



УДК 004.932.72'1

DOI: 10.20535/2077-7264.3(77).2022.267631

© Д. І. Баранова, асп., асист.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Досліджено особливості та ступінь впливу різноманітних параметрів на процес відтворення AR-елементів. На основі отриманих результатів розроблено причинно-наслідкову діаграму, що дозволить враховувати найбільш вагомі фактори для удосконалення процесу репродукування поліграфічної продукції з AR-елементами.

Ключові слова: доповнена реальність; елементи доповненої реальності; причинно-наслідкова діаграма; параметри впливу; діаграма Парето.

Постановка проблеми

Відтворення елементів доповненої реальності є доволі цікавим та маловивченим питанням. Відповідно до умов, в яких даний процес може відбуватися та ступеню їх впливовості, усю поліграфічну продукцію, яку можна використати для використання AR-технології, можна поділити на дві категорії. До першої можна віднести книжки, газети, журнали, листівки тощо — тобто усе, що має більш-менш стабільні умови використання (такі, які можна передбачити та попередити на стадіях її розробки). Усі основні моменти вже були вивчені та дослідженні протягом історії створення цього роду продукції та не відрізнятимуться особливо при додаванні доповненої реальності до її контенту. Натомість для іншої категорії — продукції, що має нестабільні умови використання (мінливі по-

годні умови та умови користування, вплив агресивного хімічного середовища тощо) — практично відсутні ґрунтовні дослідження у напрямі використання елементів доповненої реальності. До такої можна віднести речі з текстилю (в основному, футболки з натуральної чи синтетичної тканини), гнучке та тверде пакування та вулична реклама (бігборди, сітілайти, плакати, вивіски, дороговкази, таблички тощо). Маловивченість питання особливостей впливу різноманітних факторів на відтворюваність елементів доповненої реальності у ході створення та експлуатації поліграфічної продукції з нестабільними умовами використання пов'язана з появою можливості якісної інтеграції AR-технології у контент продукції лише останнім часом через розвиток цифрових технологій. Як наслідок, ця сфера стала більш популярною

© Автор(и) 2022. Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського.
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



для застосування AR-елементів лише останнім часом. А, отже, існує велика кількість факторів, які слід враховувати та визначати кількісні параметри їх впливу, аби виготовляти високоякісну продукцію.

Обрана тематика є доволі актуальною, оскільки дозволить за рахунок використання причинно-наслідкової діаграми та діаграми Парето сформувані групи факторів впливу, визначити найбільш вагомі з них та сформувані систему факторів, вплив яких слід враховувати при розробленні продукції з нестабільними умовами використання. Окрім того, більша частина визначених параметрів є актуальною і для продукції зі стабільними умовами, а тому дане дослідження дозволить розширити знання й у цій сфері.

Аналіз попередніх досліджень

Вивчено ряд науково-технічних робіт та досліджень у сфері доповненої реальності, зокрема, в освітній. Наприклад, у роботах [1–3] висвітлено результати проведення експериментів із застосування елементів доповненої реальності при навчанні студентів та учнів старших класів. Визначено вплив застосування AR-технології загалом на навчальний процес та успішність учасників експерименту. Окрім того, виявлено ряд факторів, що впливали на використання AR-маркерів. Проте, в основному визначено лише соціальні та психологічні чинники такі, як навички користувачів, їх вік, відповідність концепції, дизайн маркерів тощо. Однак, при оцінці результатів проведених досліджень не враховано характе-

ристики цифрового контенту, параметри апаратного забезпечення для розроблення та відтворення елементів доповненої реальності, а також особливості обраної технології друку та друкарських матеріалів. Дослідження впливу цих факторів у комплексі дозволило б створити більш гнучкий та універсальний AR-додаток, працюючий за будь-яких умов.

