

УДК 004.932.72'1

## РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Д. І. Баранова, В. М. Скиба, Т. В. Розум

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
Видавничо-поліграфічний інститут,  
вул. Янгеля, 1/37, Київ, 03056, Україна*

*Доповнена реальність — це один з нових способів вираження, доповнення та розширення контенту будь-якої продукції, зокрема друкованої — книжок, журналів, листівок, одягу тощо. Технологічний процес створення продукції з доповненою реальністю передбачає багато етапів, кожен з яких потребує контролю. Особливо це стосується процесу створення елементів доповненої реальності (маркерів), що в подальшому будуть віддруковані, скануючи які користувач зможе відтворити та побачити контент. Однією з важливих операцій є тестування цих елементів, адже без впевненості у коректності відтворення віртуального контенту неможливе продовження виконання наступних процесів. Ця робота присвячена дослідженню особливостей взаємозв'язку між інформаційним, енергетичним та матеріальним потоками процесу створення елементів доповненої реальності, а також визначенню якісних та кількісних параметрів цих потоків.*

**Ключові слова:** *доповнена реальність, елементи доповненої реальності, цифровий контент, тестування, інформаційний потік, енергетичний потік, матеріальний потік, декомпозиція, інформаційна модель, математична модель.*

**Постановка проблеми.** Доповнена реальність є доволі новою технологією, а тому недостатньо вивченою та глибоко дослідженою. Існує низка факторів, що впливають не тільки на процес виготовлення такої продукції, а й на використання готової продукції загалом. Їх можна розділити на декілька груп, а саме: обладнання, технологія, матеріали, програмне забезпечення, контроль якості, персонал, інформація. Вплив на процес від цих груп чинників, зважаючи на перше твердження, є недостатньо вивченим, а тому потребує глибшого дослідження для розроблення певних рекомендацій. Однією з впливових груп є технологія, а саме особливості виконання кожної операції технологічного процесу створення продукції з доповненою реальністю. Особливо мала кількість досліджень у вивченні питання відтворення елементів доповненої реальності та особливостей і параметрів цього процесу.

Саме тому обрана тема є актуальною, адже дослідження саме цієї ключової стадії дасть змогу виявляти помилки на початку і запобігти появі наступних. Окрім того, вивчення взаємозв'язку між трьома видами потоків, визначення їх параметрів

та особливостей дасть змогу визначити витрати, трудомісткість процесів та розробити рекомендації щодо їх зниження. Окрім того, загалом дослідження цієї сфери присвячені вивченню особливостей програмного забезпечення для створення доповненої реальності та маркерів, а тому такий напрям буде доволі новим та буде мати важливий внесок у дослідження та розуміння доповненої реальності як технології. Побудова інформаційної та математичної моделі процесу дасть змогу якомога глибше дослідити його та визначити взаємозв'язки потоків та складові.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У сфері доповненої реальності були проведені різноманітні дослідження, присвячені різним її аспектам. Наприклад, Азума Р. Т. у своєму дослідженні [1] розглянув основні поняття технології доповненої реальності, а також особливості алгоритму розпізнавання маркерів. Карміньяні Дж., Фурт Б., Анісетті М. та інші [2] досліджували тенденції розвитку сфери доповненої реальності у майбутньому; Бусел [3] визначив існуючі загрози для доповненої реальності та можливості їх подолання. Проте не було робіт з дослідження взаємозв'язку та параметрів інформаційного, енергетичного та матеріального потоків.

Дослідження потоків виконувались у класичних поліграфічних технологіях (Величко О. М., Скиба В. М., Зоренко Я. В., Золотухіна К. І., Розум Т. В. та інші [4–9]), але саме в контексті доповненої реальності це буде зроблено вперше.

**Мета статті** — провести аналіз технології створення елементів доповненої реальності з визначенням основних особливостей та атрибутів цього процесу, провести її декомпозицію з вибором технологічної операції для подальшого дослідження і розробити інформаційну та математичну модель для обраної операції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для побудови інформаційної моделі було розглянуто технологічний процес створення елементів доповненої реальності.

Для процесу розроблення елементів доповненої реальності було розроблено чорну скриньку (рис. 1) відповідно до [10] та визначено її такі параметри:  $I, I_1$  — інформація, що вводиться ( $I$ ) та виводиться ( $I_1$ ) системою;  $E, E_1$  — енергія, яка потрібна для процесу ( $E$ ) та витрачена енергія ( $E_1$ );  $M, M_1$  — матеріали (вхідні та вихідні).

