24501	
6	Сонячний день	8:00	847	40
		12:00	10090	
		15:00	9125	
		19:00	2899	
		Σ за день	22961	
7	Сонячний день	8:00	897	36
		12:00	11726	
		15:00	10082	
		19:00	3331	
		Σ за день	26036	
8	Сонячний день	8:00	923	37
		12:00	12756	
		15:00	12024	
		19:00	3897	
		Σ за день	29600	
9	Сонячний день	8:00	839	39
		12:00	11976	
		15:00	10974	
		19:00	3162	
		Σ за день	26951	
10	Сонячний день	8:00	810	40
		12:00	11389	
		15:00	10879	
		19:00	3263	
		Σ за день	26341	
11	Сонячний день	8:00	776	46
		12:00	9781	
		15:00	9567	
		19:00	1025	
		Σ за день	21144	
12	Сонячний день	8:00	863	35
		12:00	10955	
		15:00	10149	
		19:00	3062	
		Σ за день	25029	
13	Сонячний день	8:00	840	36
		12:00	11065	
		15:00	10644	
		19:00	3065	
		Σ за день	25614	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
14	Сонячний день	8:00	897	40
		12:00	12367	
		15:00	11198	
		19:00	3698	
		Σ за день	28160	
15	Сонячний день	8:00	1236	37
		12:00	12414	
		15:00	12247	
		19:00	3212	
		Σ за день	29109	
16	Перемінна хмарність	8:00	845	50
		12:00	7144	
		15:00	7260	
		19:00	1220	
		Σ за день	16469	
17	Сонячний день	8:00	834	35
		12:00	10916	
		15:00	10425	
		19:00	2568	
		Σ за день	24743	
18	Перемінна хмарність	8:00	521	42
		12:00	6679	
		15:00	6225	
		19:00	1021	
		Σ за день	14446	
19	Сонячний день	8:00	965	39
		12:00	11109	
		15:00	11039	
		19:00	3669	
		Σ за день	26782	
20	Перемінна хмарність	8:00	695	58
		12:00	6209	
		15:00	6227	
		19:00	1229	
		Σ за день	14360	
21	Сонячний день	8:00	888	36
		12:00	10800	
		15:00	10651	
		19:00	2100	
		Σ за день	24439	
22	Сонячний день	8:00	1523	33
		12:00	12843	
		15:00	12779	
		19:00	5621	
		Σ за день	32766	
23	Сонячний день	8:00	1002	40
		12:00	11428	
		15:00	11003	
		19:00	3145	
		Σ за день	26578	
24	Перемінна хмарність	8:00	721	56
		12:00	6378	
		15:00	6264	
		19:00	2224	
		Σ за день	15587	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
25	Перемінна хмарність	8:00	594	55
		12:00	7469	
		15:00	7500	
		19:00	3699	
		Σ за день	19262	
26	Перемінна хмарність	8:00	542	75
		12:00	6618	
		15:00	6425	
		19:00	3200	
		Σ за день	16785	
27	Сонячний день	8:00	756	36
		12:00	9547	
		15:00	9210	
		19:00	2999	
		Σ за день	22512	
28	Похмурий день	8:00	405	80
		12:00	1862	
		15:00	1609	
		19:00	529	
		Σ за день	4405	
29	Сонячний день	8:00	1200	33
		12:00	12054	
		15:00	11456	
		19:00	2105	
		Σ за день	26815	
30	Сонячний день	8:00	841	45
		12:00	10198	
		15:00	9859	
		19:00	3110	
		Σ за день	24008	
31	Похмурий день	8:00	410	85
		12:00	1239	
		15:00	1048	
		19:00	467	
		Σ за день	3164	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				18977
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				521447
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				96909
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				637333
Осінь – жовтень				
1	Сонячний день	8:00	296	62
		12:00	4105	
		15:00	9384	
		19:00	435	
		Σ за день	14220	
2	Сонячний день	8:00	261	64
		12:00	3042	
		15:00	8554	
		19:00	457	
		Σ за день	12314	
3	Сонячний день	8:00	296	65
		12:00	3567	
		15:00	8337	
		19:00	470	
		Σ за день	12670	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
4	Сонячний день	8:00	214	67
		12:00	3908	
		15:00	8344	
		19:00	484	
		Σ за день	12950	
5	Сонячний день	8:00	296	61
		12:00	3567	
		15:00	8337	
		19:00	470	
		Σ за день	12670	
6	Похмурий день	8:00	58	79
		12:00	1176	
		15:00	1091	
		19:00	58	
		Σ за день	2383	
7	Сонячний день	8:00	227	65
		12:00	8511	
		15:00	4296	
		19:00	451	
		Σ за день	13485	
8	Перемінна хмарність	8:00	45	76
		12:00	1971	
		15:00	1886	
		19:00	48	
		Σ за день	3950	
9	Перемінна хмарність	8:00	82	72
		12:00	1737	
		15:00	1652	
		19:00	41	
		Σ за день	3512	
10	Сонячний день	8:00	300	60
		12:00	9350	
		15:00	4732	
		19:00	418	
		Σ за день	14800	
11	Перемінна хмарність	8:00	53	70
		12:00	1932	
		15:00	1847	
		19:00	44	
		Σ за день	3876	
12	Перемінна хмарність	8:00	98	79
		12:00	1945	
		15:00	1860	
		19:00	47	
		Σ за день	3950	
13	Перемінна хмарність	8:00	93	84
		12:00	1770	
		15:00	1685	
		19:00	58	
		Σ за день	3606	
14	Перемінна хмарність	8:00	84	76
		12:00	1719	
		15:00	1634	
		19:00	58	
		Σ за день	3495	

## Продовження таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
15	Перемінна хмарність	8:00	45	75
		12:00	1971	
		15:00	1886	
		19:00	48	
		Σ за день	3950	
16	Перемінна хмарність	8:00	78	76
		12:00	1950	
		15:00	1865	
		19:00	41	
		Σ за день	3934	
17	Перемінна хмарність	8:00	99	75
		12:00	1721	
		15:00	1636	
		19:00	46	
		Σ за день	3502	
18	Перемінна хмарність	8:00	99	77
		12:00	1870	
		15:00	1785	
		19:00	44	
		Σ за день	3798	
19	Сонячний день	8:00	296	64
		12:00	3567	
		15:00	8337	
		19:00	470	
		Σ за день	12670	
20	Перемінна хмарність	8:00	93	77
		12:00	1770	
		15:00	1685	
		19:00	58	
		Σ за день	3606	
21	Похмурий день	8:00	84	89
		12:00	791	
		15:00	706	
		19:00	43	
		Σ за день	1624	
22	Похмурий день	8:00	54	80
		12:00	1100	
		15:00	1015	
		19:00	52	
		Σ за день	2221	
23	Похмурий день	8:00	58	86
		12:00	1125	
		15:00	1040	
		19:00	42	
		Σ за день	2265	
24	Перемінна хмарність	8:00	96	79
		12:00	1607	
		15:00	1522	
		19:00	53	
		Σ за день	3278	
25	Похмурий день	8:00	45	88
		12:00	1303	
		15:00	1218	
		19:00	51	
		Σ за день	2617	

Кінець таблиці Д.1

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
26	Похмурий день	8:00	98	90
		12:00	554	
		15:00	469	
		19:00	55	
		Σ за день	1176	
27	Похмурий день	8:00	61	88
		12:00	327	
		15:00	242	
		19:00	60	
		Σ за день	690	
28	Похмурий день	8:00	45	84
		12:00	1303	
		15:00	1218	
		19:00	51	
		Σ за день	2617	
29	Похмурий день	8:00	43	85
		12:00	1110	
		15:00	1025	
		19:00	59	
		Σ за день	2237	
30	Похмурий день	8:00	43	86
		12:00	1220	
		15:00	1135	
		19:00	58	
		Σ за день	2456	
31	Похмурий день	8:00	42	90
		12:00	1120	
		15:00	1035	
		19:00	55	
		Σ за день	2252	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				22538
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				40955
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				49186
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				112679

Таблиця Д.2 – Зовнішні умови проведення повторного тестування за раціональними показниками