Також вивчено деякі роботи, що стосувалися дослідження характеристик технологій розроблення AR-елементів [4, 5]. Їх результати дозволили зрозуміти різноманітні особливості застосування різних технологій доповненої реальності — маркерної [4] та безмаркерної [5]. Зокрема, це дозволило побачити ряд певних факторів, що впливають на застосування тої чи іншої технології, наприклад, параметри конфіденційності та безпечності. Основний недолік розглянутих робіт полягає у тому, що експерименти, описані у них, виконувалися в межах лише визначеної технології, а, отже, фактори впливу на процес відтворення елементів доповненої реальності розглядалися лише з одного боку, не враховуючи їх комплексний вплив.

Дослідження факторів впливу з використанням причинно-наслідкової діаграми проводилося й у роботах у сфері класичної технології [6–8], але саме в контексті доповненої реальності це буде зроблено вперше.

Мета роботи

Визначити параметри впливу на процес відтворення елементів доповненої реальності з визначенням найбільш вагомих з них на основі використання діаграми



Парето та причинно-наслідкової діаграми, що дозволить більш раціонально враховувати їх при створенні поліграфічної продукції із елементами доповненої реальності.

Результати проведених досліджень

Процес відтворення AR-елементів полягає у наступному [9]: спочатку відбувається зчитування AR-маркеру за допомогою камери смартфона чи планшету чи будь-якого іншого пристрою, зображення розпізнається, а далі на його екрані відтворюється зашифрований у маркер цифровий контент. Отже, для відтворення маркеру необхідні три складові: апаратне забезпечення з камерою, зображення-маркер із зашифрованим у нього кодом елемента доповненої реальності та програмне забезпечення, що дозволить розпізнати маркер та переглянути контент.

На відтворення доповненої реальності впливають різноманітні фактори. Це можуть бути й апаратні та системні можливості пристроїв, і відстань до маркеру, його характеристики та особливості, параметри матеріалів, що беруть участь у друці маркерів тощо.

Для побудови причинно-наслідкової діаграми спочатку проведено експертне оцінювання для визначення вагомості факторів із побудовою діаграми Парето. Для цього визначено групи факторів, що впливатимуть на процес відтворення: параметри апаратного забезпечення (АЗ), характеристики програмного забезпечення (ПЗ), характеристики матеріалів для друку (М), особливості обраної технології процесів (Т), особ-

ливості роботи персоналу (П), показники, що пов'язані з інформацією (І), параметри контролю якості (КЯ), умови використання продукції (УВ).

Для розрахунку ступеня вагомості визначених груп факторів використовувався метод експертної розстановки пріоритетів відповідно до [10]. У дослідженні задіяно групу експертів з різним рівнем навичок та знань — здобувачі освіти за профільною спеціальністю, фахівці-практики, науковці. Середня сума балів, якою було оцінено визначені групи факторів, є показником порівняння рівня пріоритету для параметру. Результати представлені в табл. 1.

Вагомість параметрів розраховувалась за такою формулою (1):

$$\omega = \frac{\sum a_{ij}}{\sum a_n}, \quad (1)$$

де ω — вагомість фактору; $\sum a_{ij}$ — сума оцінювань фактору одного рядка; $\sum a_n$ — сума усіх оцінок; a_i — порядковий номер оцінки фактору в таблиці по горизонталі (1, 2...8); a_j — порядковий номер оцінки фактору в таблиці по вертикалі (1, 2 ...8).

Наступним кроком обраховано сумарне значення оцінювання пріоритетності фактору за усіма експертами загалом.

Розрахунок проводився за наступною формулою (2):

$$\sum_i X = X_{C_i} + X_{\Phi_i} + X_{B_i}, \quad (2)$$

де X — пріоритетність фактору; C — оцінювання параметру студентами; Φ — оцінювання параметру фахівцями; B — оцінювання



