

УДК 655.22:004.9

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ ДРУКАРСЬКИХ ПРИСТРОЇВ

Х. Б. Кульчицька

*Національний Університет «Львівська Політехніка», вул. С. Бандери, 12,
Львів, 79013, Україна <https://orcid.org/0000-0002-6184-988X>
e-mail: khrystyna.b.kulchytska@lpnu.ua*

На сучасному ринку вибрати обладнання для певних потреб, навіть за техніко-економічними параметрами, є нелегкою справою, адже необхідно враховувати не тільки вимоги щодо якості, термінів випуску продукції, але й спеціалізацію підприємства та обсяг виробництва.

Проведено порівняння ефективності цифрового обладнання за різними методиками: без та з врахуванням вагомості параметрів машини та вимог підприємства за відносними оцінками.

Для врахування вимог підприємства провели сценарний аналіз ефективності цифрових друкарських машин за трьома пріоритетами: продуктивність устаткування, якість продукції та його економічність. Кожний з цих пріоритетів характеризували декількома параметрами обладнання, вагомість яких змінювали в залежності від виду продукції та виробництва.

Застосування коефіцієнтів вагомості підвищило гнучкість оцінювання ефективності та дало змогу адаптувати модель до конкретних виробничих умов.

Ключові слова: *цифрове друкарське обладнання, ефективність, вибір, вагомість параметрів.*

Однією з рис Industry 4.0 та 5.0 є застосування цифрових технологій та пристроїв, що робить людей більш значимими та сильнішими, підсилює стійкість до негараздів [1]. Не минули ці революції і поліграфію в Україні. Цифрові друкарські пристрої для малих тиражів, змінної інформації та персоналізації продукції є актуальними та на часі [2, 3].

Постановка проблеми. Одним з ключових питань технічного переоснащення, реконструкції або відбудови після війни видавничо-поліграфічних підприємств є вибір устаткування, яке є найдорожчим активом будь-якого підприємства. Зазвичай вибір устаткування здійснюють згідно технології в залежності від функції, яку воно виконуватиме на виробництві та його техніко-економічних показників. Цифрове друкарське устаткування не виготовляється в Україні, тому оснащення виробництва імпортованими цифровими системами є безальтернативним варіантом. На сучасному світовому ринку провідними фірмами та компаніями пропонується широке різноманіття моделей устаткування з різними технічними характеристиками. Зорієнтуватися та вибрати обладнання для певних потреб є нелегкою справою.

Особливо, якщо обладнання різниться за окремими параметрами. Крім того, необхідно враховувати також вид продукції, яка буде друкуватись на цьому обладнанні, вимоги щодо якості, продуктивності, термінів випуску. Отже, виникає необхідність у комплексному багатофакторному оцінюванні, яке б враховувало не тільки параметри машини, але й їх важливість в залежності від вимог та потреб виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Переваги певної моделі устаткування за окремими показниками можна наочно проілюструвати за допомогою пелюсткових діаграм, діаграми Парето, здійснити вибір за допомогою математичних методів, наприклад, методу рекурентних співвідношень, методу аналізу ієрархій [4], тощо. Проте найкраще визначити ефективність устаткування як відношення результату (ефекту) до витрат. Наприклад, ефективність комп'ютера можна розрахувати як відношення його продуктивності (швидкодії у флопсах) до суми його вартості та експлуатаційних витрат, аналогічно і цифрового друкарського обладнання – як відношення продуктивності та якості друку до витрат на обладнання.

Згідно ДСТУ ISO 22400-2:2019 ефективність виробництва оцінюється ключовими показниками KPI (англ. Key Performance Indicators) [5]. Одним з важливих є інтегрований показник ефективності роботи обладнання (англ. Overall Equipment Effectiveness, OEE), який показує у відсотковому відношенні час роботи обладнання, який є дійсно ефективним (якісні вироби, максимальна продуктивність, робота без зупинок) [6]. Компанія SpencerMetrics застосувала стандарт ISO 22400-2 до друкарських машин та показала, як автоматизований збір даних може значно оптимізувати продуктивність виробництва та підвищити його ефективність [7].