Як вхідна інформація ( $I$ ) буде вся та інформація, яка необхідна для створення контенту для доповненої реальності: текстова інформація для створення заголовків, тексту або пояснень для відтворюваного контенту, ілюстраційна інформація для створення образів на екрані пристрою, відео- та аудіоінформація, анімаційні елементи. Також до вхідної інформації можна зарахувати концепцію готового видання та відтворюваних елементів доповненої реальності.

Вихідною інформацією ( $I_1$ ) можуть бути готові елементи доповненої реальності, які пройшли тестування, або готовий мультимедійний об'єкт, розроблений на основі вхідної інформації, який потім буде використаний для інших цілей.



Рис. 1. Система «чорна скринька» для технологічного процесу розроблення елементів доповненої реальності

Як вхідні матеріали (M) може слугувати мінімально необхідний об'єм пам'яті: трафік інтернету, жорсткий диск, операційна пам'ять. Зважаючи на характеристики програмного забезпечення, цей параметр буде виражатися у наступних значеннях для кожної необхідної робочої станції: трафік інтернету 2 ГБ; жорсткий диск — 40 ГБ; операційна пам'ять — 14 ГБ. Вихідні матеріали ( $M_1$ ) — це може бути розмір готового файлу і необхідний обсяг пам'яті під нього на сервері. Зважаючи на отримані у процесі досліджень розрахунки, можна зробити висновок, що загальний розмір одного готового елемента доповненої реальності становитиме приблизно 8 МБ, а зважаючи на їх кількість (1440 елементів), необхідного місця на сервері знадобиться приблизно 12 ГБ.

Енергія, яка необхідна для виконання процесу (E), — це потужність робочих станцій (5,5 кВт), а також електроенергія, яка необхідна для освітлення приміщення (1,4 кВт). До витраченої електроенергії ( $E_1$ ) можна зарахувати реально витрачену приладами (14551,3 кВт) та освітленням електроенергію (1956 кВт), а також теплову енергію, яка виділилася під час роботи приладів (15250 МДж).

Наступним кроком було розроблено схему взаємозв'язків між цими потоками (рис. 2) для процесу створення елементів доповненої реальності відповідно до [4, 9, 11].

Як можна побачити з рис. 2, а також зважаючи на те, що процес повністю відбувається в електронному вигляді, то на кожному етапі відбувається постійна взаємодія інформаційного, енергетичного та матеріального потоків. На кожному робочу станцію, яка бере участь у процесі, надходить інформація щодо концепції та технічне завдання майбутнього видання і відтворюваного цифрового контенту. З кожної робочої станції виходить інформація, яка своєю чергою стає вхідною для іншої РС, окрім УРС2, тобто універсальної робочої станції для створення AR-елементів, яка є кінцевою ланкою, а тому отримані елементи доповненої реальності є вихідною інформацією. Під час роботи кожної станції виділяється

вихідна електро- та теплоенергія, а для їх роботи поступає необхідна кількість вхідної. Також кожна робоча станція забезпечується «матеріалами» — обсягом пам'яті для коректної роботи програм та якісного виконання операцій на кожному етапі технологічного процесу створення елементів доповненої реальності [11].

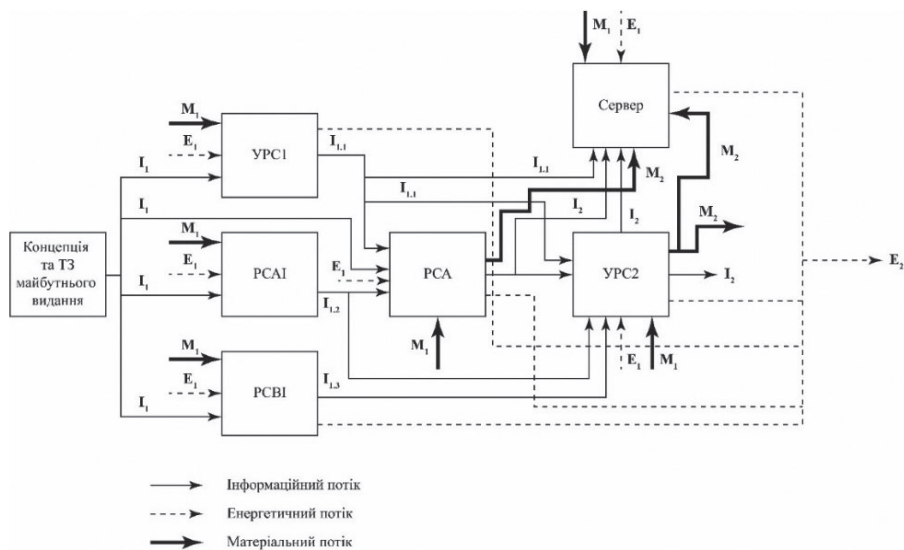


Рис. 2. Схема взаємодії потоків на етапі розроблення елементів доповненої реальності [11]:

$I_1$  — вхідна інформація;  $I_{1,1}$  — текстова та ілюстраційна інформація;

$I_{1,2}$  — відеоінформація;  $I_{1,3}$  — аудіоінформація;  $I_{1,4}$  — анімаційні елементи;

$I_2$  — готові елементи доповненої реальності, готовий мультимедійний об'єкт;

$M_1$  — трафік інтернету, жорсткий диск, операційна пам'ять;

$M_2$  — розмір готового файлу і необхідний обсяг пам'яті під нього на сервері;

$E_1$  — потужність робочих станцій (вхідна енергія);

$E_2$  — витрачена приладами та освітленням електроенергія, теплова енергія, яка виділилася під час роботи приладів;

УРС1 — універсальна робоча станція введення та опрацювання текстової та ілюстраційної інформації; УРС2 — універсальна робоча станція для створення та тестування AR-елементів;

РСВІ — робоча станція для введення та опрацювання відеоінформації;

РСАІ — робоча станція для введення та опрацювання аудіоінформації;

РСА — робоча станція для створення анімації

Для більш детального дослідження сфери доповненої реальності було проведено процес декомпозиції технології створення елементів доповненої реальності. Схема декомпозиції наведена на рис. 3 відповідно до прикладу [12].

Провівши декомпозицію процесу створення елементів доповненої реальності було визначено, що важливою технологічною операцією є тестування створених AR-маркерів, адже якщо її не провести доволі ретельно, то це вплине на загальну якість готових видань. Для виконання цієї операції використовується камера смартфона, планшета, спеціальні окуляри тощо. Тестування відбувається шляхом

наведення пристроїв на екран монітора або папір, на якому є маркер, та подальше відтворення віртуальних об'єктів на екрані пристрою.

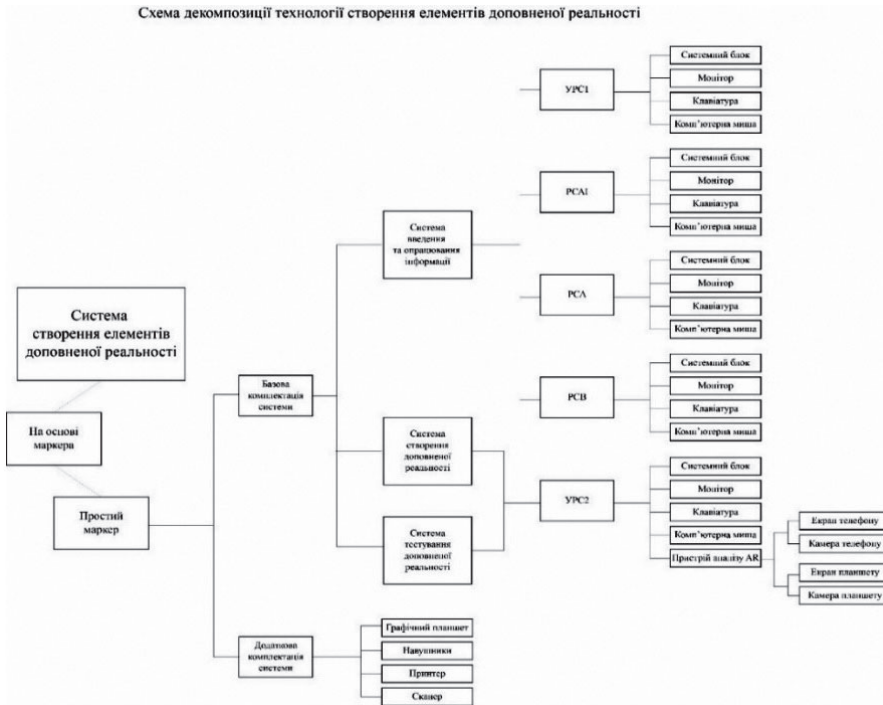


Рис. 3. Схема декомпозиції технології створення елементів доповненої реальності

Наступним кроком було проведено аналіз особливостей і принципів роботи пристрою для сканування тест-об'єктів — камери смартфона. Результат (рис. 4) наведений відповідно до прикладу [12].

