

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ ЦИФРОВОГО ДРУКУ

С. Ф. Гавенко, В. В. Бернацек, М. Т. Лабецька, А. В. Довганич

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Галузь цифрового друку продовжує стрімко розвиватися відповідно до численних економічних, технологічних, демографічних, екологічних та поведінкових факторів. Зростання індустрії цифрової поліграфії сприяє обґрунтованим та інноваційним рішенням. Вибір різних видів паперу, доступних на поліграфічному ринку, є ключовим фактором досягнення найвищої якості цифрового друку. Особливої уваги заслуговує процес взаємодії тонеру з папером, який безпосередньо пов'язаний із його фізичними властивостями. Від поверхневої структури паперу, його складу і будови залежить якість відбитків.

Проведено експериментальні дослідження впливу граматири паперу на якість тоновідтворення відбитків цифрового друку. Здійснено порівняння кривих градацій зображень, отриманих на паперах різної товщини за зміни швидкості друкування одного відбитку та всього накладу.

Ключові слова: *цифровий друк, граматура паперу, відбиток, градаційна задача, оптична щільність, якість.*

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиліть технологія цифрового друку почала відігравати значну роль у поліграфічній галузі завдяки тенденціям скорочення тиражів та друку змінних даних. Значне поширення технологій цифрового друку спостерігається у кількох ключових поліграфічних секторах: друк книжкової продукції, пакування та комерційний друк [1–3].

Цифрові способи репродукування висувають великі вимоги до здатності паперу швидко сприймати тонер і водночас збільшують потребу в розумінні параметрів впливу на динаміку та взаємодію між папером і тонером та їхнього впливу на якість друку.

Покращення якості цифрових відбитків досягається завдяки покриттю паперової поверхні пігментами або введенню спеціальних компонентів під час виготовлення паперової маси. Поліпшення якості друку за зниженої або збереженої вартості — це постійне прагнення галузі виробництва паперу. На властивості паперу впливає як склад, так і процес його виготовлення. Динаміка та взаємодія між тонером і папером — складний процес, що потребує особливої уваги, безпосередньо пов'язаний з їхніми фізичними властивостями. Добре відомо, що характеристики паперу та тонеру впливають на якість друку [4–6]. Цікавим питанням є те, як якість друку співвідноситься з динамікою та взаємодією між тонером та папером, тому актуальними є проведення досліджень, які стосуються впливу властивостей паперу на якість друку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Технологія цифрового друку продовжує вдосконалюватися з погляду швидкості, якості та економічності. Постійно удосконалюються методи електрофотографії та струменевого друку, поліпшується робота обладнання, розширюється спектр використовуваних стандартних друкованих та пакувальних субстратів. Найбільш суттєві зміни технології цифрового друку пов'язані з розробками, які дають змогу інтегрувати її у більш широкі виробничі системи, які охоплюють робочий процес та обробку задля спрощення та скорочення часу виходу на ринок багатьох видів друкованої продукції (так, уже практикується в процесі виробництва книжкової продукції використовувати високошвидкісний однопрохідний струменевий прес, пов'язаний із сервоконтрольованими фінішними лініями, які фальцюють, комплектують, обрізають і складають книжкові блоки, а також транспортують для вставки в палітурку). У міру трансформації світового ринку друку зрушення вимог покупців у напрямі скорочення тиражів, персоналізації продукції та підвищення її якості є ключовим фокусом розробників технології цифрового друку. Так, зростає прагнення до підвищення продуктивності струменевих принтерів. Наприклад, у травні 2018 року компанія HP заявила про модернізацію пресу PageWide T1100S, додавши додаткові кольори та підвищивши максимальну швидкість моделі T1190S до 305 м/хв, що збільшило її продуктивність на 67 % (з 8,215 до 13,692 відбитків А4 у хвилину) [7, 8].

Сьогоднішні вимоги до високоякісного цифрового друку підкреслюють важливість вибору паперової поверхні. Вимоги до паперу для цифрового друку можна розділити на три функційні групи: експлуатаційність (здатність плавно проходити через друкарську секцію, не заклинюючись протягом усього циклу друку), задрукованість (стосується якості тонерного зображення та загального вигляду надрукованої деталі) та придатність до використання або корисність віддрукованої продукції (оцінюється з погляду властивостей паперу: колір, текстура, базова вага, можливість оздоблення та розповсюдження). Порівняно з багатьма вимогами до паперу для офсетного друку, властивості аркушів для цифрового друку мають бути більш строго контрольовані з погляду жорсткості, рівня вологості, якості краю та цілісності розмірів через вищі ризики заклинювання швидкохідних паперів внаслідок деформації поза площиною.