Основні підходи досліджень ефективності цифрових друкарських машин, які проводили міжнародні компанії, дослідницькі центри та провідні фахівці у галузі цифрового друку, базуються на оцінці усіх витрат впродовж життєвого циклу устаткування (англ. Total Cost of Ownership, TCO). TCO – це вартість володіння, тобто сума початкової вартості обладнання, операційних витрат, технічного обслуговування [8]. Ефективність цифрового вивідного устаткування оцінюють також за індексом продуктивності (англ. Performance Index, PI). PI – це відношення кількості відбитків за одиницю часу до витрат на електроенергію та матеріали, а також за відсотком окупності інвестицій (англ. Return on Investment, ROI) – відношення чистого прибутку від друку до загальних витрат на обладнання.

Наприклад, компанії InfoTrends, Keypoint Intelligence LCC спеціалізуються на дослідженні ринку цифрового друку та розробленні методології для оцінки ефективності друкарського обладнання за показниками TCO та ROI. Такі дослідження виконують Keypoint Intelligence (світовий лідер у сфері аналізу даних і ринку індустрії цифрових зображень) [9], Smithers Pira.

Виробники друкарських машин, такі як Hewlett Packard, Indigo, Canon, Xerox та Konica Minolta, розробляють власні методики для оцінки вартості володіння своїх машин у реальних умовах. Наприклад, Canon та Konica Minolta для порівняння моделей з однаковими технічними характеристиками використовують індекс продуктивності; Hewlett Packard пропонує методику для розрахунку ефективності

машин серії Indigo через TCO, PI та оцінку якості друку, а також калькулятори вартості друку, які враховують вартість фарби, паперу, енергоспоживання та продуктивність машини; Xerox використовує індекс сторінки (англ. Page Value Index) для оцінки продуктивності обладнання залежно від складності завдання.

У роботі [10] ефективність систем цифрового друку оцінюється через вартість устаткування та витрат впродовж його життєвого циклу.

Крім визначення економічних показників через витрати на обладнання та його експлуатацію застосовують також багатофакторне оцінювання (англ. Multi-Factor Assessment, MFA), яке враховує якість друкування, продуктивність, надійність (час безперебійної роботи), енергоефективність (енергоспоживання), усі витрати на матеріали, вартість устаткування та обслуговування та характеризується показником ефективності (англ. Efficiency Index, EI). У роботі [11] досліджено ефективність цифрових друкарських машин за комплексним багатофакторним показником, який враховує роздільну здатність друкування, формат, продуктивність, фарбовість та вартість обладнання.

Застосування показників TCO та EI дає змогу оцінити ефективність цифрової друкарської машини з різних сторін: TCO дозволяє зробити акцент на загальних витратах та економічній доцільності, а індекс ефективності забезпечує оцінку у виробничих умовах, що важливо для виходу на максимальну продуктивність.

Оцінювання ефективності обладнання за приведеними методами не враховує орієнтацію поліграфічного виробництва на певний вид продукції, а тому потребує проведення подальших досліджень.

Мета досліджень: визначити ефективність цифрового друкарського обладнання з врахуванням пріоритетних потреб виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективність цифрових друкарських машин оцінюють через технічні характеристики та вартісні витрати. Основними підходами є TCO, індекс продуктивності та багатофакторна оцінка. Вартість володіння устаткуванням включає початкову вартість обладнання; витрати на друк: матеріали (папір, тонер, фарбу), споживання енергії (моделі з сертифікатом Energy Star забезпечують більшу економію енергії); технічне обслуговування та ремонт, витрати на простой, програмне забезпечення, його оновлення та навчання персоналу, а також враховують (віднімають) залишкову вартість, за якою обладнання можна продати після експлуатації [12]. Вартість володіння розраховують за певний період роботи устаткування, наприклад, місяць, рік або час життя обладнання та для певного обсягу робіт за цей період.