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
1	Похмурий день	8:00	92	94
		10:00	364	
		12:00	971	
		15:00	151	
		Σ за день	1578	
2	Похмурий день	8:00	91	94
		10:00	322	
		12:00	891	
		15:00	146	
		Σ за день	1450	
3	Похмурий день	8:00	74	98
		10:00	334	
		12:00	851	
		15:00	163	
		Σ за день	1422	
4	Похмурий день	8:00	48	98
		10:00	343	
		12:00	942	
		15:00	110	
		Σ за день	1443	
5	Похмурий день	8:00	99	93
		10:00	340	
		12:00	986	
		15:00	153	
		Σ за день	1578	
6	Похмурий день	8:00	63	98
		10:00	301	
		12:00	974	
		15:00	191	
		Σ за день	1529	
7	Похмурий день	8:00	95	92
		10:00	308	
		12:00	992	
		15:00	159	
		Σ за день	1554	
8	Похмурий день	8:00	58	91
		10:00	343	
		12:00	913	
		15:00	111	
		Σ за день	1425	
9	Похмурий день	8:00	65	97
		10:00	309	
		12:00	810	
		15:00	113	
		Σ за день	1297	
10	Похмурий день	8:00	84	97
		10:00	359	
		12:00	833	
		15:00	149	
		Σ за день	1425	
11	Перемінна хмарність	8:00	63	90
		10:00	383	
		12:00	949	
		15:00	153	
		Σ за день	1548	



## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
12	Перемінна хмарність	8:00	76	91
		10:00	383	
		12:00	989	
		15:00	104	
		Σ за день	1552	
13	Сонячний день	8:00	234	89
		10:00	4002	
		12:00	8740	
		15:00	448	
		Σ за день	13424	
14	Сонячний день	8:00	221	88
		10:00	3597	
		12:00	7703	
		15:00	458	
		Σ за день	11979	
15	Сонячний день	8:00	231	89
		10:00	4551	
		12:00	7748	
		15:00	493	
		Σ за день	13023	
16	Перемінна хмарність	8:00	53	90
		10:00	314	
		12:00	1217	
		15:00	182	
		Σ за день	1766	
17	Перемінна хмарність	8:00	58	85
		10:00	327	
		12:00	1354	
		15:00	103	
		Σ за день	1842	
18	Перемінна хмарність	8:00	58	89
		10:00	305	
		12:00	831	
		15:00	123	
		Σ за день	1317	
19	Перемінна хмарність	8:00	46	89
		10:00	380	
		12:00	924	
		15:00	197	
		Σ за день	1547	
20	Перемінна хмарність	8:00	41	88
		10:00	321	
		12:00	1028	
		15:00	184	
		Σ за день	1574	
21	Похмурий день	8:00	44	95
		10:00	244	
		12:00	625	
		15:00	119	
		Σ за день	1032	
22	Похмурий день	8:00	59	97
		10:00	261	
		12:00	608	
		15:00	83	
		Σ за день	1011	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Зима – січень				
23	Похмурий день	8:00	56	96
		10:00	339	
		12:00	928	
		15:00	172	
		Σ за день	1495	
24	Похмурий день	8:00	53	95
		10:00	346	
		12:00	839	
		15:00	161	
		Σ за день	1399	
25	Похмурий день	8:00	77	90
		10:00	250	
		12:00	643	
		15:00	101	
		Σ за день	1071	
26	Похмурий день	8:00	48	91
		10:00	208	
		12:00	635	
		15:00	87	
		Σ за день	978	
27	Похмурий день	8:00	53	95
		10:00	244	
		12:00	662	
		15:00	100	
		Σ за день	1059	
28	Перемінна хмарність	8:00	48	88
		10:00	349	
		12:00	1330	
		15:00	199	
		Σ за день	1926	
29	Похмурий день	8:00	98	89
		10:00	350	
		12:00	892	
		15:00	108	
		Σ за день	1448	
30	Сонячний день	8:00	271	85
		10:00	4670	
		12:00	8099	
		15:00	405	
		Σ за день	13445	
31	Сонячний день	8:00	256	85
		10:00	4790	
		12:00	9109	
		15:00	487	
		Σ за день	14642	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				23123
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				13072
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				66543
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				102738
Весна – березень				
1	Перемінна хмарність	8:00	91	69
		12:00	1473	
		15:00	1388	
		18:00	15	
		Σ за день	2967	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
2	Перемінна хмарність	8:00	52	77
		12:00	1295	
		15:00	1210	
		18:00	12	
		Σ за день	2569	
3	Перемінна хмарність	8:00	85	74
		12:00	966	
		15:00	881	
		18:00	10	
		Σ за день	1942	
4	Перемінна хмарність	8:00	67	72
		12:00	1487	
		15:00	906	
		18:00	12	
		Σ за день	2472	
5	Сонячний день	8:00	91	74
		12:00	7468	
		15:00	3015	
		18:00	12	
		Σ за день	10586	
6	Сонячний день	8:00	105	64
		12:00	7557	
		15:00	3294	
		18:00	23	
		Σ за день	10979	
7	Сонячний день	8:00	62	62
		12:00	8518	
		15:00	3807	
		18:00	20	
		Σ за день	12407	
8	Сонячний день	8:00	72	69
		12:00	8449	
		15:00	3550	
		18:00	19	
		Σ за день	12090	
9	Перемінна хмарність	8:00	95	77
		12:00	3494	
		15:00	409	
		18:00	20	
		Σ за день	4018	
10	Перемінна хмарність	8:00	40	74
		12:00	3477	
		15:00	1392	
		18:00	17	
		Σ за день	4926	
11	Сонячний день	8:00	48	62
		12:00	9121	
		15:00	4025	
		18:00	26	
		Σ за день	13220	
12	Похмурий день	8:00	27	81
		12:00	687	
		15:00	406	
		18:00	12	
		Σ за день	1132	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
13	Похмурий день	8:00	91	89
		12:00	905	
		15:00	768	
		18:00	12	
		Σ за день	1776	
14	Похмурий день	8:00	44	88
		12:00	856	
		15:00	334	
		18:00	17	
		Σ за день	1251	
15	Похмурий день	8:00	62	75
		12:00	807	
		15:00	518	
		18:00	20	
		Σ за день	1407	
16	Похмурий день	8:00	32	68
		12:00	550	
		15:00	449	
		18:00	19	
		Σ за день	1050	
17	Похмурий день	8:00	38	80
		12:00	950	
		15:00	692	
		18:00	18	
		Σ за день	1698	
18	Похмурий день	8:00	61	79
		12:00	670	
		15:00	499	
		18:00	13	
		Σ за день	1243	
19	Похмурий день	8:00	65	89
		12:00	894	
		15:00	695	
		18:00	20	
		Σ за день	1674	
20	Сонячний день	8:00	212	90
		12:00	4425	
		15:00	9438	
		18:00	413	
		Σ за день	14488	
21	Похмурий день	8:00	37	81
		12:00	621	
		15:00	525	
		18:00	26	
		Σ за день	1209	
22	Похмурий день	8:00	27	70
		12:00	987	
		15:00	706	
		18:00	12	
		Σ за день	1732	
23	Похмурий день	8:00	65	77
		12:00	932	
		15:00	665	
		18:00	19	
		Σ за день	1681	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Весна – березень				
24	Похмурий день	8:00	35	65
		12:00	556	
		15:00	334	
		18:00	17	
		Σ за день	942	
25	Похмурий день	8:00	62	62
		12:00	917	
		15:00	518	
		18:00	20	
		Σ за день	1517	
26	Перемінна хмарність	8:00	60	78
		12:00	550	
		15:00	1561	
		18:00	25	
		Σ за день	2196	
27	Перемінна хмарність	8:00	38	62
		12:00	950	
		15:00	1692	
		18:00	18	
		Σ за день	2698	
28	Перемінна хмарність	8:00	65	72
		12:00	1345	
		15:00	1212	
		18:00	32	
		Σ за день	2654	
29	Сонячний день	8:00	89	81
		12:00	8825	
		15:00	3336	
		18:00	60	
		Σ за день	12310	
30	Сонячний день	8:00	73	71
		12:00	8571	
		15:00	3386	
		18:00	87	
		Σ за день	12117	
31	Сонячний день	8:00	96	72
		12:00	7008	
		15:00	3258	
		18:00	75	
		Σ за день	10437	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				17180
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				26442
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				108634
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				152256
Літо – липень				
1	Сонячний день	8:00	406	37
		12:00	13906	
		15:00	11098	
		19:00	1469	
		Σ за день	26879	
2	Сонячний день	8:00	488	32
		12:00	14444	
		15:00	11379	
		19:00	1899	
		Σ за день	28210	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
3	Сонячний день	8:00	479	38
		12:00	12426	
		15:00	10981	
		19:00	2163	
		Σ за день	26049	
4	Сонячний день	8:00	576	35
		12:00	13651	
		15:00	10619	
		19:00	1464	
		Σ за день	26310	
5	Сонячний день	8:00	541	30
		12:00	10389	
		15:00	9601	
		19:00	1772	
		Σ за день	22303	
6	Сонячний день	8:00	513	33
		12:00	11006	
		15:00	10316	
		19:00	2268	
		Σ за день	24103	
7	Сонячний день	8:00	406	32
		12:00	13906	
		15:00	11098	
		19:00	1469	
		Σ за день	26879	
8	Сонячний день	8:00	467	31
		12:00	14425	
		15:00	10112	
		19:00	1688	
		Σ за день	26692	
9	Сонячний день	8:00	644	35
		12:00	13006	
		15:00	10663	
		19:00	1188	
		Σ за день	25501	
10	Сонячний день	8:00	484	39
		12:00	14614	
		15:00	10463	
		19:00	2327	
		Σ за день	27888	
11	Сонячний день	8:00	470	40
		12:00	11495	
		15:00	9486	
		19:00	2101	
		Σ за день	23552	
12	Перемінна хмарність	8:00	398	36
		12:00	6008	
		15:00	10935	
		19:00	2262	
		Σ за день	19603	
13	Сонячний день	8:00	581	40
		12:00	11651	
		15:00	10935	
		19:00	2431	
		Σ за день	25598	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
14	Перемінна хмарність	8:00	852	40
		12:00	12514	
		15:00	6550	
		19:00	1351	
		Σ за день	21267	
15	Сонячний день	8:00	679	33
		12:00	10290	
		15:00	9907	
		19:00	1323	
		Σ за день	22199	
16	Перемінна хмарність	8:00	265	45
		12:00	6345	
		15:00	12212	
		19:00	132	
		Σ за день	18954	
17	Сонячний день	8:00	406	32
		12:00	13906	
		15:00	11098	
		19:00	1469	
		Σ за день	26879	
18	Перемінна хмарність	8:00	467	40
		12:00	10425	
		15:00	7112	
		19:00	1688	
		Σ за день	19692	
19	Сонячний день	8:00	559	33
		12:00	10518	
		15:00	9158	
		19:00	2098	
		Σ за день	22333	
20	Перемінна хмарність	8:00	458	45
		12:00	8833	
		15:00	11558	
		19:00	1192	
		Σ за день	22041	
21	Сонячний день	8:00	539	33
		12:00	9718	
		15:00	8228	
		19:00	1960	
		Σ за день	20445	
22	Сонячний день	8:00	555	39
		12:00	12738	
		15:00	10216	
		19:00	1412	
		Σ за день	24921	
23	Похмурий день	8:00	292	60
		12:00	956	
		15:00	876	
		19:00	361	
		Σ за день	2485	
24	Перемінна хмарність	8:00	570	42
		12:00	8943	
		15:00	9737	
		19:00	1609	
		Σ за день	20859	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Літо – липень				
25	Похмурий день	8:00	192	65
		12:00	1956	
		15:00	876	
		19:00	161	
		Σ за день	3185	
26	Перемінна хмарність	8:00	644	31
		12:00	10084	
		15:00	9581	
		19:00	1769	
		Σ за день	22078	
27	Похмурий день	8:00	92	59
		12:00	656	
		15:00	376	
		19:00	91	
		Σ за день	1215	
28	Перемінна хмарність	8:00	473	48
		12:00	8059	
		15:00	9692	
		19:00	1573	
		Σ за день	19797	
29	Сонячний день	8:00	523	35
		12:00	10454	
		15:00	9610	
		19:00	1566	
		Σ за день	22153	
30	Похмурий день	8:00	126	65
		12:00	899	
		15:00	375	
		19:00	103	
		Σ за день	1503	
31	Перемінна хмарність	8:00	454	45
		12:00	8603	
		15:00	9407	
		19:00	1316	
		Σ за день	19780	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				8388
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				184071
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				448824
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				641283
Осінь – жовтень				
1	Перемінна хмарність	8:00	62	68
		12:00	1079	
		15:00	994	
		19:00	15	
		Σ за день	2150	
2	Перемінна хмарність	8:00	47	69
		12:00	1408	
		15:00	1323	
		19:00	18	
		Σ за день	2796	
3	Перемінна хмарність	8:00	93	57
		12:00	1414	
		15:00	1329	
		19:00	17	
		Σ за день	2853	



## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
4	Перемінна хмарність	8:00	50	61
		12:00	967	
		15:00	882	
		19:00	13	
		Σ за день	1912	
5	Сонячний день	8:00	175	57
		12:00	3621	
		15:00	9985	
		19:00	32	
		Σ за день	13813	
6	Сонячний день	8:00	52	55
		12:00	3695	
		15:00	9005	
		19:00	21	
		Σ за день	12773	
7	Похмурий день	8:00	19	60
		12:00	332	
		15:00	697	
		19:00	11	
		Σ за день	1059	
8	Похмурий день	8:00	19	76
		12:00	339	
		15:00	778	
		19:00	11	
		Σ за день	1147	
9	Похмурий день	8:00	165	78
		12:00	1045	
		15:00	312	
		19:00	62	
		Σ за день	1584	
10	Похмурий день	8:00	19	72
		12:00	302	
		15:00	724	
		19:00	12	
		Σ за день	1057	
11	Похмурий день	8:00	12	85
		12:00	367	
		15:00	738	
		19:00	13	
		Σ за день	1130	
12	Похмурий день	8:00	18	88
		12:00	330	
		15:00	616	
		19:00	17	
		Σ за день	981	
13	Похмурий день	8:00	11	76
		12:00	397	
		15:00	740	
		19:00	20	
		Σ за день	1168	
14	Похмурий день	8:00	15	77
		12:00	382	
		15:00	745	
		19:00	20	
		Σ за день	1162	

## Продовження таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
15	Перемінна хмарність	8:00	82	54
		12:00	1122	
		15:00	1037	
		19:00	20	
		Σ за день	2261	
16	Похмурий день	8:00	17	89
		12:00	373	
		15:00	794	
		19:00	19	
		Σ за день	1203	
17	Похмурий день	8:00	18	87
		12:00	345	
		15:00	624	
		19:00	14	
		Σ за день	1001	
18	Перемінна хмарність	8:00	100	72
		12:00	1230	
		15:00	1145	
		19:00	19	
		Σ за день	2494	
19	Сонячний день	8:00	51	66
		12:00	3356	
		15:00	8257	
		19:00	22	
		Σ за день	11686	
20	Перемінна хмарність	8:00	83	60
		12:00	968	
		15:00	883	
		19:00	19	
		Σ за день	1953	
21	Похмурий день	8:00	12	85
		12:00	367	
		15:00	738	
		19:00	13	
		Σ за день	1130	
22	Похмурий день	8:00	12	88
		12:00	451	
		15:00	388	
		19:00	12	
		Σ за день	863	
23	Перемінна хмарність	8:00	87	64
		12:00	1497	
		15:00	1412	
		19:00	13	
		Σ за день	3009	
24	Перемінна хмарність	8:00	49	69
		12:00	1005	
		15:00	920	
		19:00	13	
		Σ за день	1987	
25	Сонячний день	8:00	45	55
		12:00	9896	
		15:00	8698	
		19:00	85	
		Σ за день	18724	

