



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

35

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2024

УДК 655.35:655.224.3

THE IMPACT OF GRAVURE INK DISPERSION ON COLOR REPRODUCTION IN THE MANUFACTURE OF PACKAGING FOR THE FOOD INDUSTRY

R. Khokhlova, L. Martsynkevych, V. Stepanets, O. Chepeliuk, M. Desyk
National University of Food Technologies

Key words:

Gravure inks,
Food packaging,
Packaging materials,
Dispersed microhetero-
geneous systems,
Color reproduction quality
on prints

Article history:

Received 22.02.2024
Received in revised form
03.09.2024
Accepted 06.09.2024

Corresponding author:

lv.martsinkevich@gmail.com

ABSTRACT

Gravure printing is the best at reproducing the tonal values of colour images due to the ability of printing plates to reproduce different ink layer thicknesses in highlights, midtones and shadows and to use percentage values of colour saturation in their production.

The setting time for triad gravure inks is determined by the evaporation rate of the solvent, its amount in each specific colour gradation and the properties of the printed surfaces.

This article examines the impact of the formulation composition, concentration and dispersion of pigments for triadic inks in the dispersion medium of water-soluble resins on the time and quality of ink fixation on prints, rheological and optical parameters of aqueous ink systems.

The ultrasonic dispersion of pigments in aqueous solutions of water-soluble polymers, performed with Hielscher's UP50H and UP100H, contributes to high-quality colour reproduction on prints. The speed and quality of this dispersion method is influenced by the formulation of the inks. A pigment concentration of 8—12% and a medium molecular weight water-soluble resin of 10—15% results in a minimum dispersion time — 99% of the dispersed phase crystals reach a size of 200 nm in 5 minutes. Highly dispersed microheterogeneous ink systems obtained by ultrasonic dispersion of pigments are able to stably retain cavitation nanocavities, which impair ink flow into the printing elements on gravure printing plates, but contribute to an increase in the ink transfer coefficient to polymeric PPS. The uniform size of the gravure ink system, which has the lowest percentage of pigments of any existing printing ink, creates equivalent or even higher optical density on the prints in the appropriate gradations due to the tight packing of highly dispersed crystals in the ink layers fixed to the prints, while synthesising high-quality and design-appropriate colour tones.

DOI: 10.24263/2225-2916-2024-35-6

ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ ФАРБ ГЛИБОКОГО ДРУКУ НА КОЛЬОРОВІДТВОРЮВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАКОВАНЬ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Р. А. Хохлова, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-1545-9696>

Л. В. Марцинкевич, <https://orcid.org/0000-0003-2215-9912>

В. В. Степанець, канд. техн. наук,

О. О. Чепелюк, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-5417-9398>

М. Г. Десик, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-8016-466X>

Національний університет харчових технологій

Дисперсність фарб глибокого друку впливає на кольоровідтворення при виготовленні гнучких пакувань для харчової промисловості. Ультразвукове диспергування пігментів у водних розчинах водорозчинних полімерів виконане з використанням пристроїв марок UP50H та UP100H фірми Hielscher. Однорідна за розмірами високодисперсна фарбова система з кристаликами дисперсної фази 200 нм у 99%, маючи найменший відсотковий вміст пігментів, створює на відбитках у відповідних градаціях рівноцінну і навіть вищу оптичну щільність завдяки щільному укладанню високодисперсних кристаликів у закріплених на відбитках фарбових шарах, синтезуючи при цьому високоякісні і відповідні дизайну кольорові тони.

Ключові слова: фарби глибокого друку, харчове пакування, пакувальні матеріали, дисперсні мікрогетерогенні системи, якість кольоровідтворення на відбитках.

Вступ. Друкарські фарби належать до колоїдно-дисперсних мікрогетерогенних систем, а друк на різних пакувальних матеріалах і закріплення фарби на відбитках характеризується складними фізико-хімічними процесами як в самих тріадних фарбах, так і при їхній взаємодії з різними за хімічним складом поверхнями паперу, картону, полімерних пакувальних плівок та інших пакувальних матеріалів. Окрім цього, в процесі друку виникає не менш складний комплекс молекулярно-поверхневих явищ, пов'язаних як зі способом друку і формними матеріалами, так і з фізико-хімічними властивостями використаних фарб при задруковуванні поверхонь пакувальних матеріалів (ЗППМ). Причому молекулярній природі при ЗППМ варто надати більше значення, тому що визначаються умови й характер взаємодії їх з друкарськими фарбами на водорозчинних плівкоутворювачах і вплив на якість кольоровідтворення художнього дизайну харчового пакування екологічно чистого та відповідального виробництва [1]. Чим кращими будуть показники мікрогеометрії і структури ЗППМ та енергій їхніх поверхневих натягів, тим вищими мають бути вимоги до складу і до якості реологічних та фізико-хімічних властивостей фарб для усіх різновидів і способів глибокого друку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз ринків поліграфічної продукції в Україні показав тенденції до зменшення і так невеликих накладів газетної і книжково-журнальної продукції, проте спостерігається стрімкий ріст назв і тиражів виготовлення різноманітних пакувань, у тому числі і гнучких, як полімерних, так і паперових та картонних, у яких ключове значення відіграє як оригінальний дизайн та конструкція пакування, так і можливість стабільного тривалого зберігання продукту. Нормою стало поштучне пакування продуктів разової дози вживання, що вимагає ще більшої кількості пакувальних матеріалів [2].