Застосування TCO можливе, якщо виробник устаткування додає вичерпну інформацію про його роботу або обладнання вже задіяне на виробництві, так як складові вартості володіння характеризують його роботу у виробничій системі. Не завжди відомі усі дані для розрахунку TCO, тому розрахунок вартості володіння проводять за наявними даними як у [13] без вартості паперу та техобслуговування або тільки за початковою вартістю обладнання.

Якщо ж необхідно придбати устаткування і ще не відомі дані з його функціонування на виробництві, орієнтуються тільки на початкову вартість устаткування.

Проте цифрове обладнання з більш високою початковою вартістю може бути вигіднішим завдяки нижчим експлуатаційним витратам.

Показник ефективності цифрової друкарської машини може бути розрахований з ключових параметрів: роздільна здатність; фарбовість; формат друкування; швидкість; енергоспоживання; вартість та експлуатаційні витрати; робоче навантаження – максимальний обсяг друкування за певний період (місяць, рік), який машина може надрукувати без зниження ефективності; час до першого відбитка (показник оперативності); інтенсивність використання машини (наскільки потужність обладнання використовується порівняно з номінальною); надійність (відсоток або час безвідмовної роботи, який відображає стабільність роботи машини). Додаткові параметри, які необхідно врахувати при виборі: пристрої подачі аркушів та модулі для фінішної обробки відбитків; вид персоналізації відбитків; тип інтерфейсу та його пропускна здатність; формат файлів вхідних даних; наявність і можливості внутрішнього процесора растровання зображень, тощо.

Багатофакторну оцінку ефективності обладнання визначали як відношення математичного очікування кількості виведеної інформації, що приходить на одиницю часу експлуатації, до витрат на придбання цифрового друкарського обладнання:

$$E = \frac{(R \times S \times N \times \log_2 k) \times K_n}{C} \quad [11], \quad (1)$$

де R – роздільна здатність виведення у dpi; S – площа виведення за форматом цифрового пристрою, у дюймах; N – продуктивність пристрою, арк./с; $k = 2F$, де F – фарбовість друку; для чотирьох фарб $k = 24 = 16$ (це кількість відтінків кольору у кожному пікселі), тоді фарбовість визначає кількість інформації у ньому – 4 біти; для монохромного друку $k = 2$ і відповідно 1 біт інформації міститься в одному пікселі зображення, $\log_2 k = F$; K_n – коефіцієнт надійності пристрою, приймаємо рівним одиниці; C – сумарна вартість пристрою та його експлуатації, ум. од.

На даний час в Україні важлива економія енергоспоживання. Цей параметр відноситься до експлуатаційних характеристик та вказується у технічній характеристиці устаткування, проте, як і інше обладнання, цифрові друкарські машини не можуть бути ефективними на 100% (метод оцінки енергоефективності цифрового друкарського обладнання, розроблений FOGRA та Ricoh Europe та поданий у стандартах ISO 20690:2018 та ISO 21632:2018) [14]. Інколи важко отримати цю інформацію через конкурентність виробників. Тому для визначення ефективності використовували приведені у технічній характеристиці енергоспоживання обладнання.

$$E = \frac{(R_A \times R_B \times S \times N \times F) \times K_n}{C \times E_n}, \quad (2)$$

де E_n – енергоспоживання, кВт.

Для дослідження вибрали цифрове лазерне обладнання. Лазерне друкарське обладнання, незважаючи на високу початкову вартість, має більшу довговічність, що зменшує необхідність частого обслуговування. Струменеві принтери можуть потребувати регулярної заміни певних деталей, що призводить до більшої загальної вартості володіння [15].

Розрахунок проводили на прикладі цифрового обладнання компанії Xerox [16]. Початкова вартість цифрових машин умовна.

На першому етапі оцінювали ефективність обладнання виключно за технічними показниками. Найбільше значення ефективності за технічними параметрами та з врахуванням вартості машин за формулою (1) отримано для Xerox Iridesse Production Press та iGen 5 120 (табл. 1). Якщо врахувати енергоспоживання за формулою (2) порядок ефективності машин змінюється і перевагу слід надавати дешевому обладнанню Versant 280 та PrimeLink C9070 з невеликим енергоспоживанням.