## Кінець таблиці Д.2

День дослідження	Погодні умови	Час дослідження	Показник	
			Освітленість, лк	Вологість, %
Осінь – жовтень				
26	Похмурий день	8:00	18	90
		12:00	469	
		15:00	374	
		19:00	18	
		Σ за день	879	
27	Похмурий день	8:00	12	88
		12:00	475	
		15:00	226	
		19:00	20	
		Σ за день	733	
28	Похмурий день	8:00	12	84
		12:00	251	
		15:00	169	
		19:00	17	
		Σ за день	449	
29	Перемінна хмарність	8:00	88	75
		12:00	1366	
		15:00	1281	
		19:00	20	
		Σ за день	2755	
30	Перемінна хмарність	8:00	79	66
		12:00	1481	
		15:00	1396	
		19:00	19	
		Σ за день	2975	
31	Перемінна хмарність	8:00	63	70
		12:00	1426	
		15:00	1341	
		19:00	18	
		Σ за день	2848	
Загальна кількість освітлення за місяць в похмурий день, лк				17499
Загальна кількість освітлення за місяць в день з перемінною хмарністю, лк				29993
Загальна кількість освітлення за місяць в сонячний день, лк				56996
Загальна кількість освітлення за місяць, лк				104488

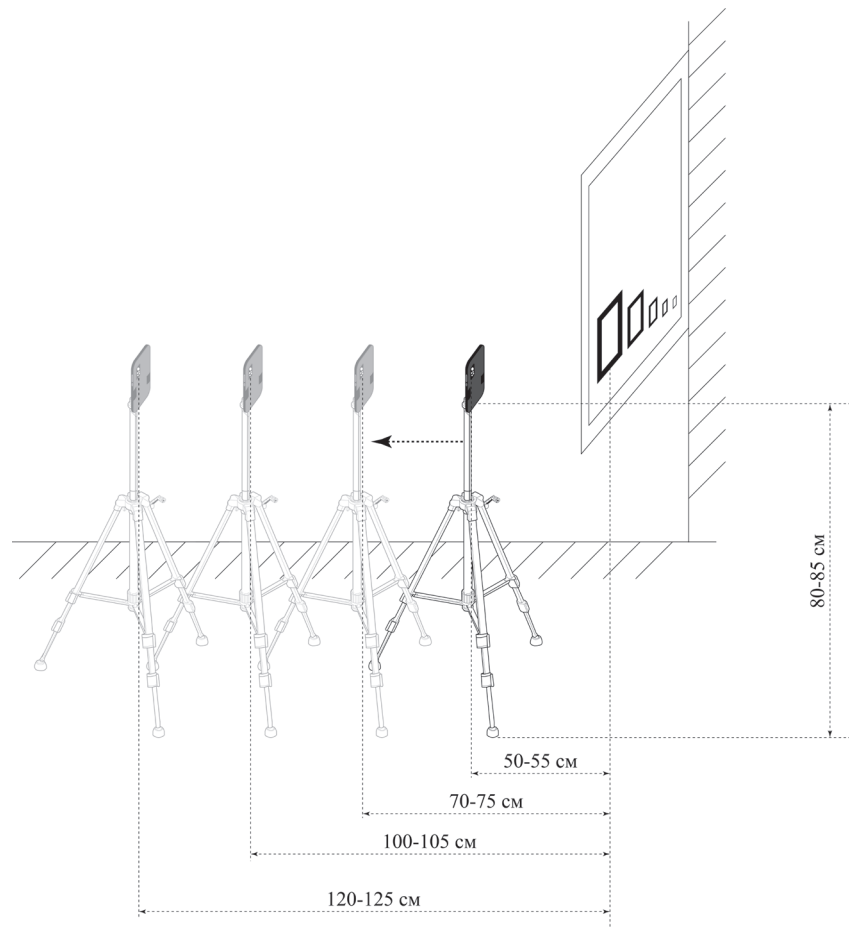


Рисунок Д.1 – Схема місця проведення експерименту

**ДОДАТОК Е**  
**ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПОЯВИ**  
**ВІДМОВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КОНТРАСТУ ВІДБИТКУ МАРКЕРУ ТА**  
**ФОНУ**