Таблиця 1

Матриця експертних оцінок

X_i	X_j								Σa_j	Вага параметру
	АЗ	ПЗ	М	Т	П	І	КЯ	УВ		
Здобувачі освіти за профільною спеціальністю										
АЗ	9,00	7,50	8,50	7,50	12,50	7,50	9,50	9,50	71,50	0,124
ПЗ	10,50	9,00	8,50	6,50	11,50	7,50	11,50	6,50	71,50	0,124
М	9,50	9,50	9,00	9,50	12,50	8,50	8,50	7,50	74,50	0,129
Т	10,50	11,50	8,50	9,00	10,50	7,50	11,50	9,50	78,50	0,136
П	5,50	6,50	5,50	7,50	9,00	5,50	8,50	5,50	53,50	0,093
І	10,50	10,50	9,50	10,50	12,50	9,00	10,50	8,50	81,50	0,141
КЯ	8,50	6,50	9,50	6,50	9,50	7,50	9,00	9,50	66,50	0,115
УВ	8,50	11,50	10,50	8,50	12,50	9,50	8,50	9,00	78,50	0,136
Σa_i									576,00	1,000
Фахівці-практики										
АЗ	7,00	9,50	7,00	7,50	9,00	7,00	4,00	6,50	57,50	0,128
ПЗ	4,50	7,00	8,00	6,50	7,00	7,50	7,50	6,00	54,00	0,121
М	10,00	6,50	10,00	5,50	6,00	5,00	7,00	8,00	58,00	0,129
Т	6,50	7,50	9,00	7,00	8,50	7,00	8,50	8,00	62,00	0,138
П	5,00	7,00	8,00	5,50	7,00	7,00	8,00	6,50	54,00	0,121
І	7,00	6,50	8,50	7,00	7,00	7,00	9,00	5,00	57,00	0,127
КЯ	7,00	6,00	7,00	5,00	6,00	5,50	4,00	6,50	47,00	0,105
УВ	7,50	8,00	7,50	6,00	7,50	9,00	6,00	7,00	58,50	0,131
Σa_i									448,00	1,000
Науковці										
АЗ	5,00	6,50	4,50	5,50	7,50	4,50	2,50	4,50	40,50	0,127
ПЗ	3,50	5,00	5,50	4,00	5,50	5,50	4,50	4,50	38,00	0,119
М	7,50	5,50	7,50	3,50	5,00	3,50	5,00	5,50	43,00	0,134
Т	4,50	6,00	6,50	5,00	7,50	5,00	6,50	6,50	47,50	0,148
П	2,50	4,50	5,50	2,50	5,00	4,50	5,00	3,50	33,00	0,103
І	5,50	4,50	6,00	5,00	5,50	5,00	6,50	3,50	41,50	0,130
КЯ	5,50	4,50	5,00	3,50	4,50	4,00	2,50	4,50	34,00	0,106
УВ	5,50	5,50	5,50	3,50	6,50	6,50	4,50	5,00	42,50	0,133
Σa_i									320,00	1,000

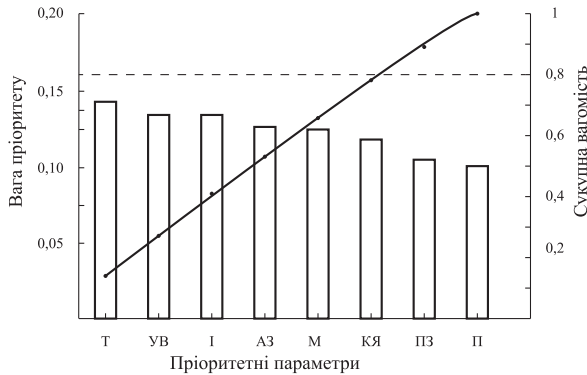


Рис. 1. Діаграма Парето з пріоритетними факторами впливу на відтворення AR-елементів: АЗ — апаратне забезпечення; ПЗ — програмне забезпечення; М — матеріали; Т — технологія; П — персонал; І — інформація; КЯ — контроль якості; УВ — умови використання AR-продукції

параметру викладачами; і — порядковий номер оцінки фактору в таблиці по горизонталі (1, 2...8); j — порядковий номер оцінки фактору в таблиці по вертикалі (1, 2...8).

Результат обрахунку наведено у табл. 2.

На основі даних табл. 2 побудовано діаграму Парето, що ві-

дображає різницю пріоритетів параметрів, яка представлена на рис. 1.