Серед сучасних способів друку найкращими в передачі тональностей кольорових зображень на ЗППМ є різновиди глибокого друку завдяки здатності друкарсь-

ких форм передавати різну товщину фарбового шару в світлинах, півтінях і тінях та використовувати при цьому відсоткові значення насиченості кольорових тонів при їх виготовленні. Завдячуючи такому тандему, якість кольоровідтворення на відбитках ЗППМ глибоким друком вважається експертами найвищою серед усіх способів друку [3, 4].

Проте різна товщина шарів тріадних фарб на ЗППМ вимагає як швидкого закріплення кожної із тріадних фарб на відбитку, так і міцності закріплення кожної із кольорових плівок на поверхнях з високою гладкістю та мінімальною пористістю і між собою [5]. Закріплення фарб глибокого друку відбувається за рахунок випаровування швидколеткого розчинника із фарбових плівок кожної з тріадних фарб та міцного зчеплення в'язучих речовин як кожного шару між собою, так і з ЗППМ. Час на закріплення тріадних фарб глибокого друку на ЗППМ зумовлюється як швидкістю випаровування розчинника, так і його кількістю в кожній конкретній градації кольорового тону, тобто в тінях відтінки більш насичені за рахунок товщини фарбового шару і кількість розчинника буде більшою, ніж у світлинах, де фарбові шари набагато тонші, ніж у глибоких тінях, і час закріплення фарбових шарів у тінях і у світлинах буде різним. Різний час закріплення і при друкуванні на пористих паперових та гладеньких полімерних ЗППМ. Цей фізико-хімічний процес залежить як від кількості та якості компонентів, що входять до складу фарб для глибокого способу друку, так і показників умов забезпечення якісного здійснення процесу закріплення фарби на відбитку.

Аналіз сучасних рецептур фарб для глибокого друку виявив їх типовий склад: пігменти — 8—12%, плівкоутворювальні смоли — 12—20%, розчинники — 60—80% і різні домішки для модифікації фарб під умови друку — до 4%.

Умови якісного закріплення фарб на ЗППМ забезпечуються розчинниками, які мають низьку приховану теплоту утворення парів, тобто швидко випаровуються, і при цьому якомога більше дифундують через фарбові плівки як при випаровуванні, так і при всотуванні у ЗППМ. У свою чергу, плівкоутворювальні смоли мають якомога менше понижувати тиск парів розчинників з метою максимального виходу їх з фарбових плівок. Тобто тиск парів розчинників має бути якомога вищим. Фарби глибокого друку для ЗППМ — рідка полідисперсна система високої рухливості, яка підпорядковується закономірностям молекулярно-кінетичної теорії [5].

Умови якісного відтворення кольорів на відбитках різних ЗППМ забезпечуються пігментною складовою полідисперсної системи фарби глибокого друку. Пігменти, що використовуються в тріадних фарбах, повинні характеризуватися максимальною чистотою кольорових тонів субтрактивного синтезу С, М, У. Крім цього, пігменти не повинні погіршувати адгезійно-когезійні властивості системи, тобто мати високу адгезію до усіх ЗППМ, не залишати слідів фарби (відмарювання) на звороті полотна при рулонному друкуванні специфічними фарбами глибокого друку; не проникати у запаковані харчові продукти [6, 7].

Актуальність дослідження. Процес диспергування кристаликів пігментів (дисперсна фаза) у розчинах плівкоутворювальних смол і відповідних цим смолам розчинниках (дисперсійне середовище) вважається найважливішим фізико-хімічним процесом у виготовленні друкарських фарб. Зважаючи на те, що пігменти залежно від своєї природи і як часточки порохів твердої речовини можуть перебувати в аморфному і в кристалізованому стані, процес диспергування їх може відбуватися по-різному і суттєво впливати на прозорість тріадних фарб. Якщо кожен із шарів тріадних фарб С, М, У на відбитках ЗППМ слугує двозонним фільтром білого світла, то залежно від площі елементарного друкувального елемента та від товщини кож-

ного з фарбових шарів тріади синтезуватимуться конкретні кольорові тони, якість і точність яких залежать від прозорості фарб та фізичних і колірних характеристик конкретної ЗППМ.