## Код на мові Python для визначення ймовірності появи відмов в залежності від контрасту відбитку маркеру та фону

```
# Підключення необхідних бібліотек для роботи
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats
# Кількість експериментів
num_experiments = 140
# Контрасти кольорів
contrast_a = a # значення контрасту (найвищий контраст)
contrast_b = b # значення контрасту
contrast_c = c # значення контрасту
contrast_d = d # значення контрасту
# Зростаючі ймовірності відмов для кольору з найвищим значенням контрасту
prob_failure_a = [# розраховані показники ймовірності появи відмов]
# Масштабування ймовірностей для інших кольорів (для врахування відмінностей)
scaling_factor_b = # коефіцієнт збільшення (вираховується евристичним шляхом)
scaling_factor_c = # коефіцієнт збільшення (вираховується евристичним шляхом)
scaling_factor_d = # коефіцієнт збільшення (вираховується евристичним шляхом)
prob_failure_b = [min(p * scaling_factor_b, 1) for p in prob_failure_a]
prob_failure_c = [min(p * scaling_factor_c, 1) for p in prob_failure_a]
prob_failure_d = [min(p * scaling_factor_d, 1) for p in prob_failure_a]
# Генерація випадкових даних для кожного кольору
failures_a = [np.random.binomial(num_experiments, p) for p in prob_failure_a]
failures_b = [np.random.binomial(num_experiments, p) for p in prob_failure_b]
failures_c = [np.random.binomial(num_experiments, p) for p in prob_failure_c]
failures_d = [np.random.binomial(num_experiments, p) for p in prob_failure_d]
# Побудова стовпчастого графіка
days = np.arange(7, 120, 7) # Дні дослідження
x = np.arange(len(days)) # Позиції для стовпчиків
width = 0.2 # Ширина стовпчика
fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(14, 8))
# Побудова стовпчиків для кожного варіанту контрасту
bars_a = ax1.bar(x - 1.5 * width, failures_a, width, label='Контраст a')
bars_b = ax1.bar(x - 0.5 * width, failures_b, width, label='Контраст b')
bars_c = ax1.bar(x + 0.5 * width, failures_c, width, label='Контраст c')
bars_d = ax1.bar(x + 1.5 * width, failures_d, width, label='Контраст d')
# Додавання ліній для тенденцій
def plot_trend_line(data, color, label):
    slope, intercept, _, _, _ = stats.linregress(x, data)
    trend_line = slope * x + intercept
    ax1.plot(x, trend_line, color=color, linestyle='--', label=label)
# Побудова ліній ймовірностей появи відмов для кожного варіанту контрасту
plot_trend_line(np.array(failures_a), 'black', 'Тенденція (Контраст a)')
plot_trend_line(np.array(failures_b), 'blue', 'Тенденція (Контраст b)')
plot_trend_line(np.array(failures_c), 'green', 'Тенденція (Контраст c)')
plot_trend_line(np.array(failures_d), 'orange', 'Тенденція (Контраст d)')
# Додавання точок для ймовірностей
ax1.scatter(x - 1.5 * width, np.array(prob_failure_a) * num_experiments, color='black', zorder=5)
ax1.scatter(x - 0.5 * width, np.array(prob_failure_b) * num_experiments, color='blue', zorder=5)
```

```

ax1.scatter(x + 0.5 * width, np.array(prob_failure_c) * num_experiments, color='green', zorder=5)
ax1.scatter(x + 1.5 * width, np.array(prob_failure_d) * num_experiments, color='orange', zorder=5)
# Створення додаткової осі Y для ймовірностей
ax2 = ax1.twinx()
ax2.set_ylabel('Ймовірність появи відмов')
# Налаштування графіка
ax1.set_xlabel('Досліджуваний інтервал часу')
ax1.set_ylabel('Кількість відмов у інтервалі')
ax1.set_title('Тенденції відмов за 140 днів для різних контрастів')
ax1.set_xticks(x)
ax1.set_xticklabels(days, rotation=45)
ax1.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7)
# Горизонтальна лінія ймовірності появи відмов на рівні 0,25
plt.axhline(y=0.25, color='r', linestyle='--')
plt.tight_layout()
plt.show()
# Створення додаткової осі Y для кількості відмов
ax2 = ax1.twinx()
ax2.set_ylabel('Кількість відмов у інтервалі')
ax2.set_ylim(0, 1)
ax1.set_ylim(0, num_experiments)
# Тепер замінюємо розподіл даних для осі Y
ax2.set_ylim(0, num_experiments)
# Додавання точок для ймовірностей на ліву вісь
ax1.scatter(x - 1.5 * width, np.array(prob_failure_a), color='black', zorder=5)
ax1.scatter(x - 0.5 * width, np.array(prob_failure_b), color='blue', zorder=5)
ax1.scatter(x + 0.5 * width, np.array(prob_failure_c), color='green', zorder=5)
ax1.scatter(x + 1.5 * width, np.array(prob_failure_d), color='orange', zorder=5)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

**ДОДАТОК Ж**  
**ПІДСИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ**  
**ЕЛЕМЕНТУ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ**



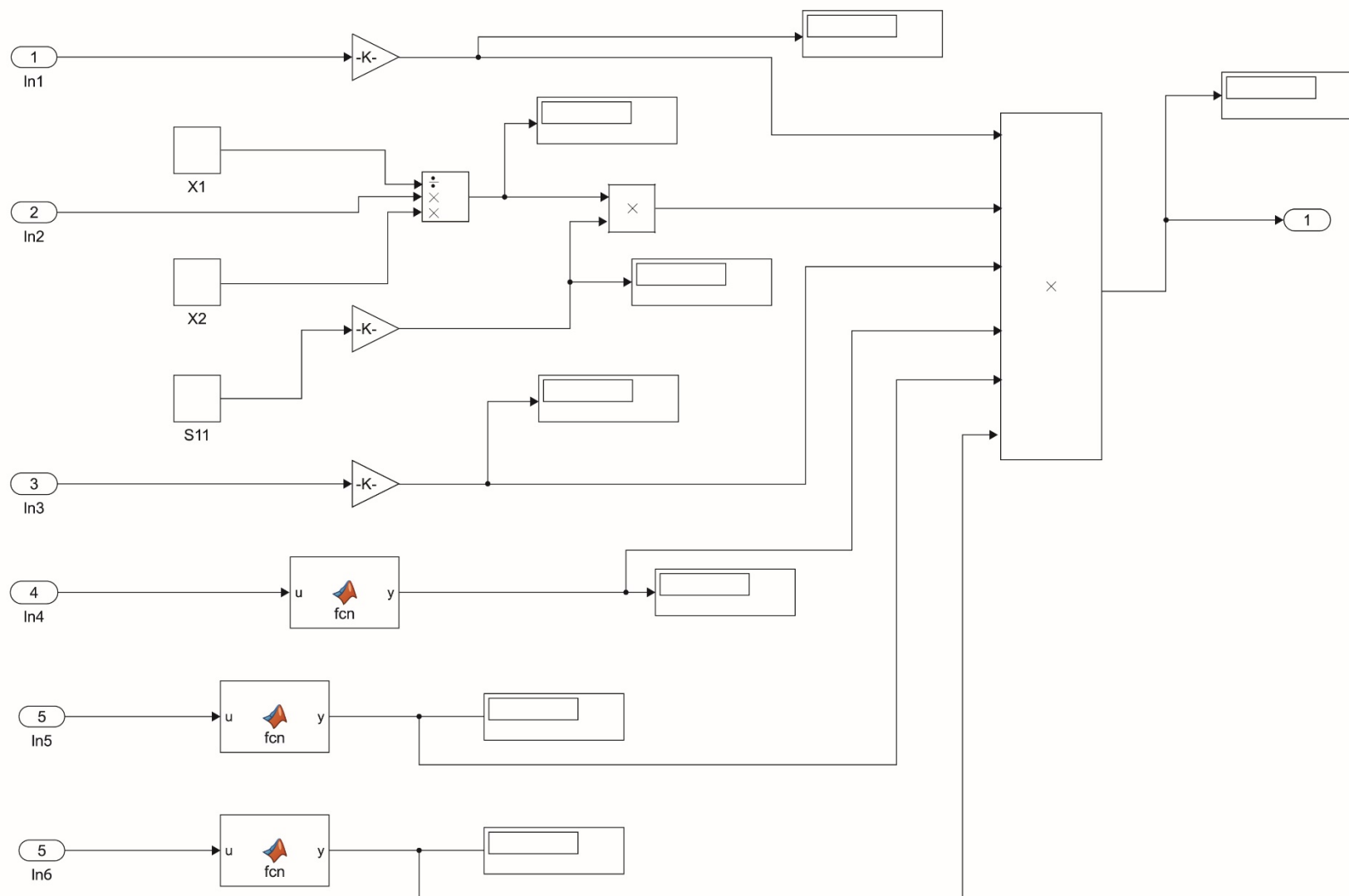


Рисунок Ж.1 – Схема зв'язків між параметрами першої підсистеми (створення зображення-маркеру) [5]

Перша підсистема – це підсистема створення зображення-маркеру. Зв'язки між параметрами цієї підсистеми наведені на рисунку 4.8. Залежності між параметрами та кінцевим результатом (обсяг даних) перевірялися експериментальним шляхом. Було створено декілька варіантів (8-10) маркеру відповідно до розробленого варіанту у підрозділі 2.5 та отриманих результатів експерименту, висвітлених у розділі 3. Далі було створено у них послідовні зміни показника відповідно до меж зміни параметру (див. табл. 4.8). Були визначені певні пропорційні залежності між параметрами та обсягом даних, на основі чого були сформовані коефіцієнти для відповідних параметрів для можливості їх використання у моделюванні [5].

Загальна залежність між параметрами цієї підсистеми буде наступною (Ж.1) [5]:

$$(X_{11} \times k_{11}) \times ((X_{12} \times k_{12} / k_{13}) \times (X_{13} \times k_{14}) \times (S_{11} \times k_{15})) \times (t_{11} \times k_{16}) \times f(t_{12}) \times f(S_{12}) \times f(t_{13}) = F_1(x) \quad (\text{Ж.1})$$

де  $F_1(x)$  – обсяг файлу маркеру, Мб;

$X_{11}$  – мінімальна товщина рамки навколо маркеру, пікселі;

$k_{11}$  – коефіцієнт переведення, 0,075;

$X_{12}$  – мінімальна ширина маркеру, пікселів;

$k_{12}$  – обсяг пам'яті при мінімальному розмірі маркеру;

$k_{13}$  – мінімальний розмір маркеру;

$X_{13}$  – колірний контраст між маркером та фоном;

$k_{14}$  – коефіцієнт переведення, 0,018;

$S_{11}$  – відхилення від квадратності, %;

$k_{15}$  – коефіцієнт переведення, 0,204;

$t_{11}$  – роздільна здатність, dpi;

$k_{16}$  – коефіцієнт переведення, 0,006 [5].

$t_{12}$  – ступінь стиснення зображення, %;

Функції  $f(t_{12})$ ,  $f(S_{12})$ ,  $f(t_{13})$  описуються наступним лістингом програми [5]:

**a)  $f(t_{12})$**

```
function y = fcn(u)
if (u >= 12)
    y = 1;
elseif (u >= 10) && (u < 12)
    y = 0.77;
elseif (u >= 6) && (u <= 8)
    y = 0.73;
elseif (u >= 4) && (u < 6)
    y = 0.66;
else
    y = 0.56;
end
end
```

**б)  $f(S_{12})$**

```
function y = fcn(u)
if u <= 0
    y = 1;
elseif (u >= 10) && (u <= 20)
    y = 1.15;
elseif (u > 20) && (u <= 60)
    y = 1.25;
else
    y = 1.35;
end
end
```

**в)  $f(t_{13})$**