Проте, за формулами (1) та (2) можна отримати неоднакові, як за величиною, так і за одиницями вимірювання, значення ефективності, наприклад, біти за секунду/ум.од., або біти за секунду/ум.од.*кВт. Наприклад, Smithers Pira використовує індекс ефективності, який визначається як місячний обсяг робіт помножений на фактор якості і поділений на вартість сторінки, тоді ефективність вимірюється у сторінках×dpi/ум.од.

Тому надалі застосовували відносні оцінки, тобто оцінювання ефективності обладнання ґрунтувалось на порівнянні кожного показника з базовим. За базові можна приймати показники обладнання, яке користується попитом на внутрішньому і зовнішньому ринку, або у випадку технічного переоснащення підприємства – показники цифрового обладнання, яке вже працює на виробництві. У нашому випадку – за базовий пристрій прийнято одну з досліджуваних марок обладнання – Versant 280 Press.

Таблиця 1

Вихідні дані та показник ефективності обладнання

№	Марка цифрового друкарського обладнання	Параметри обладнання*						Ефективність $E \cdot 10^3$, за формулами	
		Фарб овість	Площа друкування, inch ²	Швидкість друку, стор./с	Річний обсяг* 10^6 , стор.	Вартість* 10^3 , ум.од.	Потужність, кВт	(1)	(2)
1	Iridesse Production Press	6	611,0	2,00	2,25	290	8,3	145,63	17,55
2	Versant 280 Press	4	338,0	1,33	0,75	151	2,5	68,76	27,51
3	Versant 4100 Press	4	338,0	1,67	1,8	198	5,0	65,55	13,11
4	Xerox iGen 5 120	5	364,0	2,00	2,1	249	7,5	84,20	11,23
5	PrimeLink C9070	4	249,6	0,58	0,2	58	1,8	57,84	32,13

*Роздільна здатність по ширині та висоті сторінки однакова для усіх марок обладнання – 2400 dpi, тому у таблиці не подана.

Відносні показники ефективності q_{ij} для i -параметру j -обладнання розраховували за формулою:

$$q_{ij} = P_{ij} / P_{ib}, \quad (3)$$

де P_{jb} значення i -параметра базової моделі обладнання.

Для параметрів, які негативно впливають на ефективність та спричиняють її зменшення, відносні показники розраховували за оберненою формулою:

$$q_{ij} = P_{ib} / P_{ij}. \quad (4)$$

Для отримання узагальненої оцінки користувались комплексним методом. Комплексний показник розраховували як середнє зважене арифметичне значення усіх параметрів обладнання:

$$E = \sum w_{ij} q_{ij}, \quad (5)$$

де q_{ij} – відносний показник, w_{ij} – параметр вагомості i -го показника для j -машини [17].

$$E = w_R \frac{R}{R_{base}} + w_S \frac{S^{jj}}{S_{base}} + w_N \frac{N}{N_{base}} + w_F \frac{F}{F_{base}} + w_C \frac{C_{base}}{C} + w_{En} \frac{E_{nbase}}{E_n}, \quad (6)$$

де R, S, N, F, C, E_n див. у формулах (1) та (2).

Якщо роздільна здатність по ширині та висоті аркуша різна, її можна ввести у формулу окремими доданками, перерозподіливши вагомість.

Для врахування потреб виробника провели сценарний аналіз ефективності цифрових друкарських машин. Вибрано три важливі пріоритети: продуктивність обладнання, якість продукції, яку воно забезпечує, та його економічність. Проте кожний з цих пріоритетів, в свою чергу, характеризується не одним, а декількома параметрами обладнання, наприклад, якість залежить не тільки від роздільної здатності, але й від фарбовості та формату друкування; продуктивність – від швидкості друкування та річного обсягу робіт, які може виконати друкарська машина; економічність – від вартості та енергоспоживання обладнання.