Мета дослідження: вивчення впливу концентрації та дисперсності пігментів для тріадних фарб у дисперсійному середовищі водорозчинних смол на практичні (час і якість закріплення фарб на відбитках), реологічні (в'язкість) і оптичні (оптична щільність) показники водних фарбових систем при ЗППМ різного типу (папір для глибокого друку, двошаровий картон, алюмінієва фольга, поліпропіленові плівки з метализацією і без неї та після вторинної переробки) глибоким способом друку.

Матеріали і методи. Виходячи з емпіричного рівняння Стокса:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g}{\eta} \cdot (\rho_n - \rho_{dc}),$$

де V — швидкість утворення осаду часточками пігменту; r — радіус часточок пігменту; g — прискорення сили тяжіння; η — в'язкість дисперсійного середовища; ρ_n — щільність пігменту; ρ_{dc} — щільність дисперсійного середовища, визначається з основними факторами, що впливатимуть на колористичні, оптичні, реологічні та механічні властивості фарбових систем при друкуванні на різних пакувальних матеріалах. Крім розмірів часточок пігментів, звертаємо увагу на форму, розподіл за розмірами, щільність укладання кристаликів пігментів, ступінь їх агрегації. Рівняння Стокса показує вплив різниці між щільністю пігменту і щільністю дисперсійного середовища на прозорість фарб та швидкість утворення пігментного осаду.

Дослідження відбитків фарб глибокого друку на різних ЗППМ характеризується неоднозначністю спектрофотометричних відгуків на зсув кольорових тонів С, М, У та їхніх подвійних накладань, тому що ЗППМ мають різні характеристики своїх поверхонь, а модельна друкарська форма глибокого друку включає для порівняння лише світлини з відносною площею друкувальних елементів 8% і відповідною цим відсоткам глибину лазерного гравірування комірок із півсферичною формою та співвідношенням ширини комірки до ширини перетинки 6:1; аналогічно півтіні — 40% і 60% градацію; тіні — 85% градацію. Тому контроль градаційної передачі здійснювали шляхом вимірювання оптичних густин на контрольному полі з растровими елементами різних відносних площ [8].

Для проведення дослідів з диспергування водних пігментних паст С, М, У, К використовували ультразвукові пристрої з потужністю 50 і 100 Вт марок UP50Н та UP100Н фірми Hielscher, доза диспергування 100 мл. Зважаючи на аналіз типової рецептури фарби для глибокого друку: пігменти С, М, У, К по 8—12%, плівкоутворювальні смоли — 12—20%, домішки модифікації фарб під умови друку — до 4%, розчинники — 60—80%, було запропоновано для досліджень по кожному кольору пігментів відповідні рецептури (табл. 1).

Таблиця 1. Рецептурні композиції модельних водорозчинних фарб

Компоненти	Номер композиції						
	№ 1, min		№ 2, midi		№ 3, max		Різниця у вмісті: max – min, %
Пігмент, %	8	100	10	125	12	150	
Плівкоутворювачі, %	12	100	16	133	20	167	67
Розчинники, %	78	100	71	110	64	120	20
Домішки, %	2	100	3	150	4	200	100
	100%		100%		100%		

Результати і обговорення. Процес диспергування пігментів у розчині плівкоутворювальних смол відбувається поетапно. Спочатку відбувається змочування розчином поверхонь агрегатів, конгломератів і окремих частинок пігментів. При цьому з твердих поверхонь пігментів виштовхуються адсорбовані на них волога і гази. Потім настає пептизація агрегатів і флокул завдяки адсорбційному блокуванню компонентами плівкоутворювальних смол активних центрів, здатних до коагуляції. На заключній стадії здійснюють стабілізацію дисперсної системи під назвою «друкарська фарба» за участі домішок різного призначення.

Усі перераховані вище вимоги до пігментів і їх властивостей в основному залежатимуть від використаної у системі водної фарби фракції дисперсності, яка вважається спеціалістами найважливішою характеристикою мікрогетерогенних систем із розвинутою поверхнею поділу фаз [9]. Це означає, що чим менший розмір кристаліка пігменту, тим вищими будуть його дисперсність і вільна енергія поверхні. Диспергування варто розглядати як механіко-хімічний процес, при якому в момент утворення нової поверхні відбувається розрив хімічних зв'язків між сусідніми атомами і йонами. На нових поверхнях зруйнованого кристаліка деякий час існують вільні радикали, які зумовлюють високу активність поверхонь. Отже, чим менший розмір часточок пігменту, тим буде вищою стабільність системи і, відповідно, якість друкарської фарби. Результати досліджень представлено на рис. 1 та рис. 2.