```
function y = fcn(u)
if u <= 10
    y = 0.66;
elseif (u >= 10) && (u <= 40)
    y = 1.15;
elseif (u > 40) && (u <= 50)
    y = 1.40;
elseif (u > 50) && (u <= 80)
    y = 2.65;
else
    y = 3.35;
end
end
```

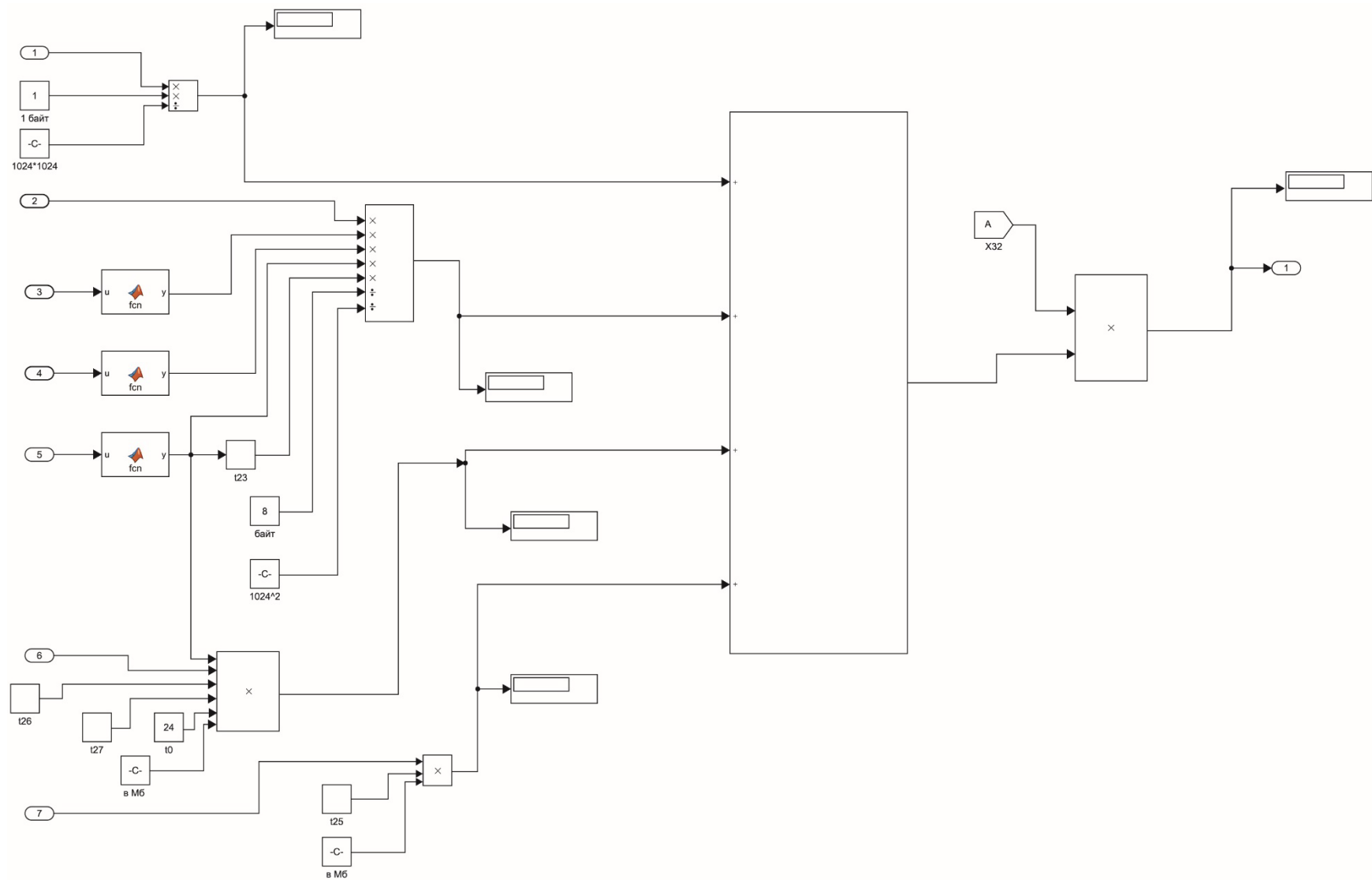


Рисунок Ж.2 – Схема зв'язків між параметрами другої підсистеми (створення контенту елемента доповненої реальності) [5]

Друга підсистема – це підсистема створення контенту для наповнення елементу доповненої реальності. Найбільший вплив на загальний обсяг файлу має саме ця підсистема, бо включає значно більше параметрів, які мають суттєвий вплив на цей вихідний параметр. Вона складається з декількох частин – створення текстового наповнення, створення ілюстраційного матеріалу, створення аудіо- та відеоматеріалу. Загальну залежність між параметрами цієї підсистеми можна представити наступним чином (Ж.2) [5]:

$$\begin{aligned} & ((X_{21} / (k_{21}) + (X_{22} \times f(t_{21}) \times f(t_{22}) \times f(t_{24}) \times t_{23} / (k_{22} \times k_{21}) + \\ & + (X_{23} \times f(t_{21}) \times t_{26} \times t_{27} \times k_{23} \times k_{24}) + (X_{24} \times t_{25} \times k_{24})) \times X_{32} = F_2(x) \end{aligned} \quad (\text{Ж.2})$$

де  $F_2(x)$  – середній обсяг файлу мультимедійного продукту, Мб;

$X_{21}$  – середня кількість знаків тексту на одному екрані;

$k_{21}$  – коефіцієнт переведення з байтів в Мб, 1048576;

$X_{22}$  – кількість зображень на одному екрані;

$t_{21}$  – діагональ екрану пристрою;

$t_{22}$  – кількість кольорів зображення;

$t_{23}$  – роздільна здатність зображення, dpi;

$t_{24}$  – ступінь стиснення зображення;

$k_{22}$  – коефіцієнт переведення з бітів в байти, 8 біт;

$X_{23}$  – середня тривалість відео, с;

$t_{26}$  – мінімальний бітрейт відео, Мбіт/с;

$t_{27}$  – частота кадрів відео, кадрів/с;

$k_{23}$  – мінімальна частота кадрів, 24 кадри/с;

$k_{24}$  – коефіцієнт переведення з байтів в Мбайти, 0,000000015;

$X_{24}$  – середня тривалість аудіо, с;

$t_{25}$  – бітрейт аудіо, кбіт/с;

$X_{32}$  – мінімальна кількість запланованих екранів додатку [5].

Функції  $f(t_{21})$ ,  $f(t_{22})$ ,  $f(t_{24})$  описуються наступним лістенінгом програми [5]:

а)  $f(t_{21})$

```

function y = fcn(u)
if u == 6.67
    y = 480000;
elseif u == 6.1
    y = 165000;
else
    y = 256000;
end
end

```

### 6) $f(t_{22})$

```

function y = fcn(u)
if u == 1
    y = 8;
elseif u == 2
    y = 16;
elseif u == 3
    y = 24;
else
    y = 32;
end
end

```

### B) $f(t_{24})$