Вибір обладнання за одним з пріоритетів, наприклад, продуктивністю (швидкістю та обсягом друкування) або якістю (роздільною здатністю, фарбовістю та форматом) або економічністю (вартістю та енергоспоживанням) можна здійснити за екстремальними значеннями технічних параметрів обладнання, без розрахунків показника ефективності.

За технічними параметрами продуктивності та якості за формулою (1) найбільш ефективно обладнання Iridesse Production Press та iGen 5 120, за формулою (2) – Versant 280 та PrimeLink C9070.

Проте у виробничому процесі важливі одночасно декілька параметрів (багатофакторна модель), тому розрахунок показника ефективності проводили за трьома сценаріями, у яких вагомості розподіляли відповідно до специфічних пріоритетів та параметрів, які їх характеризують:

Сценарій 1. Пріоритет продуктивності характерний для масового виробництва (наприклад, великі тиражі рекламної або пакувальної продукції). Друге місце після продуктивності у масовому виробництві займає економічність обладнання, тому коефіцієнти групових вагомостей розподілили наступним чином: продуктивність (Пр) – 0,5, економічність (Ек) – 0,3, якість (Як) – 0,2. Групові вагомості сценарію 1 зменшуються за схемою Пр→Ек→Як.

Коефіцієнти вагомості параметрів, які входять у ці групи, можна розподілити наступним чином: вагомість складових продуктивності $w_N=0.3$ та $w_O=0.2$, економічності $w_C=0.2$, та $w_{En}=0.1$, якості $w_F=0.1$, $w_R=0.1$ та $w_S=0.0$.

Сценарій 2. Пріоритет якості важливий у випадку друкування високоякісної ілюстративної продукції (наприклад, каталогів з медицини, альбомів з мистецтва, образотворчої аркушевої продукції). Якість характеризується роздільною здатністю, кількістю фарб та форматом друкування.

За цим сценарієм розглядали два варіанти. Згідно першого варіанту сценарію 2 групові вагомості відповідають схемі Як→Пр→Ек, де надається пріоритет якості – 0,5 і продуктивності – 0,3, тоді вагомість економічності – 0,2. За першим варіантом сценарію 2 групові вагомості можна розподілити наступним чином за параметрами: $w_R=0.2$, $w_S=0.1$, $w_F=0.2$, $w_N=0.2$, $w_O=0.1$, $w_C=0.1$, $w_{En}=0.1$.

У другому варіанті сценарію 2 надається пріоритет якості та економічності (Як→Ек→Пр). Групові вагомості якості – 0,5, економічності – 0,3, продуктивності – 0,2, які розподілили за параметрами: $w_R=0.2$, $w_S=0.1$, $w_F=0.2$, $w_C=0.2$, $w_{En}=0.1$, $w_N=0.1$ $w_O=0.1$.

Сценарій 3. Пріоритет економічності характерний для рішень початкового рівня для малого бізнесу. Економія включає мінімальні витрати, тому найвищу вагомість мають параметри вартості та енергоспоживання обладнання. Проте, в будь-якому сценарії, не можна ігнорувати якість друкування та продуктивністю (Ек→Як→Пр): $w_C=0.3$, $w_{En}=0.2$, $w_R=0.2$, $w_F=0.1$, $w_S=0.0$, $w_N=0.2$, $w_O=0.0$.

Результати розрахунку показника ефективності за формулою (6) для сценаріїв подано у табл. 2.

Таблиця 2

Показник ефективності обладнання з врахуванням вагомостей параметрів для різних сценаріїв

№	Марка обладнання	Сценарій (пріоритет)			
		1 (продуктивність) Пр→Ек→Як	2 (якість) для варіантів		3 (економічність) Ек→Як→Пр
			Як→Пр→Ек	Як→Ек→Пр	
1	Iridesse Production Press	1,43	1,36	1,27	0,87
2	Versant 280 Press (базова)	1,00	1,00	1,00	1,00
3	Versant 4100 Press	1,26	1,12	1,07	0,88
4	Xerox iGen 5 120	1,39	1,23	1,14	0,87
5	PrimeLink C9070	1,06	0,99	1,21	1,45

Як за формулами розрахунку (1) та (2), так і за методикою визначення ефективності обладнання з врахуванням вагомостей, отримано, що Iridesse Production Press, Xerox iGen 5 120 (у випадку пріоритету продуктивності та якості) та PrimeLink C9070 (у випадку економічності) є найбільш ефективним обладнанням.