Жорсткість — це здатність аркуша чинити опір застосовуваній силі вигину, що суттєво впливає на здатність до експлуатації та тісно пов'язана з формуванням паперової маси, рівнем вологи та товщиною. Автоматичні системи подачі, штабелери з великою ємністю та обладнання для фінішного оздоблення можуть ефективно функціонувати, лише якщо немає суттєвої різниці коливань товщини задрукованого матеріалу. Для цього деякі системи цифрових машин використовують вимірювання товщини в режимі реального часу для виявлення та компенсації її змін. Важливим моментом забезпечення стабільної якості відбитків цифрового друку є напрям волокон паперу, оскільки подача аркушів у неправильному напрямку може призвести до заклинювання паперу, якщо його жорсткість не перебуває у функціональному діапазоні. Характеристики поверхні паперу для цифрового друку, які закладаються в процесі формування паперової маси, також

мають відповідати конкретним вимогам рівномірності, адгезії тонеру, міцності і гладкості. Так, на етапі розплавлення тонеру поверхнева міцність паперу повинна бути достатньою, щоб запобігти розшаруванню покриттів або вищипуванню волокон із паперу без покриття. Спеціальні рельєфні оздоблення паперової поверхні з конкретними візерунками можуть зацікавити майбутнього користувача, але ці підкладки, як відомо, важко друкувати в більшості систем сухого тонеру. Тоді як папір високої гладкості дає змогу досягнути високої чіткості дрібних деталей зображення. Також на сортах паперу з більшою білизною і яскравістю зображення матиме вищий контраст та точність відтворення кольорів.

Розмірна стабільність належить до зміни форми або розміру аркуша, а також може стосуватися зміни планарності. У цифровій машині папір нагрівається, що може спричинити набухання, стиснення, згортання та іноді прискорене проковзування. З усіх властивостей цифрового паперу рівень вологи, мабуть, є найважливішою та часто єдиною суворою вимогою до характеристик паперу. Вологість паперу для цифрового друку має становити приблизно 4–6 %. Волога впливає на опір, що, в свою чергу, має вплив на величину діелектричної сили при передачі тонеру і на отриману якість зображення. Стабільність розмірів у пресі потребує достатнього часу кондиціонування паперу для встановлення його рівноваги з відносною вологістю та температурою в приміщенні [9].

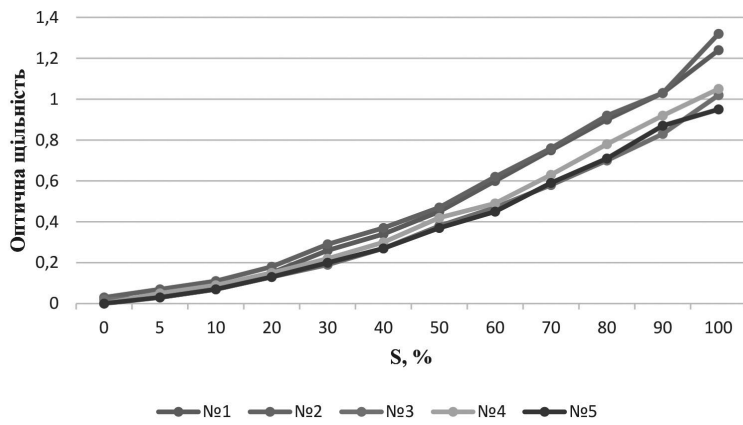
Мета статті. Експериментальні дослідження проводилися задля встановлення впливу граматири паперу на якість кольорових відбитків. Задачі досліджень передбачали побудову графічних залежностей зміни градаційної передачі тонерного зображення досліджуваних взірців, аналізу їх якості; точності відтворення кольорового зображення, надрукованого цифровим способом друку; встановлення впливу товщини паперу на час виходу одного аркуша та зміну швидкості друкування всього накладу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень було вибрано поширену марку паперу, яка використовується у виготовленні широкого асортименту поліграфічної продукції (паковань, флаєрів буклетів та ін.), а саме крейдований папір марки PRIMA Silk (Sappi, Австрія) різних граматур:

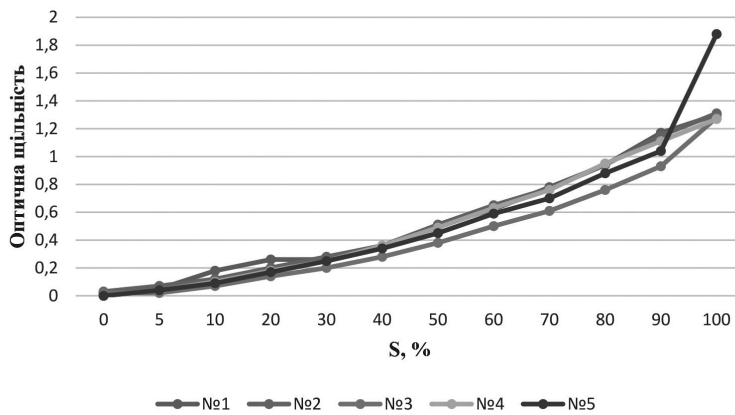
- взірець № 1 — 115 г/м²;
- взірець № 2 — 130 г/м²;
- взірець № 3 — 200 г/м²;
- взірець № 4 — 250 г/м²;
- взірець № 5 — 300 г/м².

Друкування оригінал-макета із зображенням широкого спектра кольорів було проведено на цифровій друкарській машині — XEROX 700i Digital Color Press. Дослідження градаційних характеристик проводили на спектроколориметрі GRE-TAG SPM 50. Статистична обробка отриманих результатів експериментальних досліджень проводилася з використанням пакета програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2010.

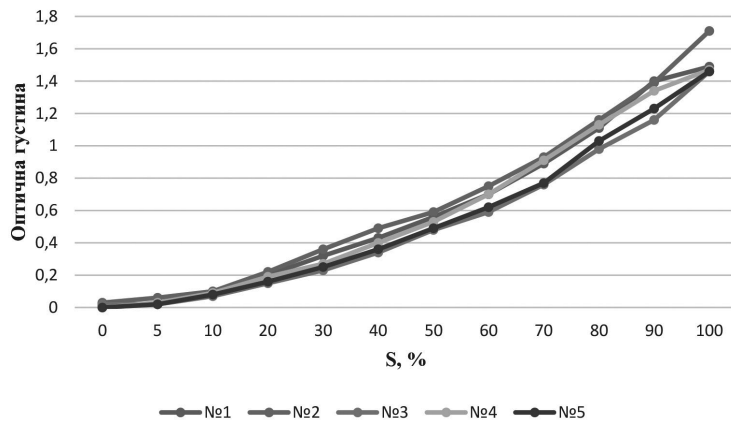
Для проведення оцінювання якості та точності відтворення тонерного зображення отриманих цифрових відбитків побудовано графічні залежності зміни їх градаційної передачі (рис. 1, а–г).



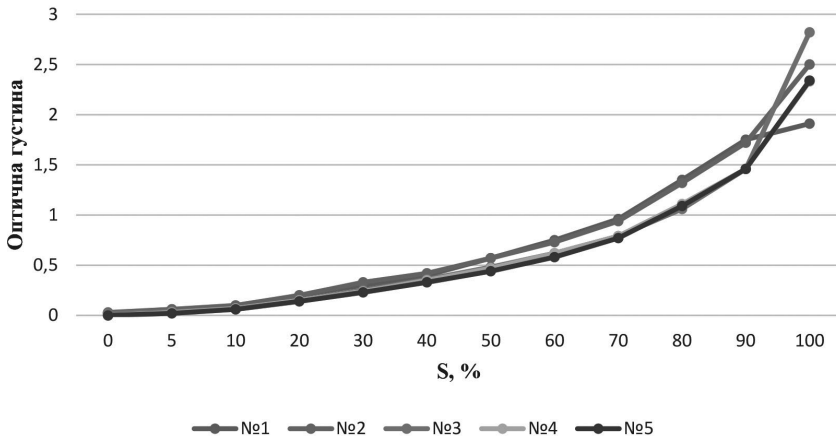
а



б



в



Г

Рис. 1. Градаційна передача тонерного зображення досліджуваних зразків паперів № 1, 2, 3, 4 і 5:
 а — голубого CYAN; б — пурпурного MAGENTA;
 в — жовтого YELLOW; г — чорного BLACK