```

function y = fcn(u)
if u == 12
    y = 1;
elseif u == 8
    y = 0.75;
else
    y = 0.89;
end
end

```

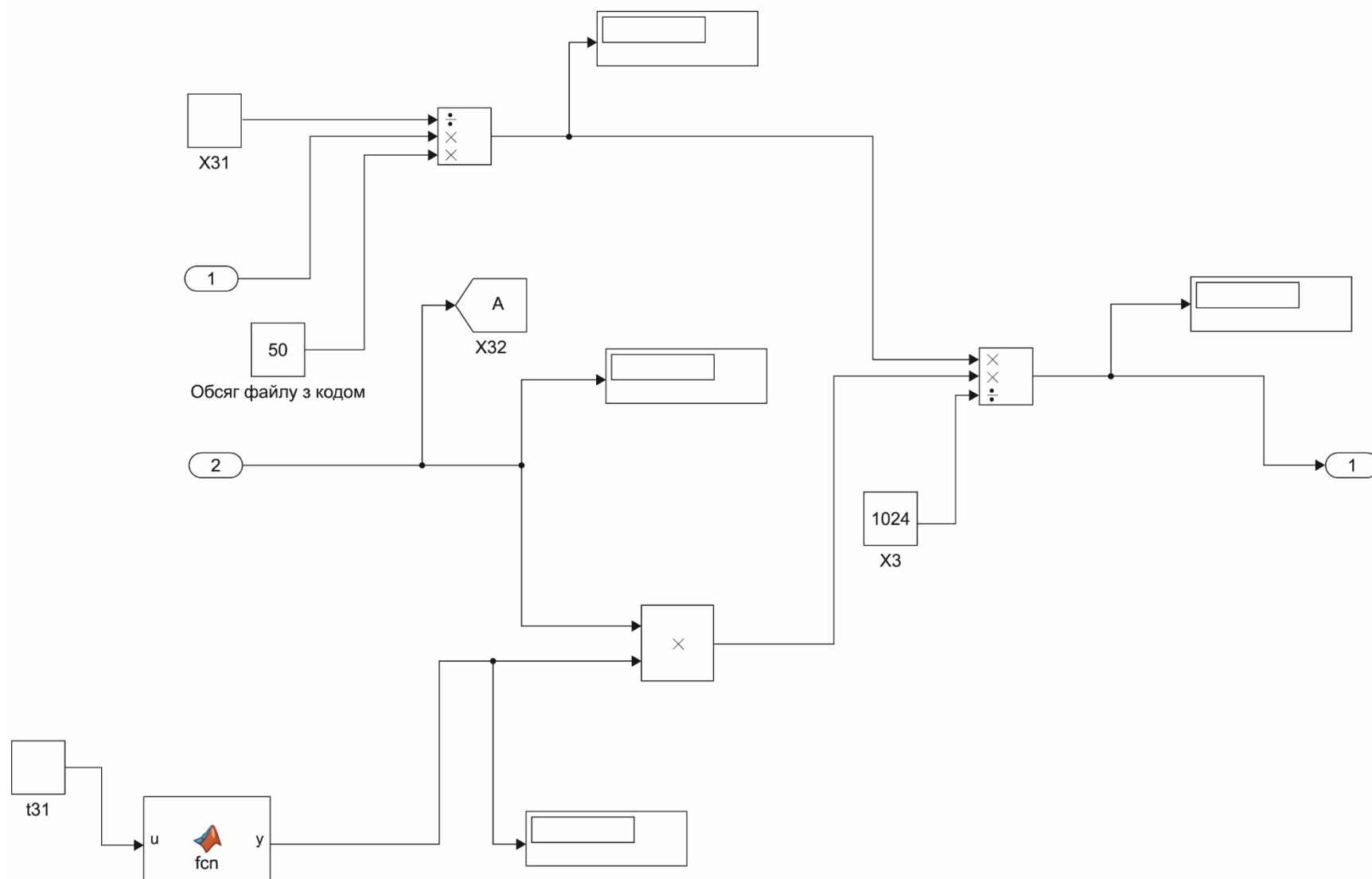


Рисунок Б.3 – Схема зв'язків між параметрами третьої підсистеми (створення коду елементу доповненої реальності) [5]

Третя підсистема створення коду маркеру майже не створює суттєвого внеску у збільшення обсягу файлу елементу доповненої реальності, оскільки являє собою процес створення програмного коду маркеру, поєднуючи результати роботи інших двох підсистем, а, отже, не займає багато пам'яті пристрою відтворення. Тому вплив цієї підсистеми можна фактично не враховувати при імітаційному моделюванні [5].

Загальна залежність між параметрами у цій підсистемі має наступний вигляд (4.3) [5]:

$$(X_{31} \times k_{31} \times k_{32}) \times (X_{32} \times f(t_{31})) \times k_{33} = F_3(x) \quad (4.3)$$

де  $F_3(x)$  – обсяг файлу коду, Мб;

$X_{31}$  – середня кількість рядків коду;

$k_{31}$  – мінімальна кількість рядків коду;

$k_{32}$  – обсяг пам'яті файлу коду при мінімальній кількості рядків коду, Кб;

$X_{32}$  – мінімальна кількість запланованих екранів додатку;

$t_{31}$  – ступінь інтерактивності додатку, %;

$k_{33}$  – коефіцієнт переведення з Кб в Мб, 1024 [5].

Функція  $f(t_{31})$  описується наступним лістингом програми [5]:

а)  $f(t_{31})$

```
function y = fcn(u)
if (u >= 10) && (u < 30)
    y = 1;
elseif (u >= 30) && (u < 50)
    y = 1.36;
elseif (u >= 50) && (u <= 80)
    y = 1.47;
else
    y = 1.52;
end
end
```



**ДОДАТОК К**  
**РОЗРАХУНКИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ**

№ дослід	Кодовані значення факторів					Добутки факторів				Значення Ів при відсутності захисного елементу							
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		x1x2	x1x3	x2x3		Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	$\bar{Y}_1$	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup> <sub>max</sub>	Gкохр	$\hat{Y}_1$
1	1	-1	-1	-1		1	1	1		0,0714	0,0571	0,1071	0,0785	0,0013	0,02296	0,30684	0,2943
2	1	1	-1	-1		-1	-1	1		0,1071	0,0714	0,1429	0,1071	0,0026			0,0854
3	1	-1	1	-1		-1	1	-1		0,1429	0,0857	0,1786	0,1357	0,0044			0,1307
4	1	1	1	-1		1	-1	-1		0,1786	0,1071	0,2143	0,1667	0,0060			0,2491
5	1	-1	-1	1		1	-1	-1		0,2143	0,1357	0,2571	0,2024	0,0076			0,1122
6	1	1	-1	1		-1	1	-1		0,25	0,1429	0,3214	0,2381	0,0161			0,2676
7	1	-1	1	1		-1	-1	1		0,2857	0,1786	0,3429	0,2691	0,0139			-0,0515
8	1	1	1	1		1	1	1		0,3214	0,2143	0,4286	0,3214	0,0230			0,4313
													Σ	0,07483			
					S02	0,0187		Sbi2	0,00078		Sbi	0,02792					



№ дослід	Кодовані значення факторів					Добутки факторів				Значення Ів для білборду							
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		x1x2	x1x3	x2x3		Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>13</sub>	$\bar{Y}_1$	S <sup>2</sup>	S <sup>2</sup> <sub>max</sub>	Gкохр	$\hat{Y}_1$
1	1	-1	-1	-1		1	1	1		0,2560	0,3214	0,5226	0,3667	0,0386	0,06501	0,14453	0,8742
2	1	1	-1	-1		-1	-1	1		0,2441	0,3512	0,5714	0,3889	0,0557			0,0429
3	1	-1	1	-1		-1	1	-1		0,2560	0,3512	0,6048	0,4040	0,0650			0,6369
4	1	1	1	-1		1	-1	-1		0,2857	0,3810	0,5965	0,4210	0,0507			0,1475
5	1	-1	-1	1		1	-1	-1		0,2857	0,3929	0,6333	0,4373	0,0634			0,5059
6	1	1	-1	1		-1	1	-1		0,3036	0,4107	0,6548	0,4563	0,0648			0,2784
7	1	-1	1	1		-1	-1	1		0,3214	0,4107	0,6488	0,4603	0,0573			0,4013
8	1	1	1	1		1	1	1		0,3155	0,4464	0,6429	0,4683	0,0543			0,5157
													Σ	0,44982			
					S0	0,1125		Sbi2	0,00469		Sbi	0,06845					
			Кст											Sad2		Кфішера	
b0	0,4253	6,2138			-0,3667	-0,3667	-0,3667	0,6667	0,3667	0,3667			0,25756	0,54846	0,5485		4,8772
b1	-0,1792	2,6181			0,3889	-0,3889	-0,3889	-0,3889	-0,3889	0,3889			0,11972				
b2	0,1505	2,1993			-1,0040	0,9040	-0,4040	-0,4040	0,9740	-0,4040			0,05424				
b3	0,1552	2,2674			0,7210	0,4210	-0,4210	0,7210	-0,4210	-0,4210			0,07485				
b12	0,0855	1,2486			-0,9373	-0,4373	0,8373	0,4373	-0,4373	-0,4373			0,00470				
b13	0,1510	2,2054			0,1563	-0,4563	0,6563	-0,4563	0,7563	-0,4563			0,03165				
b23	0,0332	0,4848			-0,9603	0,7603	0,8603	-0,4603	-0,4603	0,7603			0,00348				
					0,5683	0,7683	0,4683	0,5683	0,8183	0,4683			0,00226				

Рисунок К.3 – Детальні розрахунки статистичних даних для проведення регресійного аналізу для білбордів (приклад з Microsoft Excel)

**ДОДАТОК Л**  
**ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОЯВИ ВІДМОВ ПІД ДІЄЮ РІЗНОГО**  
**СТУПЕНЯ ОСВІТЛЕНOSTІ**

## Програмний код для проведення багатокритеріального моделювання процесу появи відмов під дією різного ступеня освітленості

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
# Дані
contrast_levels = np.array([a, b, c, d, e, f...ni]) # Ступінь контрасту
detail_levels = np.array([1, 2, 3]) # 1 - Похмурий день, 2 - Помірна хмарність, 3 - Сонячний день
# Розподіл значень ймовірності за умовами освітлення
probability_ranges = {
    a: [# Ймовірність появи відмови],
    b: [# Ймовірність появи відмови],
    c: [# Ймовірність появи відмови],
    d: [# Ймовірність появи відмови],
    e: [# Ймовірність появи відмови],
    f: [# Ймовірність появи відмови],}
# Генерація X, Y, Z для побудови 3D-графіка
X, Y, Z = [], [], []
for contrast in contrast_levels:
    for i, detail in enumerate(detail_levels):
        X.append(detail) # Рівень деталізації (освітлення)
        Y.append(contrast) # Ступінь контрасту
        Z.append(probability_ranges[contrast][i]) # Відповідне значення ймовірності
# Перетворення у NumPy масиви
X = np.array(X)
Y = np.array(Y)
Z = np.array(Z)
# Побудова графіка
fig = plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
# Побудова поверхні через трикутну інтерполяцію
ax.plot_trisurf(X, Y, Z, cmap='viridis', edgecolor='k', alpha=0.8)
# Додавання рівномірних 3D-зон на осі X
for i, color in zip([1, 2, 3], ['blue', 'gray', 'yellow']):
    y_min, y_max = min(contrast_levels), max(contrast_levels)
    z_min, z_max = min(Z), max(Z)
    ax.bar3d(i - 0.5, y_min, z_min, 1, y_max - y_min, z_max - z_min, color=color, alpha=0.1)
# Додавання площини на рівні Z = 0.25, яка покриває весь графік
X_plane, Y_plane = np.meshgrid(detail_levels, contrast_levels)
Z_plane = np.full_like(X_plane, 0.25)
ax.plot_surface(X_plane, Y_plane, Z_plane, color='red', alpha=0.6, edgecolor='k', linewidth=1)
# Підписи осей
ax.set_ylabel("Ступінь контрасту")
ax.set_zlabel("Ймовірність відмови")
# Замінюємо значення на підписані зони
ax.set_xticks([1, 2, 3])
ax.set_xticklabels(["Похмурий день", "Помірна хмарність", "Сонячний день"])
ax.set_yticks(contrast_levels)
# Легенда
legend_patches = [plt.Line2D([0], [0], color='blue', lw=4, alpha=0.5, label='Похмурий день'),
    # plt.Line2D([0], [0], color='gray', lw=4, alpha=0.5, label='Помірна хмарність'),
    # plt.Line2D([0], [0], color='yellow', lw=4, alpha=0.5, label='Сонячний день'),
    # plt.Line2D([0], [0], color='red', lw=4, alpha=0.6, label='Площина Z=0.25')]
#ax.legend(handles=legend_patches, loc='upper right')
# Нахил графіка для кращого огляду
ax.view_init(elev=40, azim=240)
# Відображення
plt.show()