Якщо прийняти, що вагомість усіх параметрів однакова $1:7=0,143$, найбільш ефективними є Iridesse Production Press та iGen 5 120, незважаючи на високі початкову вартість та енергоспоживання. Поєднання вагомостей параметрів якості та економічності змінює першість обладнання – за ефективністю PrimeLink C9070 наближається до Iridesse Production Press та випереджає iGen 5 120.

При порівнянні ефективності обладнання за формулами (1), (2) за методикою, яка враховує вагомість пріоритетів та параметрів обладнання видно, що формули дають однозначний результат, а врахування вагомостей параметрів обладнання створює гнучку багатокритеріальну модель, яка підлаштована під вимоги виробництва.

Отже, в залежності від пріоритетів, які характерні для різного за величиною та призначенням виробництва, важливо враховувати їх вагомість при розрахунку показника ефективності, так як визначення ефективності обладнання за технічними та витратними параметрами є недостатнім та може спричинити не вірний вибір обладнання.

Висновки. Застосування вагомості складових при оцінюванні ефективності цифрових друкарських машин дозволяє створити більш збалансовану модель, яка враховує спеціальні вимоги до друку (висока якість, продуктивність чи економічність). Вагові коефіцієнти додають гнучкості оцінці ефективності, що дозволяє адаптувати модель під конкретні виробничі умови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юрчак О. Про Індустрію 5.0 – чому це стає актуальним для України. Industry4Ukraine. 2023. URL: <https://www.industry4ukraine.net/publications/pro-industriyu-5-0-chomu-cze-staye-aktualnym-dlya-ukrayiny/> (дата звернення: 24.03.2026).
2. Smyth S. The Future of Global Printing to 2030. Smithers. 2025. URL: <https://www.smithers.com/services/market-reports/printing/the-future-of-global-printing-to-2028> (дата звернення: 01.04.2026).
3. Digital Printing Innovations: What to Expect in 2025 and Beyond. Printery Dubai. 2024. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-printing-innovations-what-expect-2025-beyond-printerydubai-adxcf> (дата звернення: 20.04.2026).
4. Кульчицька Х. Б., Предко Л. С. Застосування методу аналізу ієрархії при виборі проекту у поліграфії. Поліграфія і видавнича справа. 2018. № 1 (75). С. 51–60.
5. ДСТУ ISO 22400-2:2019. Автоматизовані системи керування виробництвом. Ключові показники ефективності (KPIs) для керування виробничими процесами. Частина 2. 6. Визначення та описання (ISO 22400-2:2014/Amd 1:2017, IDT). Зміна № 1:2019. [Чинний від 2019-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2019.
6. Розрахунок загальної ефективності обладнання (OEE). BPI Group. 2022. URL: <https://bpi-group.com.ua/uk/blog/rozrahunok-zagalno%D1%97-efektivnosti-obladnannya-oee/> (дата звернення: 20.04.2026).