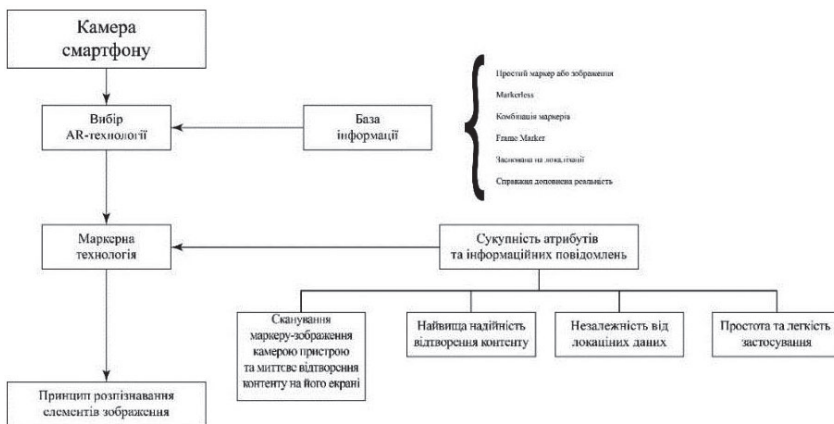


Рис. 4. Аналіз особливостей роботи камери смартфона для виконання технологічної операції тестування маркерів доповненої реальності

Як основу, на якій базується робота пристрою, було обрано саме маркер-зображення як найбільш надійну та просту у виконанні технологію. Тому саме її і було декомпововано далі. Результат (рис. 5) розроблений відповідно до прикладу [12].



Рис. 5. Схема декомпозиції процесу розпізнавання маркера

Найбільш раціональним та надійним методом для обраної раніше маркерної технології є метод Собеля, який полягає у визначенні градієнта яскравості у кожній точці обраного зображення. Результат виконання цього методу показує, наскільки «різко» або «плавно» змінюється яскравість зображення в кожній точці, а значить, ймовірність знаходження точки на межі, а також орієнтацію контуру. Метод Собеля можна зобразити так (рис. 6).

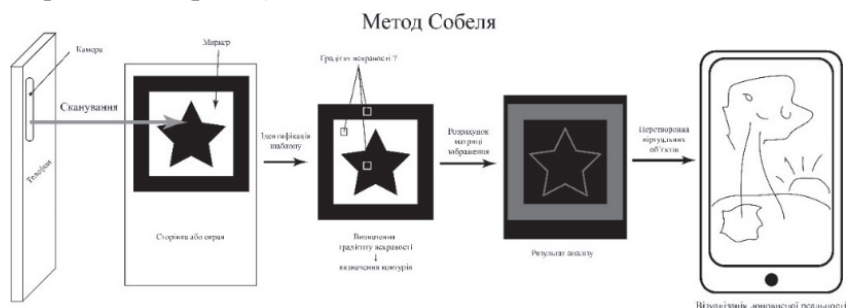


Рис. 6. Розпізнавання елементів доповненої реальності на основі методу Собеля

Наступним кроком було розроблено інформаційну модель технологічної операції тестування елементів доповненої реальності (рис. 7) відповідно до прикладу [12].