З аналізу діаграми Парето, представленої на рис. 1, можна зробити висновок, що факторами, які найбільше впливають на якість відтворення елементів доповненої реальності є технологія, умови використання продукції з допов-

Таблиця 2
Матриця експертних оцінок (сумарне значення)

X_i	X_j								Σa_j	Вага параметру
	АЗ	ПЗ	М	Т	П	І	КЯ	УВ		
Студенти										
АЗ	21,00	23,50	20,00	20,50	29,00	19,00	16,00	20,50	169,50	0,126
ПЗ	22,00	20,00	21,00	18,00	23,00	18,00	15,00	18,50	155,50	0,116
М	26,00	18,50	27,00	15,50	20,50	16,00	21,00	23,00	167,50	0,125
Т	21,50	25,00	24,00	21,00	26,50	19,50	26,50	24,00	188,00	0,140
П	13,00	18,00	19,00	15,50	21,00	17,00	21,50	15,50	140,50	0,105
І	23,00	21,50	24,00	22,50	25,00	21,00	26,00	17,00	180,00	0,134
КЯ	18,50	21,00	22,00	17,00	24,00	20,50	23,50	17,00	163,50	0,122
УВ	21,50	25,00	23,50	18,00	26,50	25,00	19,00	21,00	179,50	0,134
Σa_i									1344,0	1,000



неною реальністю, інформація, апаратне забезпечення, матеріали. Найменш вагомими є програмне забезпечення, персонал.

На основі цієї діаграми побудовано причинно-наслідкову діаграму для вираження факторів, що впливають на відтворення елементів доповненої реальності, що наведена на рис. 3.

Як можна побачити з діаграми, що представлена на рис. 2, на відтворення AR-елементів впливають такі параметри, як технологія, умови використання продукції з доповненою реальністю, інформація, апаратне забезпечення, адже вони є найбільш розгалуженими гілками. Найменш впливовими є характеристики персоналу та програмне забезпечення. Все це підтверджує результати, отримані за допомогою діаграми Парето, що наведена на рис. 1.

Раніше проведено дослідження [9] з використанням методу графів для визначення системи найбільш вагомих факторів, що впливають на розпізнавання маркерів доповненої реальності та відтворення AR-елементів. У ході нього встановлено, що одними з найбільш вагомих факторів є параметри задрукуваного матеріалу, характеристики фарби, умови використання, особливості маркеру, а також особливості отримання відбитків. Окрім того, визначено ряд параметрів пристроїв, які також займають доволі вагоме місце у процесі формування якості готових зображень-маркерів. Результати оцінювання цих параметрів експертами за відповідною методикою у ході проведеного дослідження [11] підтверджують отримані у ході цієї роботи експертного оцінювання. Як можна поба-

чити, у даному випадку доволі вагомими параметрами та найбільш розгалуженими гілками є технологія (умови отримання відбитків-маркерів), умови використання продукції з доповненою реальністю, інформація (параметри маркеру), апаратне забезпечення, матеріали (параметри задрукуваного матеріалу та фарби). Все це свідчить про вірність та доцільність проведених досліджень та отриманих результатів.

Попередньо проведене дослідження дозволило [12] більш глибоко та детально розглянути гілку «Інформація», яка є доволі пріоритетним параметром у питанні відтворення елементів доповненої реальності. У ході проведеної деконпозиції процесу створення елементу доповненої реальності було визначено основні елементи та побудовано інформаційну модель процесу розпізнавання маркеру. Дана модель дозволила побачити не тільки взаємозв'язок трьох потоків (інформація, енергія, матеріали) у ході даного процесу, але й прослідкувати закономірності впливу кожного з них. Визначено, що найбільший вплив чинить саме інформаційний потік, оскільки чим простішим є рисунок маркеру, тим легше програмі його розпізнати, тим якіснішим і коректнішим є результат відтворення віртуальних об'єктів, тим меншими є матеріальні та енергетичні затрати.

Висновки

Встановлено особливості виконання процесу розпізнавання маркерів та відтворення елементів доповненої реальності.

