

УДК 655.3.06

DOI: 10.20535/2077-7264.1(75).2022.263575

© Т. Ю. Киричок, д-р техн. наук, проф., В. А. Баглай, асп.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ФОРМ ІНТАГЛІОДРУКУ

На основі проведеного аналізу результатів комплексу досліджень з різних аспектів формування параметрів якості форм інтагліодруку, що виготовляються за методом DLE + PVD, за методом MAI, сформовано домінуючу ієрархію, за якою можливо в перспективі обрати один з варіантів технологічного процесу виготовлення форм.

Ключові слова: інтагліодрук; пряме лазерне гравіювання; друкувальні елементи; гравійовані штрихи; тиражостійкість; покриття нітриду хрому; латунь; вакуумне напилення.

Постановка проблеми

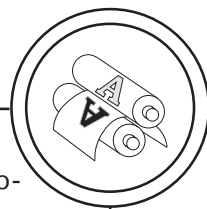
Розробниками технології прямого лазерного гравіювання форм інтагліодруку (DLE — Direct Laser Engraving) [1–7] передбачено можливість отримання високоякісних форм для інтагліодруку прямим лазерним гравіюванням матеріалу форми: під час друкування на друкарській машині KBA-Giori Super Orlof показали змогу створювати гравійовані тривимірні структури (асиметричні профілі гравійованих штрихів, штрихи змінної глибини незалежно від їх ширини) з шириною штрихів від 10 мкм і глибиною гравіювання до 300 мкм. Однак, розробниками зазначено, що процес DLE вимагає суворого контролю параметрів лазерної обробки. На час розроблення методу DLE захисне покриття форм наносилося електrolітично. Тому потреба удосконалення

параметрів технологічного процесу виготовлення форм за допомогою DLE посилюється тим, що тенденцією сьогодення є те, що подальше захисне хромування здійснюється не електрохімічним способом, а нанесенням захисного нітрид-хромового покриття вакуумним напиленням (PVD). Отже, технологія DLE з подальшим нанесенням захисного нітрид-хромового покриття PVD потребує удосконалення режимів оброблення форм та PVD.

Мета роботи

Систематизація, уточнення особливостей інтагліодруку та виготовлення форм інтагліодруку за технологією DLE з PVD, що спричиняють зниження тиражостійкості форм, а також визначення засобів забезпечення тиражостійкості форм інтагліодруку.

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



Аналіз попередніх досліджень

У попередніх дослідженнях на основі аналізу літературних джерел та аналізу процесу інтаглюдруку нами виокремлено три основні групи факторів, які впливають на тиражостійкість форм інтаглюдруку: параметри процесу DLE (в тому числі, й спосіб видалення напливів металу у процесі лазерного гравіювання); параметри форми інтаглюдруку (спосіб виготовлення (традиційний чи DLE), параметри штрихів форми інтаглюдруку (їх ширина, довжина, глибина, відстань між штрихами, вид профілю (трапецієподібний, прямокутний), симетричність профілю (симетричний, асиметричний)); параметри очищення поверхні форми після DLE (до наплення, а також режимів травлення підложки (форми) в камері наплення), параметри процесу вакуумного наплення захисного нітрид-хромового покриття (температура підложки (форми під час наплення), шорсткість пробільних та друкувальних елементів, товщина нітрид-хромового покриття, відсотковий склад газової суміші $Ag-N_2$ в камері наплення) [8]. Визначено, що факторами, які можуть варіюватися задля підвищення якості форм інтаглюдруку є параметри форми інтаглюдруку DLE:

— стан поверхні форми після процесу DLE (шорсткість стінок штриха та твердість приповерхневого шару);

— спосіб очищення форми від напливів DLE до завантаження в вакуумну камеру та безпосередньо режими травлення в камері;

— товщина захисного покриття нітриду хрому;

— склад аргонно-азотної суміші в камері під час процесу PVD;