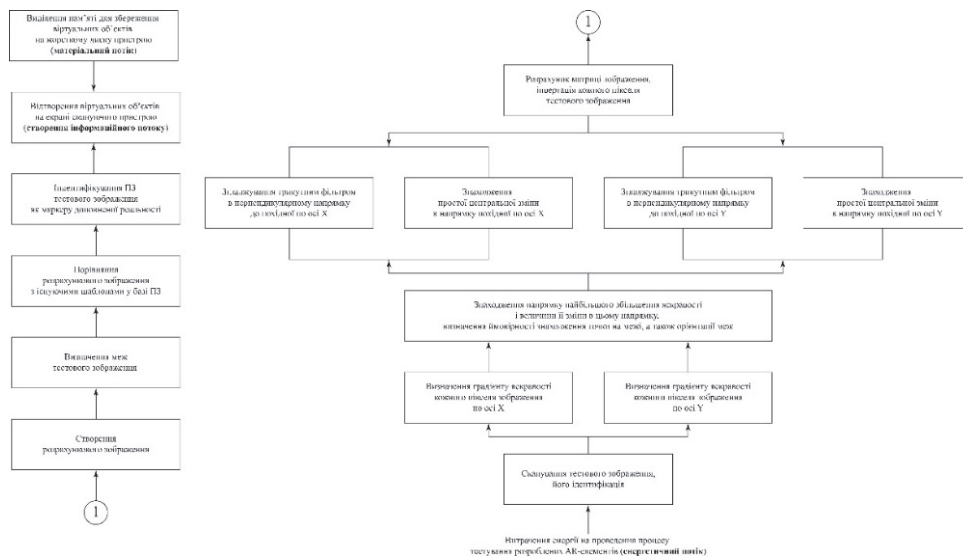


Рис. 7. Розроблення інформаційної моделі процесу тестування AR-елементів

Зважаючи на отримані результати для візуалізації «чорної скриньки» тестування елементів доповненої реальності, можна послугуватися рис. 1, але у цьому випадку як вихідна інформація буде готовий елемент доповненої реальності. Вихідною ж буде відтворений на екрані віртуальний об'єкт. Вхідним кількісним показником може слугувати розмір зображення-маркера, кількість кольорів, складність рисунка, а вихідними — кількість зчитаних пікселів за одиницю часу, кількість інвертованих пікселів за одиницю часу, значення градієнта яскравості для кожного пікселя, кількість непроконвертованих пікселів, умови середовища тестування AR-елементів.

Як вхідну та вихідну енергію можна визначити енергію, яка необхідна для виконання технологічної операції, а також теплова, яка виділяється під час роботи робочих станцій. Як кількісний показник можна виділити такі параметри: потужність сканувального пристрою, потужність робочої станції для тестування, кількість теплоти, що виділяється при роботі РС та сканувального пристрою, кількість силових електроенергії, що витрачається при роботі РС, кількість електроенергії, що іде на освітлення приміщення, витрати заряду акумулятора сканувального пристрою.

Як вхідний матеріальний потік може слугувати обсяг файлу елементів доповненої реальності, а вихідного — кількість пам'яті, яку об'єкт займе у пам'яті сканувального пристрою. Як кількісний показник можна виділити такі параметри: обсяг пам'яті для кожного пікселя зображення, загальний обсяг пам'яті оцифрованого об'єкта, обсяг пам'яті записуючого пристрою.

Наступним кроком було визначено низку особливостей взаємодії енергетичного, матеріального та інформаційного потоків, поданих у вигляді таких математичних залежностей відповідно до прикладу [12].

Допустимо, що  $Q$  — початковий тест-об'єкт, тоді  $\{Q_1 \dots Q_n\}$  — сукупність пікселів зображення, тоді  $\{Q_{1x} \dots Q_{nx}\}$  та  $\{Q_{1y} \dots Q_{ny}\}$  — пікселі у горизонтальному та вертикальному напрямку відповідно. Метод Собеля можна описати такими рівняннями (1):

$$G_y = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} \cdot Q \quad G_x = \begin{vmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \cdot Q, \quad (1)$$

де  $A$  — тестове зображення,  $G_x$  та  $G_y$  два зображення, на яких кожна точка містить наближені похідні по  $x$  і по  $y$ .

Можна помітити певну закономірність, що кількість зчитуваних пікселів за одиницю часу прямопропорційна величині складності рисунка, тобто кількості пікселів та елементів початкового зображення, а також прямопропорційна витраченій енергії — що більше пікселів зчитується, то більше енергії та потужності використовується. Чим складнішим є зображення, тим більше пам'яті воно займає. Тоді енергетичні витрати при перетворенні тестового зображення на розрахункове за методом Собеля можуть бути описані таким рівнянням (2):

$$\begin{aligned} E_{\text{сuil}} &= P \cdot K = K \cdot \frac{A}{t} = K \cdot \frac{F \cdot S}{t} = K \cdot \frac{F \cdot \sqrt{(S_x^2 + S_y^2)}}{t} = \\ &= K \cdot \frac{F \cdot \sqrt{(G_x \cdot a \cdot N_x)^2 + (G_y \cdot a \cdot N_y)^2}}{t} = \\ &= \frac{K \cdot F \cdot \sqrt{\left( \begin{vmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \cdot a \cdot N_x \right)^2 + \left( \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} \cdot a \cdot N_y \right)^2}}{t}, \quad (2) \end{aligned}$$

де  $E_{\text{сuil}}$  — силова енергія, що витрачається сканувальним пристроєм на виконання процесу тестування, Дж;  $P$  — потужність цього пристрою, Вт;  $K$  — коефіцієнт втрат електроенергії в мережі;  $A$  — виконана 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.