7. SpencerMetrics to Showcase Data Collection Solutions at drupa. Printing Impressions. 2024. URL: <https://www.piworld.com/article/spencermetrics-to-showcase-data-collection-solutions-at-drupa/> (дата звернення: 25.05.2026).
8. Bahiense F. TCO (Total Cost of Ownership): What It Is and How to Calculate It. Inovação & TI. 2024. URL: <https://www.neomind.com.br/en/blog/tco-total-cost-of-ownership-what-it-is-and-how-to-calculate-it/> (дата звернення: 17.04.2026).
9. Print Fleet Management and Remote Service Tools Study. Keypoint Intelligence. 2024. URL: <https://19585250.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/19585250/Multi-Client%20Report%20Collateral/Print%20Fleet%20Management%20Remote%20Service%20Tools%20Study%2010.21.24.pdf> (дата звернення: 10.05.2026).
10. Dombrowski P. Economic Study for Comparing Printing Presses. URL: <https://www.pauldombrowski.com/articles/economic-study-for-comparing-printing-presses> (дата звернення: 15.05.2026).
11. Хом'яков В. Комплексна оцінка ефективності цифрових друкарських машин. Друкарство. 2006. № 1. С. 45–47.
12. Understanding the total cost of ownership (TCO) for Xerox printer. SWFL Office Solutions. 2024. URL: <https://www.sosxrx.com/xerox-printer-tco-fort-myers/> (дата звернення: 17.03.2026).
13. Розрахунок вартості володіння деяких цифрових копіювальних апаратів формату А3 на 120 000 копій А4. 2002. URL: https://www.flora.com.ua/info/compare_a3_vl_d.html (дата звернення: 20.04.2026).
14. Liz E. Measuring Energy Consumption of Digital Production Printing Presses. First Copy. 2022. URL: <https://firstcopy.co.uk/blog/measuring-energy-consumption-of-a-production-press> (дата звернення: 20.04.2026).
15. Lane A. A Comprehensive Guide: Choosing the Right Digital Printer for Your Business. 2024. URL: <https://www.cdrsoft.net/comprehensive-guide-choosing-right-digital/> (дата звернення: 25.04.2026).
16. Xerox digital printing press portfolio. Xerox. URL: <https://www.xerox.com/en-us/digital-printing/digital-presses> (дата звернення: 27.04.2026).
17. Пашуля П. Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії. Львів : УАД, 2011. 408 с.

REFERENCES

1. Yurchak, O. (2023). Pro Industrii 5.0 – chomu tse staie aktualnym dlia Ukrainy [About Industry 5.0 – why it is becoming relevant for Ukraine]. Industry4Ukraine. URL: <https://www.industry4ukraine.net/publications/pro-industriyu-5-0-chomu-cze-staye-aktualnym-dlya-ukrayiny/>.
2. Smyth, S. (2025). The Future of Global Printing to 2030. Smithers. URL: <https://www.smithers.com/services/market-reports/printing/the-future-of-global-printing-to-2028>.
3. Printery Dubai. (2024). Digital Printing Innovations: What to Expect in 2025 and Beyond. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-printing-innovations-what-expect-2025-beyond-printerydubai-adxcf>.