— склад (чистота) хромової мішені (чистота мішені приймається за ідеальну і не підлягає варіюванню: мішені поставляються і утилізуються виробником обладнання, хоча підвищення адгезії покриття за рахунок використання модифікованих леггованих мішеней доцільно в подальшому дослідити);

— окремі параметри штрихів (вид профілю (V-подібний, трапецієподібний, прямокутний, U-подібний), симетричність профілю (симетричний, асиметричний). Частина параметрів штрихів (ширина, довжина, вид лінії (пряма/крива), напрямок відносно переважної орієнтації волокон паперу, відстань між штрихами) визначається дизайном банкнот і не підлягає варіюванню.

Досліджено методом оптичної металографії шліфів гравіюваних штрихів 30 видів, що відрізнялися запроєктованим профілем (глибиною (20–100 мкм), шириною (30–100 мкм), кутом нахилу стінок штриха (600–900) та потужністю гравіювання, утворених методом DLE на латунній пластині, і встановлено, що всі гравіювані штрихи зразка мають суттєві відхилення від заданого геометричного профіля і зазвичай є несиметричними [9, 10].

В експериментальних дослідженнях встановлено, що, незважаючи на суттєві відмінності профіля, що був отриманий гравіюванням, і запроєктованого, з погляду можливої тактильності відбитків (найсуттєвішого параметру інта-



глідодруку), переважна більшість режимів виготовлення і профілів забезпечує достатньо високу відповідність ширини штриха (80–130 %) запроєктованому. Глибина штриха змінюється суттєвіше — від 60 % від запроєктованого до майже 200 %. Через суттєве відхилення профілю від запроєктованого площа перетину штрихів перебуває в межах 40–90 % від запроєктованого. Найкращі геометричні параметри мають прямокутні штрихи невеликого розміру. З погляду відтворення геометричної форми штрихів кращі параметри мають трапецієподібні профілі. З погляду якості поверхні штрихів — прямокутні профілі [9, 11].

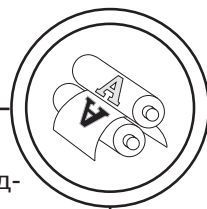
Зниження потужності випромінювання дозволяє як забезпечити кращу якість відтворення геометричних параметрів штриха, так і забезпечити кращу якість поверхні штриха [9, 10]. Останнє є особливо важливим фактором забезпечення належного рівня адгезії захисного покриття до латунної основи, тобто в подальшому — вищої тиражостійкості. Таким чином, стан поверхні штрихів є ще одним додатковим фактором забезпечення зносостійкості форм DLE + PVD.

Аналіз шорсткості поверхні досліджуваних друкарських форм після процесу DLE на ділянках пробільних та друкувальних елементів за допомогою механічного профілографування показало, що шорсткість пробільних елементів форм суттєво нижча ніж шорсткість дна друкувальних елементів, що повністю кореспондується з даними досліджень мікрослівів. Це підтверджено мікроскопічними дослідження-

ми дна друкувальних елементів: нерівності мають регулярний характер, що спричинено особливостями лазерного оброблення поверхні. Зважаючи на цей факт, визначено доцільним удосконалення технологічних режимів лазерного гравіювання поверхні латуні з варіюванням як потужності лазерного випромінювання в межах допустимого для певного обладнання діапазону, так і виду застосованої системи лазерного гравіювання [12].

Досліджено також вплив способу очищення форми від напливів DLE до завантаження у вакуумну камеру та безпосередньо режими травлення в камері (тривалість (збільшена/рекомендована), напруга, що прикладається до форми, вид розряду): у зразків, які оброблялись в плазмі геліконного розряду, показник адгезії збільшився, що свідчить про доцільність обробки латуні задля покращення в подальшому адгезії із захисним покриттям [13].