```

**ДОДАТОК М**  
**АКТИ ВПРОВАЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВОЇ РОБОТИ**

## **АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

рекомендацій з удосконалення технологічного процесу репродукування друкованої продукції вуличної реклами з елементами доповненої реальності

Акт складено про те, що у ТОВ "САЛЮТІС ПРІНТ" були впроваджені наукові розробки, отримані за результатами виробничих випробувань технологічного процесу репродукування друкованої продукції вуличної реклами з елементами доповненої реальності, здійснюваного методом плоского офсетного друку зі зволоженням друкарських форм.

У період з жовтня по листопад 2024 року у виробничих умовах ТОВ "САЛЮТІС ПРІНТ" було впроваджено технологічні рекомендації, розроблені старшим викладачем кафедри репрографії Навчально-наукового видавничо-поліграфічного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського Барановою Д. І. Рекомендації стосувалися удосконалення технологічного процесу репродукування друкованої продукції вуличної реклами з елементами доповненої реальності для забезпечення стабільності відтворення маркерів доповненої реальності відповідно до умов і терміну експлуатації такої продукції.

Підготовка та реалізація виробничих процесів здійснювалася за стандартною процедурою. Технологічні режими додрукарських і друкарських процесів відповідали унормованим вимогам. Додрукарська підготовка виконувалася у програмних пакетах Adobe Photoshop 2021, Illustrator 2021 та Acrobat 2021. Виробництво друкованої вуличної реклами з елементами доповненої реальності здійснювалося на офсетній чотирифарбовій друкарській машині Polly-474 зі зволоженням друкарських форм при швидкості друкування 10 тис. арк./год.

Під час додрукарських та друкарських процесів здійснювався постійний контроль як за технічними характеристиками елементів доповненої реальності на кожному етапі виробництва, так і відповідно до затверджених засобів і методів контролю виробничих процесів на ТОВ "САЛЮТІС ПРІНТ".




Нормалізація відтворення елементів доповненої реальності здійснювалася на основі розробленого старшим викладачем Барановою Д. І. алгоритму технологічного процесу створення друкованої продукції з елементами доповненої реальності при різних умовах її використання та відповідних рекомендацій для різних груп продукції вуличної реклами.

Проведені випробування підтвердили ефективність впроваджених рекомендацій щодо удосконалення технологічного процесу репродукування друкованої продукції вуличної реклами з елементами доповненої реальності. Зокрема, було досягнуто стабілізації відтворення маркерів доповненої реальності відповідно до умов та терміну експлуатації такої продукції в умовах реального виробництва.


Отримані результати дозволили встановити взаємозв'язок між конструктивно-технологічними параметрами маркерів, умовами експлуатації продукції з доповненою реальністю та показниками якості процесу відтворення елементів доповненої реальності.

Розроблені рекомендації щодо поліграфічного виконання маркерів доповненої реальності з урахуванням умов експлуатації друкованої продукції дозволяють скоротити час на їх тестування та забезпечити стабільність відтворення контентної складової.


Директор ННВПІ

 Петро КИРИЧОК


В. о. завідувача кафедри репрографії

 Олександр ПАЛЮХ

Науковий керівник

 Василь СКИБА

Старший викладач

 Дарина БАРАНОВА

Директор ТОВ «САЛЮТІС ПРІНТ»



Анатолій ЛИСЕНКО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор НН ВПІ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Петро КИРИЧОК  
17 лютого 2025 р.



### ДОВІДКА

#### про впровадження у навчальний процес

Цим підтверджуємо авторський пріоритет на науковий доробок старшого викладача кафедри репрографії Баранової Д. І. у впровадженні положень дисертації в навчальному процесі підготовки фахівців на кафедрах ТПВ та репрографії НН ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського за спеціальністю 186 Видавництво та поліграфія для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти у лекційному курсі, комп'ютерному практикумі і практичних роботах освітнього компонента (навчальної дисципліни) «Технології доповненої реальності».

Голова методичної комісії  
НН ВПІ, к.т.н., доцент

Оксана БАРАУСКЕНЕ

Зав. каф. ТПВ, д.т.н., проф.

Тетяна КИРИЧОК

В.о. зав. каф. репрографії,  
д.т.н., проф.

Олександр ПАЛЮХ

Доцент. каф. ТПВ, к.т.н., доц.

Катерина ЗОЛОТУХІНА