Отримані графічні залежності градаційної передачі тонерного зображення досліджуваних зразків, віддрукованих на цифровій машині XEROX 700i Digital Color Press, засвідчують: передача оптичних щільностей голубого тонерного зображення (рис. 1, а) загалом збігається в світлих ділянках градацій у зразків № 1 і 2; дещо нижчою є оптична щільність у зразків № 3, 4 і 5. Починаючи з півтіней, щільність зростає у зразків № 1 і 3, що продовжується і в темних ділянках. Зразок № 4 демонструє дещо вищі показники оптичної щільності в півтінях і тінях, порівняно із зразками № 3 і 5.

На рис. 1, б для пурпурного тонерного зображення спостерігається картина рівномірного відтворення оптичних щільностей у зразків № 1, 2 і 4 за всіма ділянками градацій. Зразок № 3 засвідчує зменшення площі растрових елементів по всій шкалі вимірювання, а № 5 — середній результат, порівняно з досліджуваними зразками з різким стрибком у ділянці 90–100 %.

Градаційна передача жовтого зображення досліджуваних зразків (рис. 1, в) засвідчує аналогічну картину стабільної передачі оптичних щільностей у зразків № 1, 2 і 4 по всіх ділянках градацій. У зразках № 3 і 5 схожі результати відтворення по всій шкалі вимірювань, але показники щільностей спадають, починаючи з півтіней, та продовжують знижуватися в темних ділянках зображення.

На рис. 1, г наведено залежності оптичної щільності для чорного тонерного зображення, де показники градаційної передачі усіх досліджуваних зразків доволі стабільно збігаються у світлих ділянках, починаючи з півтіней, зразки № 3, 4 і 5 засвідчують незначний ідентичний спад щільностей, і лише у зразка № 3 відбувається значний ріст на ділянці 90–100 %.

Для кращої наочності процесу були проведені дослідження зміни швидкості друкування аркушів цифровим способом залежно від товщини паперу, зокрема швидкості виводу першого аркуша з моменту завантаження зображення в пам'ять цифрової машини, так і швидкості виходу аркушів під час друку тиражу, та побудовано відповідні діаграми (рис. 2, 3).

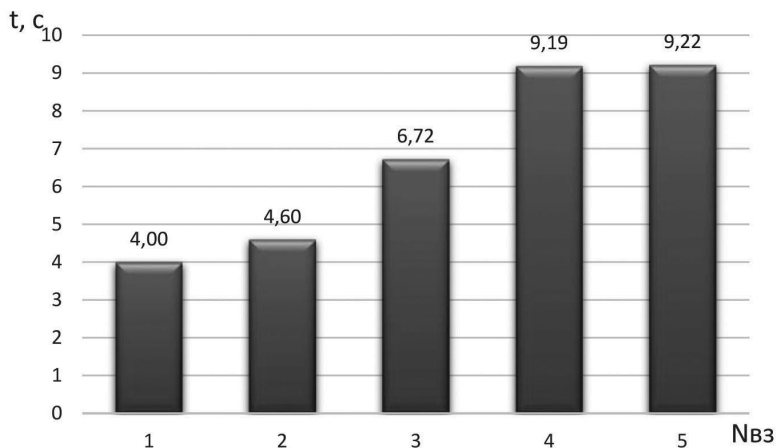


Рис. 2. Швидкість виводу першого віддрукованого цифровим способом аркуша:
 t — час виводу одного аркуша; $N_{вз}$ — номер досліджуваного взірця