Геометрія друкувальних елементів впливає на якість формування фарбового шару при інтаглідодруці. Так, проведені дослідження надрукованих штрихів показали, що зі зростанням коефіцієнта співвідношення глибини до ширини гравійованих штрихів більше 0,4 коефіцієнту втрати товщини фарбового шару зростає та перевищує 50 %, коефіцієнт розтікання фарби зростає та перевищує 20 %, показник шприцювання також зростає та перевищує 10 «вусиків» на 1 см, що говорить про загальне зниження коефіцієнту фарбоперенесення та графічної і градаційної точності відбитків. При



цьому при коефіцієнті співвідношення глибини до ширини гравійованих штрихів 0,2 відмічений підвищений рівень шприцювання фарби. Найкращі показники якості формування фарбового шару досягнуто при застосуванні гравійованих елементів із співвідношенням глибини до ширини у діапазоні 0,3–0,5 [11].

Таким чином, проведений комплекс досліджень [9–13] дозволив уточнити для форм, що виготовляються за методом DLE + PVD, порівняно з попередніми дослідженнями [8] фактори, що є вирішальними для забезпечення якості форм інтаглідруку та можливі засоби її підвищення:

— корегування режимів DLE (потужність випромінювання, вид обладнання, що відрізняється довжиною хвилі випромінювання);

— корегування параметрів штрихів (незалежних від заданих дизайном — вид профілю, симетричність профілю, кут нахилу стінок штриха, глибина (у визначених межах), співвідношення глибини і ширини);

— корегування режимів оброблення після DLE (хімічного очищення, чи хімічного і механічного очищення);

— корегування режимів попереднього оброблення PVD (тривалість, інтенсивність та вид іонно-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття);

— корегування режимів PVD ((товщина захисного покриття (час напилення), відсотковий склад газової суміші Ar-N₂ в камері напилення, склад (легування) хро-

мової мішені, температура підкладки (форми) під час PVD)).

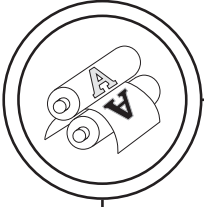
Таким чином, процес прийняття рішень з корегування режимів виготовлення форм інтаглідруку за методом DLE + PVD може розглядатися як задача багатокритеріального вибору, яку доцільно вирішити за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI), запропонованого Т. Саати [14].