Визначено основні групи факторів, що впливають на процес



відтворення елементів доповненої реальності. Серед них виділено такі, як параметри апаратного забезпечення, характеристики програмного забезпечення, характеристики матеріалів для друку, особливості обраної технології процесів, особливості роботи персоналу, показники, що пов'язані з інформацією, параметри контролю якості, умови використання продукції.

Здійснено експертне оцінювання вагомості факторів з використанням діаграми Парето серед дослідників із різними рівнями навчочок — студенти, фахівці та викладачі. Визначено, що факторами, які найбільше впливають на відтворення елементів доповненої реальності, є технологія, умо-

ви використання продукції з доповненою реальністю, інформація, апаратне забезпечення, матеріали. Найменш вагомими є програмне забезпечення, персонал.

Побудовано причинно-наслідкову діаграму для більш детального дослідження вагомості груп факторів. Визначено, що на відтворення AR-елементів впливають такі параметри як технологія, умови використання продукції з доповненою реальністю, інформація, апаратне забезпечення, адже вони є найбільш розгалуженими гілками. Найменш впливовими є характеристики персоналу та програмного забезпечення, що підтвердило результати, отримані за допомогою діаграми Парето.

Список використаної літератури

1. Hu X. Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students / X. Hu, Y. MiangGoh, L. Alexander // *Advanced Engineering Informatics*. 2021. № 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436>.
2. Zelinska S. O. Abilities of the use of technologies of augmented reality in informational and educational environment of higher educational establishment / S. O. Zelinska // *Науковий вісник Мукачівського державного університету. Педагогіка та психологія*. 2018. № 4(1). С. 97–99. [https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1\(7\)-97-99](https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1(7)-97-99).
3. Smith Ch. Development and use of augmented reality models to teach medicinal chemistry / Ch. Smith, C. J Friel // *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*. 2021. № 13. С. 1010–1017. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2021.06.008>.
4. Yavuz M. Augmented reality technology adoption: Case of a mobile application in Turkey / M. Yavuz, E. Çorbacşoulu, A. N. Başoğlua, T. U. Daim, A. Shaygan // *Technology in Society*. 2021. № 66. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101598>.
5. Verkhova G. V. Markerless augmented reality technology in modern education / G. V. Verkhova, S. V. Akimov, M. M. Kotelnikov // *F JPIT*. 2019. № 20(2). С. 29–35. <https://doi.org/10.25045/jpit.v10.i2.05>.
6. Kamel El-Said Y. M. The effective of augmented reality in the interactive print design / Y. M. Kamel El-Said, H. M. Abolnaga // *International journal of multidisciplinary studies in art and technology*. 2020. № 4(2). С. 102–130. <https://doi.org/10.21608/IJMSAT.2021.226261>.
7. Хохлова Р. А. Фактори впливу на продуктивність закріплення відбитку, лакованого водорозчинним лаком / Р. А. Хохлова, О. М. Величко // *Поліграфія і видавнича справа*. 2017. № 1. С. 24–30. Режим доступу: <http://pvs.uad.lviv.ua/en/articles/factors-affecting-the-productivity-of-imprint-consolidation-when-using-water-soluble-varnish>.



8. Сеньківський В. М. Оптимізація моделі пріоритетного впливу факторів на якість проектування післядрукарських процесів / В. М. Сеньківський, Н. Є. Сеньківська, А. В. Кудряшова // Наукові записки. 2019. № 2(59). С. 22–29. doi: 10.32403/1998-6912-2019-2-59-22-29.

9. Spartan College Of Aeronautics And Technology // Augmented, Virtual, and Mixed Reality: The Next Generation of Mechanics. 2021. Режим доступу: <https://www.spartan.edu/news/augmented-virtual-and-mixed-reality-the-next-generation-of-mechanics/>.

10. О. М. Величко. Дипломне проектування / О. М. Величко, Т. В. Розум, В. М. Скиба [та ін.]. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 64 с.

11. Baranova D. Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements / D. Baranova, V. Skyba, T. Rozum, K. Zolotukhina // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. № 1(4 (115)). С. 51–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225>.