Також можна відобразити таку особливість (3):

$$\begin{aligned} M_T &\geq M_\phi = \sqrt{(G_x \cdot N_x)^2 + (G_y \cdot N_y)^2} \cdot i = \\ &= \sqrt{\left( \begin{vmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{vmatrix} \cdot N_x \right)^2 + \left( \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{vmatrix} \cdot N_y \right)^2} \cdot i, \quad (3) \end{aligned}$$



де  $M_T$  — пам'ять телефону або іншого сканувального 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.

З нерівності (3) можна зробити висновок, що обсяг файлу має бути меншим за обсяг пам'яті телефону. Тому, отже, що більше часу проходить, то більше даних записується в пам'ять телефону, то менше місця у ньому залишається і є ймовірність неконвертації пікселів, внаслідок чого маркер доповненої реальності не буде коректно розпізнаний та відтворений. Звідси випливає, що чим складнішим є рисунок маркера, тобто чим більше пікселів у ньому по ширині і висоті, а отже, чим більшою є площа рисунка, тим більше пам'яті телефону та його заряду буде витрачено. Це можна подати у такий спосіб (4):

$$S \uparrow \rightarrow M_\phi \uparrow \rightarrow t_s \uparrow \rightarrow M_T \downarrow \rightarrow P_T \downarrow, \quad (4)$$

де  $S$  — площа об'єкта;  $M_\phi$  — обсяг файлу;  $t_s$  — час запису;  $M_T$  — пам'ять телефону;  $P_T$  — заряд пристрою.

Узагальнюючи вищевикладене, можна зробити висновок, що чим простішим є рисунок маркера, тим легше програмі його розпізнати, якіснішим і коректнішим є результат відтворення віртуальних об'єктів, меншими є матеріальні та енергетичні затрати.

**Висновки.** Отже, після виконання цього дослідження було отримано такі результати:

1. Визначено якісні та кількісні показники інформаційного, матеріального та енергетичного потоків.

2. Розроблено схему взаємодії інформаційного, енергетичного та матеріального потоків для створення елементів доповненої реальності. Оскільки процес повністю відбувається в електронному вигляді, то на кожному етапі відбувається постійна взаємодія інформаційного, енергетичного та матеріального потоків.

3. Проведено декомпозицію процесу створення елементів доповненої реальності для визначення найбільш визначальних ланок обраного процесу та їх більш глибокого дослідження. Важливою технологічною операцією є тестування створених AR-маркерів. Якщо не провести ретельно цю операцію, перевіряючи всі параметри, то немає сенсу проводити наступні етапи процесу виготовлення продукції з доповненою реальністю. Було встановлено, що для виконання тестування важливу роль відіграють параметри приладу для сканування та обраного методу розпізнавання.

4. Проведено аналіз особливостей і принципів роботи камери для сканування обраного об'єкта-маркера. У результаті було обрано маркерну технологію як найбільш стабільну, легку та просту у застосуванні та використанні, надійну з низькою ймовірністю помилок під час використання.

5. Проведено аналіз існуючих алгоритмів маркерної технології. Найбільш точним, раціональним та надійним є алгоритм, що базується на методі Собеля.

6. Розроблено інформаційну модель процесу розпізнавання маркерів за методом Собеля, яка дала змогу побачити усі етапи технологічної операції тестування

(сканування та розпізнавання) та визначити, як інформаційний, енергетичний та матеріальний потоки впливають на виконання розробленого алгоритму.