Результати проведених досліджень

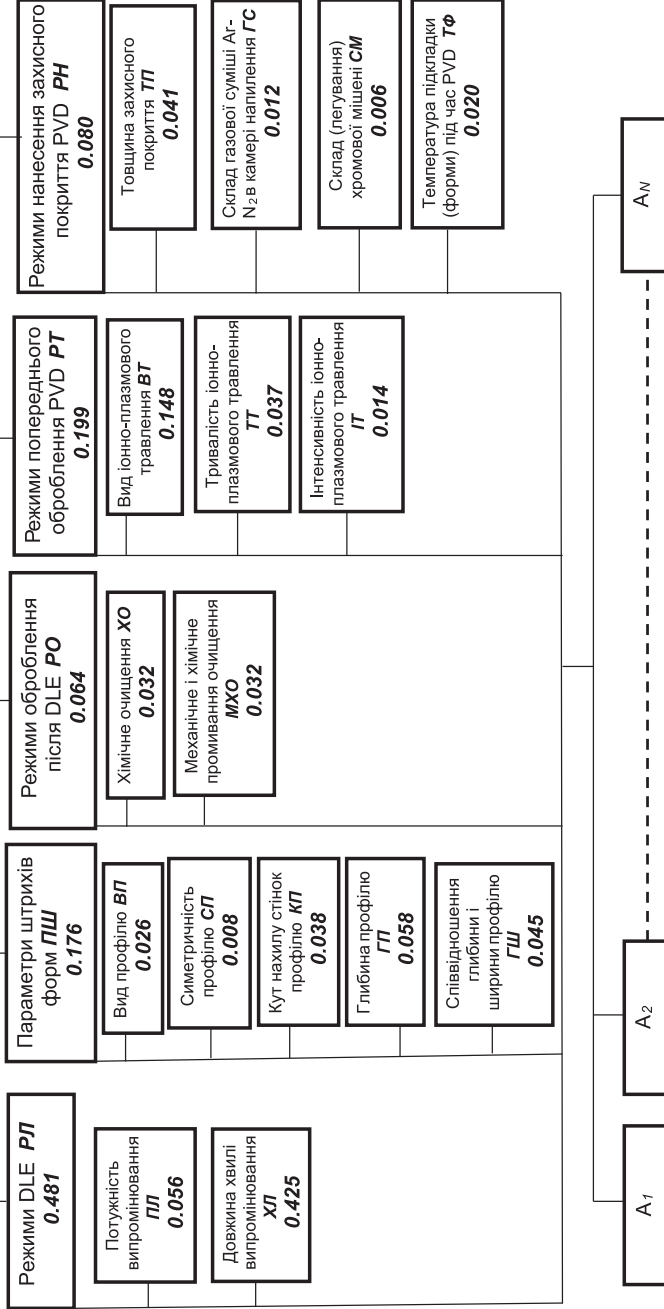
Формування домінантної ієрархії, за якою буде обрано один з варіантів технологічного процесу виготовлення форм, представлено на рис. 1. В результаті декомпозиції проблеми визначено, що альтернативами є варіанти технологічного процесу A₁... A_N, які в подальшому мають бути оптимізовані з урахуванням дій акторів — зазначених факторів впливу на досягнення глобальної мети — якісної форми інтаглідруку (такої, що забезпечує отримання максимальної кількості відбитків належної якості (чіткості і тактильності) [11]).

Оскільки кількість визначених факторів впливу перевищує 9, то доцільно провести їх кластеризацію задля визначення їх вагомості: факторами впливу є режими DLE, параметри штрихів форм, режими оброблення після DLE, режими попереднього оброблення PVD, режими нанесення захисного покриття PVD. Кожен з факторів характеризується підфакторами, описаними вище.

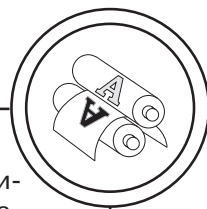
Наступним етапом є визначення пріоритетів всіх елементів ієрархії з використанням методу



Якісна форма інтаглюдруку ЯФ



Ієрархія факторів забезпечення якісних форм інтаглюдруку



парних порівнянь. Матрицю парних порівнянь дій акторів — факторів впливу на досягнення глобальної мети наведено в табл. 1. Матриці парних порівнянь підфакторів в кластерах — в табл. 2–6.

Для зручності в матрицях парних порівнянь вжито умовні позначки для елементів ієрархій, наведені на рис.

Під час формування матриць парних порівнянь використано шкалу відношень з оцінками від 1 до 9 [14], котрим відповідають певні судження про значимість факторів чи дій: 1 — однакова значимість, 3 — слабка значимість (певне переважання значимості одного фактора над іншим), 5 — суттєва чи сильна значимість, 7 — дуже сильна або очевидна зна-

чимість, 9 — абсолютна значимість, 2, 4, 6, 8 — проміжні значення між сусідніми значеннями шкали, зворотні величини наведених чисел відповідають значимості факторів j порівняно з фактором i за умови, що фактору i приписується одне зі значень шкали.

Матриці парних порівнянь (табл. 1–6) сформовано на основі оцінок трьох експертів рівної компетентності.

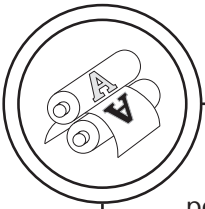
Найбільш вагомими факторами впливу на досягнення глобальної мети є кластери режими DLE (вагомість 0,481), режими попереднього оброблення PVD (вагомість 0,199) і параметри штрихів форми (вагомість 0,176).