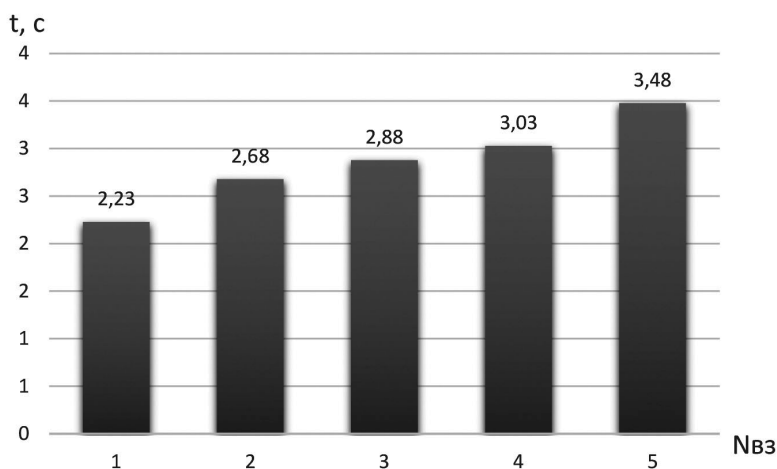


Рис. 3. Швидкість виводу аркушів у процесі друкування тиражу на цифровій машині:
 t — час виводу одного аркуша; $N_{вз}$ — номер досліджуваного взірця

Аналіз отриманих діаграм зміни швидкості друкування свідчить, що зі збільшенням граматири паперу сповільнюється робота цифрової машини XEROX 700i DIGITAL COLOR PRESS. Така особливість безпосередньо пов'язана з товщиною

паперу, а відповідно, і його граматуру. Це зумовлено технічними особливостями цифрової машини, а саме: часом розігрівання пічки і збільшенням її температури для запікання відповідної кількості тонеру в структурі паперу. Отже, найшвидше друкується зображення на папері Sappi PRIMA silk 115 г/м², а найповільніше — на папері Sappi PRIMA silk 300 г/м². Ситуація аналогічна як для першого, так і для тиражних аркушів.

Висновки. Процес взаємодії між тонером та папером у цифровому друці пов'язаний із їхніми фізичними властивостями, які безпосередньо впливають на якість отриманих відбитків. Проведені дослідження репродукційно-графічних показників відбитків підготовленого оригінал-макета пакування на популярних марках паперу Sappi PRIMA silk різної товщини, отриманих на цифровій машині XEROX 700i Digital Color Press, підтвердили вплив зміни властивостей задрукованого матеріалу на якість тоновідтворення відбитків. Аналізуючи отримані графічні залежності градаційної передачі тонерного зображення СМΥК усіх досліджуваних зрізів, зробимо висновок, що зі збільшенням товщини паперу спостерігається падіння оптичних щільностей. Особливо це помітно в ділянках тіней і півтіней, що можна пояснити технологічною особливістю машини, в якій контролер запікання тонеру працює доволі нестабільно, а саме не забезпечує допикання тонеру за збільшення товщини паперу однієї марки, одного виробника. Також зі збільшенням граматури паперу, що задруковується, збільшується і час виходу першого аркуша, відповідно, зменшується загальна швидкість друкування накладу. Коли цифрова машина входить у режим друку, різниця показників швидкостей для усіх досліджуваних зрізів є незначною.

У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що для якісного відтворення поліграфічної та пакувальної продукції найбільш стабільний і оптимальний результат, згідно з показниками передачі градацій та швидкостей друкування, на цифровій машині XEROX 700i Digital Color Press досягається при використанні паперу Sappi PRIMA silk граматуру 250 г/м² (взірець № 4).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харин О. Р., Сувейздис Э. Цифровая печать [Digital Printing] : учеб. пособ. Москва : ООО «Книга по требованию», 2015. 358 с.
2. Стефанов С. Полиграфия для рекламистов и не только. Руководство к действию. Москва : Гелла-принт, 2011. 352 с.
3. Ховард М. Основы цифровой печати и печати по требованию. Москва : МГУП, 2010. 144 с.
4. Turner R. Global digital print market to reach \$225bn by 2029. URL: <https://www.printweek.com/news/article/global-digital-print-market-to-reach-225bn-by-2029>.
5. Inkjet printing builds towards \$100 billion market. URL: [https://www.smithers.com/resources/2018/oct/inkjet-printing-builds-towards-\\$100-billion-market](https://www.smithers.com/resources/2018/oct/inkjet-printing-builds-towards-$100-billion-market).
6. Four reasons why the future of digital printing is unstoppable. URL: <https://minutemanpress-franchise.com.au/news/2019/02/14/four-reasons-why-the-future-of-digital-printing-is-unstoppable/>.