7. Розроблено математичну модель процесу розпізнавання маркерів за методом Собеля, яка дала змогу побачити взаємодію між кількісними параметрами потоків, що дало змогу зробити такі висновки:

- щоби більше пікселів зчитується, то більше енергії та потужності використовується. Що складнішим є зображення, то більше пам'яті воно займає;
- обсяг файлу має бути меншим за обсяг пам'яті телефона;
- чим більше часу проходить, тим більше даних записується в пам'ять телефона, тим менше місця у ньому залишається і є ймовірність неконвертації пікселів, внаслідок чого маркер доповненої реальності не буде коректно розпізнаний та відтворений.
- чим простішим є рисунок маркера, тим легше програмі його розпізнати, якіснішим і коректнішим є результат відтворення віртуальних об'єктів, меншими є матеріальні та енергетичні затрати.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Azuma P. T. A Survey of Augmented Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997. Vol. 6. № 4. С. 355–385.
2. *Augmented reality technologies, systems and applications* / Carmigniani J., Furht B., Anisetti M., Ceravolo P., Damiani E., Ivkovic M. *Multimedia Tools and Applications*. 2011. № 51. С. 341–377. doi:10.1007/s11042-010-0660-6.
3. *The 6 Biggest Challenges Facing Augmented Reality*. URL: <https://medium.com/the-mission/the-6-biggest-challenges-facing-augmented-reality-8d48c470286d>.
4. Величко О. Опрацювання інформаційного потоку взаємодією елементів друкарського контакту : монографія. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. 264 с.
5. Розум Т. В., Дорош А. К. Контроль якості технологічних процесів та устаткування флексографічного способу друку : монографія / Нац. техн. ун-т «Київський політехнічний інститут». Київ, 2007. 224 с.
6. Скиба В. М. Технологічні основи тиражної стабільності друкарських форм: монографія / за заг. ред. О. М. Величко. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. 148 с.
7. Зоренко Я. В. Технології репродукування плоским офсетним друком : монографія / за заг. ред. О. М. Величко. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. 176 с.
8. Золотухіна К. І., Величко О. М. Стабілізація параметрів відбитків у технологіях друкування на пористих і невсотувальних матеріалах : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 158 с.
9. Конспект лекцій з дисципліни «Логістика» для студентів напрямів 6.030508 «Фінанси і кредит», 6.030509 «Облік і аудит» / уклад. А. С. Зеніна-Біліченко. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2017. 107 с.
10. Величко О. М., Скиба В. М. Методичні Вказівки до виконання комп'ютерного практикуму з дисципліни – «Проектування видавничо-поліграфічного виробництва». Модуль 1: Проектування технологічних процесів : метод. вказівки для студентів напрямів 6.051501 «Видавничо-поліграфічна справа», спеціальностей «Технології електронних

мультимедійних видань», «Комп'ютерні технології та системи видавничо-поліграфічних виробництв», «Матеріали видавничо-поліграфічних виробництв». Київ : ВПІ НТУУ «КПІ», 2014. 25 с.

11. Баранова Д. І. Увізнення елементів системи «чорна скринька» для технологічного процесу створення AR-елементів : матеріали міжнародної наукової конференції «Відповідні тенденції наукових досліджень у країнах Центральної та Східної Європи». Рига : Baltija Publishing, 2020. С. 183–187.
12. Теоретичні аспекти репродукування друкарськими засобами : презентація лекції Штефана С. В. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського ; кафедра репрографії, 2020.