Таблиця 1
Порівняння кластерів — дій акторів відносно глобальної цілі — якісної форми інтагліодруку

ЯФ	РЛ	ПШ	РО	РТ	РН	Вектор пріоритетів матриці факторів впливу на досягнення глобальної мети (0.481; 0.176; 0.064; 0.199; 0.080). Власне значення матриці $\lambda_{\max} = 5,427$, індекс узгодженості $I_U = 0,107$, відношення узгодженості $V_U = 0,095$.
РЛ	1.000	3.667	5.000	3.667	4.667	
ПШ	0.289	1.000	2.000	0.667	5.333	
РО	0.200	0.500	1.000	0.261	0.500	
РТ	0.289	1.667	4.000	1.000	2.000	
РН	0.217	0.189	2.000	0.500	1.000	

Таблиця 2
Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів DLE

РЛ	ПЛ	ХЛ	Вектор пріоритетів кластера (0.116; 0.884). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.056; 0.425). Матриця вважається узгодженою завдяки розмірності 2×2 .
ПЛ	1.000	0.132	
ХЛ	7.667	1.000	



Найбільш вагомим підфактором є довжина хвилі випромінювання.

Найбільш вагомими підфакторами в кластері є глибина штрихів форми і співвідношення глибини і ширини профілю штриха.

Найбільш вагомим підфактором кластера є вид іонно-плазмового травлення.

Найбільш вагомим підфактором кластера є товщина захисного покриття.

Вагомості всіх факторів в межах кластерів зазначено на рис.

Висновки

На основі проведеного аналізу результатів комплексу досліджень з різних аспектів формування параметрів якості форм

інтагліодруку, що виготовляються за методом DLE + PVD, за методом MAI, сформовано домінуючу ієрархію, за якою можливо в перспективі обрати один з варіантів технологічного процесу виготовлення форм. В результаті декомпозиції проблеми визначено, що альтернативні варіанти технологічного процесу в подальшому мають бути оптимізовані з урахуванням дій акторів — факторів впливу на досягнення глобальної мети — якісної форми інтагліодруку ((такої, що забезпечує отримання максимальної кількості відбитків належної якості (чіткості і тактильності)). Визначено та кластеризовано фактори впливу:

Таблиця 3

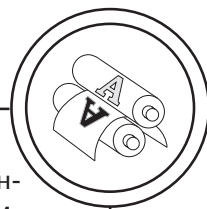
Порівняння часткових дій акторів в межах кластера параметрів штрихів форм

ПШ	ВП	СП	КП	ГП	ГШ	Вектор пріоритетів кластера (0.149; 0.048; 0.219; 0.330; 0.254). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.026; 0.008; 0.038; 0.058; 0.045). Власне значення матриці $\lambda_{\max} = 5,343$, індекс узгодженості $I_U = 0,086$, відношення узгодженості $V_U = 0,077$.
ВП	1.000	6.667	0.200	0.444	0.833	
СП	0.151	1.000	0.200	0.306	0.189	
КП	2.000	5.000	1.000	0.667	0.500	
ГП	2.333	3.333	1.667	1.000	2.000	
ГШ	1.333	5.333	2.000	0.500	1.000	

Таблиця 4

Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів оброблення після DLE

PO	ХО	МХО	Вектор пріоритетів кластера (0.500; 0.500). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.032; 0.032). Матриця вважається узгодженою завдяки розмірності 2×2 .
ХО	1.000	1.167	
МХО	1.167	1.000	



— корегування режимів DLE (потужність випромінювання, вид обладнання, що відрізняється довжиною хвилі випромінювання);

— корегування параметрів штрихів (незалежних від заданих дизайном — вид профілю, симетричність профілю, кут нахилу стінок штриха, глибина (у визначених межах), співвідношення глибини і ширини);

— корегування режимів оброблення після DLE (хімічного очищення чи хімічного і механічного очищення);

— корегування режимів попереднього оброблення PVD (тривалість, інтенсивність та вид іон-

но-плазмового травлення латунної пластини у камері вакуумного напилення перед нанесенням захисного покриття);

— корегування режимів PVD (товщина захисного покриття (час напилення), відсотковий склад газової суміші Ar-N₂ в камері напилення, склад (легування) хромової мішені, температура підкладки (форми) під час PVD).