7. Printer paper options for digital printing: the ultimate guide. URL: <https://sunprintsolutions.com/printer-paper-ultimate-guide/>.
8. Paper characteristics for digital printing. URL: <https://amp.itweb.co.za/content/1WnxpE74b-4kqV8XL>.
9. Cantavalle S. A practical guide to the different types of paper for printing. URL: <https://www.pixartprinting.co.uk/blog/types-of-paper/>.

REFERENCES

1. Kharin, O. R., & Suveizdis, E. (2015). *Teifrovaia pechat [Digital Printing]*. Moskva : OOO «Kni-ga po trebovaniu» (in Russian).
2. Stefanov, S. (2011). *Poligrafia dlia reklamistov i ne tolko. Rukovodstvo k deistviu. Moskva : Gella-print* (in Russian).
3. Khovard, M. (2010). *Osnovy teifrovoi pechati i pechati po trebovaniu. Moskva : MGUP* (in Russian).
4. Turner, R. Global digital print market to reach \$225bn by 2029. Retrieved from <https://www.printweek.com/news/article/global-digital-print-market-to-reach-225bn-by-2029> (in English).
5. Inkjet printing builds towards \$100 billion market. Retrieved from [https://www.smithers.com/resources/2018/oct/inkjet-printing-builds-towards-\\$100-billion-market](https://www.smithers.com/resources/2018/oct/inkjet-printing-builds-towards-$100-billion-market). (in English).
6. Four reasons why the future of digital printing is unstoppable. Retrieved from <https://minutemanpressfranchise.com.au/news/2019/02/14/four-reasons-why-the-future-of-digital-printing-is-unstoppable/> (in English).
7. Printer paper options for digital printing: the ultimate guide. Retrieved from <https://sunprint-solutions.com/printer-paper-ultimate-guide/> (in English).
8. Paper characteristics for digital printing. Retrieved from <https://amp.itweb.co.za/content/1WnxpE74b4kqV8XL>. (in English).
9. Cantavalle, S. A practical guide to the different types of paper for printing. Retrieved from <https://www.pixartprinting.co.uk/blog/types-of-paper/> (in English).

doi: 10.32403/2411-3611-2020-1-37-7-15

RESEARCH OF QUALITY OF DIGITAL PRINTING IMPRINTS

S. F. Havenko, V. V. Bernatsek, M. T. Labetska, A. V. Dovhanych

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
martalabetska@gmail.com*

The digital printing industry continues to grow rapidly in response to numerous economic, technological, demographic, environmental and behavioral factors. Significant spread of digital printing technologies is observed in several key printing sectors: book printing, packaging and commercial printing. The growth of the digital printing industry contributes to reasonable and innovative solutions. The most significant changes in

digital printing technology are related to developments that allow it to be integrated into broader production systems, including workflow and processing to simplify and reduce the exit time to market for many types of printed products. Digital reproduction methods place great demands on the ability of paper to absorb toner quickly and thus increase the need to understand the parameters influencing the dynamics and interaction between paper and toner and the effect of these parameters on print quality. The choice of different types of paper available on the printing market is a key factor in achieving the highest quality of digital printing technology. Particular attention should be paid to the process of interaction of toner with paper, which is directly related to their physical properties. It is known that the properties of paper are affected by both the composition and the technological process of its manufacture.

Experimental researches of the influence of the printed material properties on the quality of tone reproduction of digital imprints have been done by comparing the curves of gradations of toner image obtained on papers of different thickness, as well as changing the printing speed of one print and the entire circulation. The analysis of the obtained graphical dependences of the gradational transmission of the CMYK toner image has shown that with increasing paper thickness there is a decrease in optical densities. This is especially noticeable in areas of shadows and half shadows, which can be explained by the technological feature of the machine, in which the toner baking controller is quite unstable, namely it does not bake toner when increasing the paper thickness of one brand, one manufacturer. Also, as the grammage of the printed paper increases, the output time of the first sheet increases, and the overall printing speed of the print run decreases accordingly. When the digital machine enters the printing mode, the difference in speed for all tested samples is insignificant.

Keywords: *digital printing technology, paper grammage, imprint, gradation transmission, optical density, quality.*

Стаття надійшла до редакції 11.03.2020.

Received 11.03.2020.