#### REFERENCES

1. Azuma, P. T. (1997). A Survey of Augmented Reality: In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4, 355–385 (in English).
2. Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications: Multimedia Tools and Applications, 51, 341–377. doi:10.1007/s11042-010-0660-6 (in English).
3. The 6 Biggest Challenges Facing Augmented Reality. Retrieved from <https://medium.com/the-mission/the-6-biggest-challenges-facing-augmented-reality-8d48c470286d> (in English).
4. Velychko, O. (2005). Opratsiuvannya informatsiinoho potoku vzaiemodiieiu elementiv drukarskoho kontaktu. Kyiv : VPTs «Kyivskiy universytet» (in Ukrainian).
5. Rozum, T. V., & Dorosh, A. K. (2007). Kontrol yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta ustakuvannya fleksohrafichnogo sposobu druku / Nats. tekhn. un-t «Kyivskiy politkhnichnyi instytut». Kyiv (in Ukrainian).
6. Skyba, V. M. (2015). Tekhnolohichni osnovy tyrazhnoi stabilnosti drukarskykh form / za zah. red. O. M. Velychko. Kyiv : VPTs «Kyivskiy universytet» (in Ukrainian).
7. Zorenko, Ya. V. (2015). Tekhnolohii reprodukovannya ploskym ofsetnym drukom / za zah. red. O. M. Velychko. Kyiv : VPTs «Kyivskiy universytet» (in Ukrainian).
8. Zolotukhina, K. I., & Velychko, O. M. (2016). Stabilizatsiia parametriv vidbytkiv u tekhnolohiiakh drukuvannya na porystykh i nevsotuvalnykh materialakh. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho (in Ukrainian).
9. Konspekt lektsii z dystsypliny «Lohistyka» dlia studentiv napriamiv 6.030508 «Finansy i kredyt», 6.030509 «Oblik i audyt» / uklad. A. S. Zienina-Bilichenko. Dniprodzerzhynsk : DDTU (2017) (in Ukrainian).
10. Velychko, O. M., & Skyba, V. M. (2014). Metodychni Vkazivky do vykonannya komp'uternoho praktykumu z dystsypliny – «Proektuvannya vydavnycho-polihrafichnogo vyrobnytstva». Modul 1: Proektuvannya tekhnolohichnykh protsesiv : metod. vказivky dlia studentiv napriamu 6.051501 «Vydavnycho-polihrafichna sprava», spetsialnostei «Tekhnolohii elektronnykh multymediinykh vydan», «Komp'uterni tekhnolohii ta systemy vydavnycho-polihrafichnykh vyrobnytstv», «Materialy vydavnycho-polihrafichnykh vyrobnytstv». Kyiv : VPI NTUU «KPI» (in Ukrainian).
11. Baranova, D. I. (2020). Uvyznennia elementiv systemy «chorna skrynka» dlia tekhnolohichnogo protsesu stvorennia AR-elementiv : materialy mizhnarodnoi naukovoї konferentsii

- «Vidpovidni tendentsii naukovykh doslidzhen u krainakh Tsentralnoi ta Skhidnoi Yevropy». Ryha : Baltija Publishing, 183–187 (in Ukrainian).
12. Teoretychni aspekty reprodukovannia drukarskymy zasobamy : prezentatsiia lektsii Shtefana Ye. V. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho ; kafedra reprohrafii (2020) (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2021-1-62-29-41

## DEVELOPMENT OF INFORMATION MODEL OF TECHNOLOGICAL OPERATION OF AUGMENTED REALITY OBJECTS TESTING

D. I. Baranova, V. M. Skyba, T. V. Rozum

*National Technical University of Ukraine  
«Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»  
Publishing and Printing Institute,  
1/37, Yangel St., Kyiv, 03056, Ukraine  
mycromes@gmail.com*

*Augmented reality is one of the new ways to express, supplement and expand the content of any product, including printed ones – books, magazines, postcards, clothing and more. The technological process of creating products with augmented reality includes many stages, each of which requires control. This is especially true of the process of creating augmented reality elements (markers), which will then be printed, scanning which the user will be able to play and see the content. One of the important operations is testing these elements, because without confidence in the correctness of the reproduction of virtual content, it is impossible to continue the following processes.*

*These scientific articles are devoted to the study of the relationship between information, energy and material flows of the process of creating elements of augmented reality, as well as determining the qualitative and quantitative parameters of these flows and developing an information model of the testing process (scanning and playback) of augmented reality elements on the screen of the scanning device (smartphone, tablet, etc.).*

*To solve this problem, the paper first analyses the research in the field of augmented reality to determine the main trends and features in it. Next, a model of the technological process of creating elements of augmented reality is constructed and the qualitative and quantitative parameters of 3 flows are established: information, material and energy. The next step is to develop a scheme of relationships between these flows for the process of creating elements of augmented reality. As this process is complex and multi-stage, this process is decomposed for a more detailed study. Thanks to her, a new object of research is chosen – a smartphone camera, which is responsible for performing the technological operation of testing as one of the most influential and important. Next, the features and principles of the smartphone camera are analysed and the principle is selected on which the device will be based – the marker technology as the simplest and easiest to create and use, which is explored further. The method on the basis of*

*which augmented reality will be created and which will be the basis for the testing (scanning and recognition) process is determined. Sobel's method is chosen. Based on the obtained results, an information model of the testing operation is designed and the main parameters of 3 flows are determined – qualitative and quantitative. The last step is to construct a mathematical model of this process, which allows one to understand the relationship between information, energy and material flows.*

**Keywords:** *augmented reality, elements of augmented reality, digital content, testing, information flow, energy flow, material flow, decomposition, information models, mathematical models.*

*Стаття надійшла до редакції 30.04.2021.*

*Received 30.04.2021.*