Встановлено вагомість усіх факторів та підфакторів, що дозволяє зробити висновок щодо пріоритетних напрямів подальших досліджень (удосконалення обладнання DLE та PVD), а також заходів в межах дизайну форм.

Таблиця 5

Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів попереднього оброблення PVD

РТ	ВТ	ТТ	ІТ	Вектор пріоритетів кластера (0.745; 0.186; 0.069). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.148; 0.037; 0.014). Власне значення матриці $\lambda_{max} = 3,104$, індекс узгодженості $IU = 0,052$, відношення узгодженості $BU = 0,090$.
ВТ	1.000	5.333	8.333	
ТТ	0.189	1.000	3.667	
ІТ	0.122	0.289	1.000	

Таблиця 6

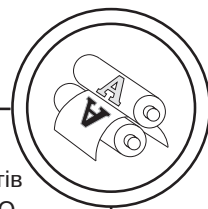
Порівняння часткових дій акторів в межах кластера режимів нанесення захисного покриття PVD

РН	ТП	ГС	СМ	ТФ	Вектор пріоритетів кластера (0.516; 0.155; 0.079; 0.249). Вектор пріоритетів кластера з урахуванням вагомості кластера (0.041; 0.012; 0.006; 0.020). Власне значення матриці $\lambda_{max} = 4,183$, індекс узгодженості $IU = 0,061$, відношення узгодженості $BU = 0,068$.
ТП	1.000	3.667	4.333	3.000	
ГС	0.289	1.000	2.000	0.667	
СМ	0.244	0.500	1.000	0.217	
ТФ	0.333	1.667	4.667	1.000	



Список використаної літератури

1. Deinhammer H. Direct laser engraving of intaglio printing plates / Harald Deinhammer, Franz Loos, Daniel Schwarzbach, Peter Fajmann // Proc. SPIE 5310. Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques. June 2004. V. 3. <https://doi.org/10.1117/12.526899>.
2. Deinhammer H. The implication of direct laser engraved intaglio plates on banknote security / Harald Deinhammer, Daniel Schwarzbach, Rudolf Kefeder, Peter Fajmann // Proc. SPIE 6075. Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI. 9 February 2006. 607503. <https://doi.org/10.1117/12.643902>.
3. Grimsley M. Automated inspection of intaglio plate measurement for U.S. currency / Max Grimsley, James E. Hess, Mark Poulsen, Ken Rankin, David Curtis, Donald Bayer // Proc. SPIE 4677. Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV. 19 April 2002. <https://doi.org/10.1117/12.462735>.
4. Пат. 20110250410 Канада, МПК В32В 03/10, С08L 33/08, В41М 01/12, В05D 03/06. Method and composition for printing tactile marks and security document formed therefrom / Т. Р. Rygas, Th. Thurailingam, S. Crisan, N. J. Sylvain; заявник і патентовласник Canadian Bank Note Company, Limited; заявл. 21.12.2009; опублік. 26.10.2011.
5. Пат. 20040061325 Канада, МПК В42D15/00. Printed security device and method / E. A. Lyen, L. M.-F. Suzzarini; заявник і патентовласник Canadian Bank Note Company, Limited; заявл. 07.09.2002; опублік. 01.04.2004.
6. Пат. 2384890 США, МПК В41F 13/187, В41М 3/14, В41М 1/10, В41Н 10/04. Impression cylinder for intaglio printing and intaglio printing process / M. Gugi; заявник і патентовласник KBA-Giori S.A.; заявл. 07.05.2010 р.; опублік. 28.08.2011.
7. Пат. 20110058509 США, МПК В29С35/08. Method and system for manufacturing intaglio printing plates for the production of security papers / J. Perrier; № 12/992522; заявник і патентовласник KBA-GIORI S.A.; заявл. 5.05.2009; опублік. 24.03.2011.
8. Киричок Т. Ю. Система формування тиражостійкості форм інтагліодруку / Т. Ю. Киричок, В. А. Баглай // Технологія і техніка друкарства. 2019. № 3(65). С. 15–24. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(65\).2019.196565](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565).
9. Киричок Т. Ю. Вплив технологічних параметрів на властивості друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням / Т. Ю. Киричок, В. А. Баглай, А. А. Безпалый // Технологія і техніка друкарства. 2020. № 3(69). С. 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(69\).2020.226568](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568).
10. Киричок, Т. Ю. Методика автоматизованого оцінювання якості технологічної операції прямого лазерного гравіювання форм інтагліодруку / Т. Ю. Киричок, В. А. Баглай, А. А. Безпалый, П. Г. Регіда // Технологія і техніка друкарства. 2019. № 4(66). С. 31–41. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(66\).2019.208868](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868).
11. Киричок Т. Ю. Вплив параметрів друкувальних елементів форм інтагліодруку, отриманих прямим лазерним гравіюванням, на графічну та градаційну точність відбитків / Т. Ю. Киричок, О. В. Коротенко, В. А. Баглай // Технологія і техніка друкарства. 2021. № 4(74). С. 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(74\).2021.258285](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285).