12. Баранова Д. І. Розроблення інформаційної моделі технологічної операції тестування об'єктів доповненої реальності / Д. І. Баранова, В. М. Скиба, Т. В. Розум // Наукові записки. 2021. № 1 (62). С. 29–41. doi: 10.32403/1998-6912-2021-1-62-29-41.

References

1. Hu, X., MiangGoh, Y., & Alexander, L. (2021). Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students. *Advanced Engineering Informatics*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436> [in English].

2. Zelinska, S. O. (2018). Abilities of the use of technologies of augmented reality in informational and educational environment of higher educational establishment. *Naukovyi visnyk Mukachivskoho derzhavnoho universytetu. Pedahohika ta psykhohohiia*, (4(1), 97–99. [https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1\(7\)-97-99](https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1(7)-97-99) [in English].

3. Smith, Ch., & J Friel, C. (2021). Development and use of augmented reality models to teach medicinal chemistry. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 13, 1010–1017. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2021.06.008> [in English].

4. Yavuz, M., Çorbacıoğlu, E., Başoğlu, A. N., Daim, T. U., & Shaygan, A. (2021). Augmented reality technology adoption: Case of a mobile application in Turkey. *Technology in Society*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101598> [in English].

5. Verkhova, G. V., Akimov, S. V., & Kotelnikov, M. M. (2019). Markerless augmented reality technology in modern education. *F JPIT*, 20(2), 29–35. <https://doi.org/10.25045/jpit.v10.i2.05> [in English].

6. Kamel El-Said, Y. M., & Abolnaga, H. M. (2020). The effective of augmented reality in the interactive print design. *International journal of multidisciplinary studies in art and technology*, 4(2), 102–130. <https://doi.org/10.21608/IJM-SAT.2021.226261> [in English].

7. Khokhlova, R. A., & Velychko, O. M. (2017). Faktory vplyvu na produktyvnist zakriplennia vidbytko, lakovanoho vodorozchynnym lakom [Factors affecting the performance of fixing an impression varnished with water-soluble varnish]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava*, 1, 24–30 [in Ukrainian].



8. Senkivskiy, V. M., Senkivska, N. Ye., & Kudriashova, A. V. (2019). Optymizatsiia modeli priorytetnoho vplyvu faktoriv na yakist proiektuvannia pisli-adrukarskykh protsesiv [Optimization of the model of priority influence of factors on the design quality of post-printing processes]. *Naukovi zapysky*, 2(59), 22–29. doi: 10.32403/1998-6912-2019-2-59-22-29 [in Ukrainian].

9. Spartan College Of Aeronautics And Technology (2021). *Augmented, Virtual, and Mixed Reality: The Next Generation of Mechanics*. <https://www.spartan.edu/news/augmented-virtual-and-mixed-reality-the-next-generation-of-mechanics/> [in English].

10. Velychko, O. M., Rozum, T. V., Skyba, V. M., & etc. (2020). *Dyplomne proektuvannia. Metodychni rekomendatsii [Diploma design. Guidelines]*. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 64 p. [in Ukrainian].

11. Baranova, D., Skyba, V., Rozum, T., & Zolotukhina, K. (2022). Ranking of Technologically Significant Factors Determining the Quality of Reproduction of Augmented Reality Elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4 (115)), 51–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251225> [in English].

12. Baranova, D. I., Skyba, V. M., & Rozum, T. V. (2021). Rozroblennia informatsiinoi modeli tekhnolohichnoi operatsii testuvannia obiektiv dopovnenoi realnosti [Development of an information model of the technological operation of testing augmented reality objects]. *Naukovi zapysky*, 1(62), 29–41. doi: 10.32403/1998-6912-2021-1-62-29-41 [in Ukrainian].

This work is devoted to the study of the features and degree of influence of various parameters on the process of reproduction of AR-elements. A cause-and-effect diagram was constructed for a more detailed study of the importance of groups of factors.

Keywords: augmented reality; elements of augmented reality; cause and effect diagram; impact parameters; Pareto diagram.

Надійшла до редакції 21.09.22