4. Kulchytska, Kh. B., & Predko, L. S. (2018). Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii pry vybori proiektu u polihrafiï [Application of the hierarchy analysis method when choosing a project in printing]. *Polihrafiia i vydavnycha sprava [Printing and Publishing]*, 1(75), 51–60.
5. DSTU ISO 22400-2:2019. (2019). Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom. Kliuchovi pokaznyky efektyvnosti (KPIs) dlia keruvannia vyrobnychymy protsesamy. Chastyna 2. Vyznachennia ta opysannia [Automation systems and integration – Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management – Part 2: Definitions and descriptions]. *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*.
6. BPI Group. (2022). Rozrakhunok zahalnoi efektyvnosti obladnannia (OEE) [Calculation of overall equipment effectiveness (OEE)]. URL: <https://bpi-group.com.ua/uk/blog/rozrakhunok-zagalno%D1%97-efektivnosti-obladnannya-oe/>.
7. Printing Impressions. (2024). SpencerMetrics to Showcase Data Collection Solutions at drupa. URL: <https://www.piworld.com/article/spencermetrics-to-showcase-data-collection-solutions-at-drupa/>.
8. Bahiense, F. (2024). TCO (Total Cost of Ownership): What It Is and How to Calculate It. *Inovação & TI*. URL: <https://www.neomind.com.br/en/blog/tco-total-cost-of-ownership-what-it-is-and-how-to-calculate-it/>.
9. Keypoint Intelligence. (2024). Print Fleet Management and Remote Service Tools Study. URL: <https://19585250.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/19585250/Multi-Client%20Report%20Collateral/Print%20Fleet%20Management%20Remote%20Service%20Tools%20Study%2010.21.24.pdf>.
10. Dombrowski, P. (n.d.). Economic Study for Comparing Printing Presses. URL: <https://www.pauldombrowski.com/articles/economic-study-for-comparing-printing-presses>.
11. Khomiakov, V. (2006). Kompleksna otsinka efektyvnosti tsyfrovyykh drukovanykh mashyn [Comprehensive evaluation of the efficiency of digital printing machines]. *Drukartstvo [Printing Business]*, 1, 45–47.
12. SWFL Office Solutions. (2024). Understanding the total cost of ownership (TCO) for Xerox printer. URL: <https://www.sosrx.com/xerox-printer-tco-fort-myers/>.
13. Rozrakhunok vartosti volodinnia deiakykh tsyfrovyykh kopiiuvalnykh aparativ formatu A3 na 120 000 kopii A4 [Calculation of the cost of ownership of some digital A3 copiers for 120,000 A4 copies]. (2002). *Flora*. URL: https://www.flora.com.ua/info/compare_a3_vl_d.html.
14. Liz, E. (2022). Measuring Energy Consumption of Digital Production Printing Presses. *First Copy*. URL: <https://firstcopy.co.uk/blog/measuring-energy-consumption-of-a-production-press>.
15. Lane, A. (2024). A Comprehensive Guide: Choosing the Right Digital Printer for Your Business. *CDRSoft*. URL: <https://www.cdrsoft.net/comprehensive-guide-choosing-right-digital/>.
16. Xerox. (n.d.). Xerox digital printing press portfolio. URL: <https://www.xerox.com/en-us/digital-printing/digital-presses>.
17. Pashulia, P. L. (2011). Standartyzatsiia, metrolohiia, vidpovidnist, yakist u polihrafiï [Standardization, metrology, compliance, quality in printing]. *UAD*.

doi: 10.32403/1998-6912-2026-1-72-159-169

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF DIGITAL PRINTING DEVICES

Kh. B. Kulchytska

*Lviv Polytechnic National University, 12 Stepan Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6184-988X> e-mail: khrystyna.b.kulchytska@lpnu.ua*

The modern market offers a wide selection of digital printing equipment. However, selecting equipment for specific needs – even based on technical and economic parameters – is a complex task, as it requires considering not only quality requirements and production deadlines but also the company's specialization, workload, and productivity. Consequently, there is a need for a multi-factor assessment that accounts for both the technical and economic parameters of the machine and their relative importance based on specific production requirements.

A comparison of digital equipment efficiency was conducted both with and without considering the weight of the machine's parameters. Calculating efficiency without accounting for priorities yields limited results that may not align with specific production demands. Furthermore, since different methodologies can yield efficiency values that vary in both magnitude and units of measurement, relative assessments were applied. The evaluation of equipment efficiency was based on comparing each indicator with a baseline. Baseline indicators can be derived from equipment in high demand on domestic and foreign markets or, in the case of technical re-equipment, from the parameters of a digital model already in operation at the enterprise.

To address the manufacturer's needs, a scenario-based analysis of digital printing press efficiency was conducted. Three key priorities were identified: equipment productivity, product quality, and cost-effectiveness. Each of these priorities is characterized by several parameters, the weighting of which can be adjusted depending on production goals. Applying weights to each component in the evaluation of digital printing presses allows for specific printing requirements to be taken into account (e.g., high quality, productivity, or cost-efficiency). Weighting coefficients provide flexibility to the efficiency assessment, adapting the model to specific production conditions.

Keywords: *digital printing equipment, efficiency, selection, parameter weighting.*

Стаття надійшла до редакції 13.05.2026.

Submitted: 13.05.2026.

Прийнято до друку: 18.05.2026.

Accepted: 18.05.2026.

Опубліковано: 30.05.2026.

Published: 30.05.2026.



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Х. Б. Кульчицька