12. Киричок Т. Ю. Дослідження якості поверхні друкувальних елементів форм інтагліодруку, виготовлених прямим лазерним гравіюванням / Т. Ю. Киричок, В. А. Баглай, Н. Л. Талімонова, Т. Є. Клименко, А. А. Безпалый // *Технологія і техніка друкарства*. 2020. № 4(70). С. 4–14. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.229630](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.229630).

13. Киричок Т. Ю. Вплив технологічних режимів обробки латунної основи на якість форм інтагліодруку / Т. Ю. Киричок, Н. Л. Талімонова, Т. Є. Клименко, В. А. Баглай, Е. М. Руденко, Я. Ю. Талімонов, А. Є. Новицька // *Технологія і техніка друкарства*. 2021. № 2(72). С. 13–19. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(72\).2021.123609](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(72).2021.123609).

14. Thomas L. Saaty. How to make and justify a decision: the analytic hierarchy process. Part 1. Examples and Applications / T. L. Saaty // *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2002. № 1. С. 95–108.

References

1. Deinhammer, H., Loos, F., Schwarzbach, D., & Fajmann, P. (June 2004). Direct laser engraving of intaglio printing plates. Proc. SPIE 5310. *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques*, V. 3. <https://doi.org/10.1117/12.526899>.

2. Deinhammer, H., Schwarzbach, D., Kefeder, R., & Fajmann P. (9 February 2006). The implication of direct laser engraved intaglio plates on banknote security. Proc. SPIE 6075. *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques VI*, 607503. <https://doi.org/10.1117/12.643902>.

3. Grimsley, M., Hess, J. E., Poulsen, M., Rankin, K., Curtis, D., & Bayer, D. (19 April 2002). Automated inspection of intaglio plate measurement for U.S. currency. Proc. SPIE 4677. *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*. <https://doi.org/10.1117/12.462735>.

4. Rygas, T. P., Thurailingam, Th., Crisan, S., & Sylvain, N. J. *Method and composition for printing tactile marks and security document formed therefrom* // Patent 20110250410 Canada. Publish 26.10.2011.

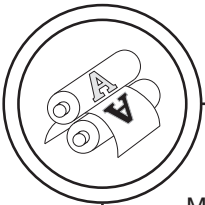
5. Lyen, E. A., & Suzzariani, L. M.-F. *Printed security device and method* // Patent 20040061325 Canada. Publish 01.04.2004.

6. Gygi, M. *Impression cylinder for intaglio printing and intaglio printing process* // Patent 2384890 USA. Publish 28.08.2011.

7. Perrier, J. *Method and system for manufacturing intaglio printing plates for the production of security papers* // Patent 20110058509 USA. Publish 24.03.2011.

8. Kyrychok, T. Yu., & Bahlai, V. A. (2019). Systema formuvannya tyrazhostikosti form intahliodruku [The system of forming the durability of intaglio printing forms]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (3(65)), 15–24. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(65\).2019.196565](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(65).2019.196565) [in Ukrainian].

9. Kyrychok, T. Yu., Bahlai, V. A., & Bezpalyy, A. A. (2020). Vplyv tekhnolohichnykh parametriv na vlastyvoli drukovalnykh elementiv form intahliodruku, otrymanykh priamym lazernym hraviuvanniam [The influence of technological parameters on the properties of printing elements of intaglio printing forms obtained by direct laser engraving]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (3(69)), 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(69\).2020.226568](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568) [in Ukrainian].



10. Kyrychok, T. Yu., Bahlai, V. A., Bezpalyi, A. A., & Rehida, P. H. (2019). Metodyka avtomatyzovanoho otsiniuvannya yakosti tekhnolohichnoi operatsii priamoho lazernoho hraviuvannya form intagliodruku [Methodology of automated assessment of the quality of the technological operation of direct laser engraving of intaglio printing forms]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (4(66)), 31–41. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(66\).2019.208868](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868) [in Ukrainian].
11. Kyrychok, T. Yu., Korotenko, O. V., & Bahlai, V. A. (2021). Vplyv parametriv drukuvalnykh elementiv form intagliodruku, otrymanykh priamym lazernym hraviuvanniam, na hrafichnu ta hradatsiinu tochnist vidbytkiv [The influence of the parameters of the printing elements of the intaglio printing forms, obtained by direct laser engraving, on the graphic and gradation accuracy of imprints]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (4(74)), 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(74\).2021.258285](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285) [in Ukrainian].
12. Kyrychok, T. Yu., Bahlai, V. A., Talimonova, N. L., Klymenko, T. Ye., & Bezpalyi, A. A. (2020). Doslidzhennia yakosti poverkhni drukuvalnykh elementiv form intagliodruku, vyhotovlenykh priamym lazernym hraviuvanniam [Study of the surface quality of printing elements of intaglio printing forms made by direct laser engraving]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (4(70)), 4–14. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(70\).2020.229630](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(70).2020.229630) [in Ukrainian].
13. Kyrychok, T. Yu., Talimonova, N. L., Klymenko, T. Ye., Bahlai, V. A., Rudenko, E. M., Talimonov, Ya. Yu., & Novytska, A. Ye. (2021). Vplyv tekhnolohichnykh rezhymiv obrobky latunnoi osnovy na yakist form intagliodruku [The influence of technological regimes of brass base processing on the quality of intaglio printing forms]. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva (Technology and Technique of Typography)*, (2(72)), 13–19. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(72\).2021.123609](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(72).2021.123609) [in Ukrainian].
14. Saaty, T. L. (2002). How to make and justify a decision: the analytic hierarchy process. Part 1. Examples and Applications. *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii*, 1, 95–108 [in English].

In the analysis of the results of a complex investigation on various aspects of the formation of quality parameters of intaglio printing plates produced by the DLE + PVD method, a dominant hierarchy was formed by the AHP method, according to which it is possible to choose one of the variants for the technological process of manufacturing plates in the future.

Keywords: intaglio printing; direct laser engraving; space element; printing element; engravings; run-length; nitride-chromium coating; brass; vacuum deposition.

Надійшла до редакції 27.04.22