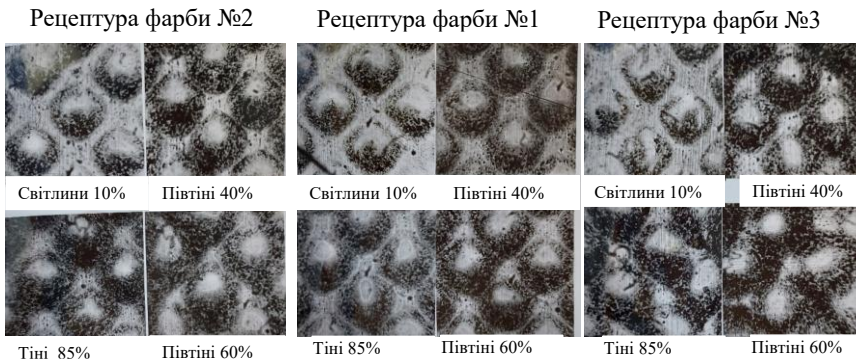


Рис. 1. Вигляд (1:300) комірок і перетинок друкарської форми глибокого друку з фарбами трьох рецептур, які мають різний вміст сажі, різну в'язкість, різний час ультразвукового диспергування, але однаковий розмір кристаліків у 200 нм 99% дисперсної фази

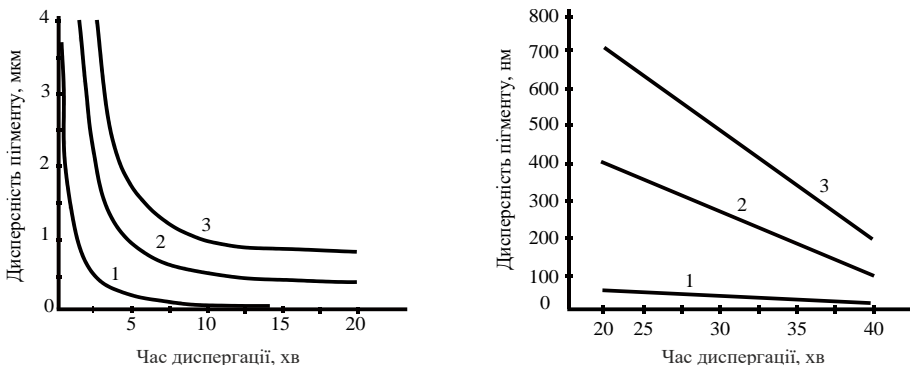


Рис. 2. Вплив в'язкості фарби на час диспергування пігментів до розміру 200 нм: 1 — рецептура № 1, в'язкість 18 с; 2 — рецептура № 2, в'язкість 21 с; 3 — рецептура № 3, в'язкість 25 с

Як бачимо, рівномірність змочування друкарських елементів у світлинах, півтінях і тінях найкраща модельними фарбами С, М, У, К рецептури № 1 з в'язкістю 18 с; гірше проявляють себе фарби рецептури № 2 з в'язкістю 21 с; найгірше проявляють себе фарби рецептури № 3 з в'язкістю 25 с.

Вплив в'язкості фарби різних модельних рецептур на процес змочування пояснюють залежності розмірів дисперсної фази від часу диспергування пігментів у дисперсному середовищі до розмірів у 200 нм (рис. 2).

Одержані залежності стосуються типових рецептур водних фарб для глибокого друку з 8% вмістом тріадних пігментів (крива 1) і робочою умовною в'язкістю 18 с по лійці ВЗ-4, у яких переважні розміри кристаліків дисперсної фази менші 200 нм досягаються через 6 хв на лабораторному ультразвуковому змішувачі UP100H фірми Hielscher. Збільшення маси пігментної дисперсної фази на 25% (з 8 г пігменту до 10 г у масі 100 г рецептура фарби № 2, крива 2) збільшує час диспергування до 35 хв.

На рис. 1 (рецептура фарби № 2) спостерігаємо погіршення змочування комірок в усіх градаціях, тому що текучість фарби погіршилася через вміст у композиції кавітаційних пустот нанорозмірів. Їх кількість збільшується з подовженням часу диспергування (рецептура фарби № 3). Процес диспергування пігментів у рецептурі фарби № 3, пігментна дисперсна фаза якої була збільшена на 50% щодо рецептури фарби № 1, потребував ще на 25 хв довшого часу диспергування пігментів у таких композиціях з утворенням стійких кавітаційних нанопустот.

Вплив дисперсності пігментів нижче 200 нм (рецептура фарби № 1) модельних водних фарб стандартних кольорових тонів С, М, У, К для глибокого друку на кольоровідтворення при ЗППМ вивчався шляхом порівняння оптичної щільності градацій 8%, 40%, 60%, 85% на відбитках при ЗППМ алюмінієвої фольги і поліпропіленової плівки з вторинної переробки (рис. 3).

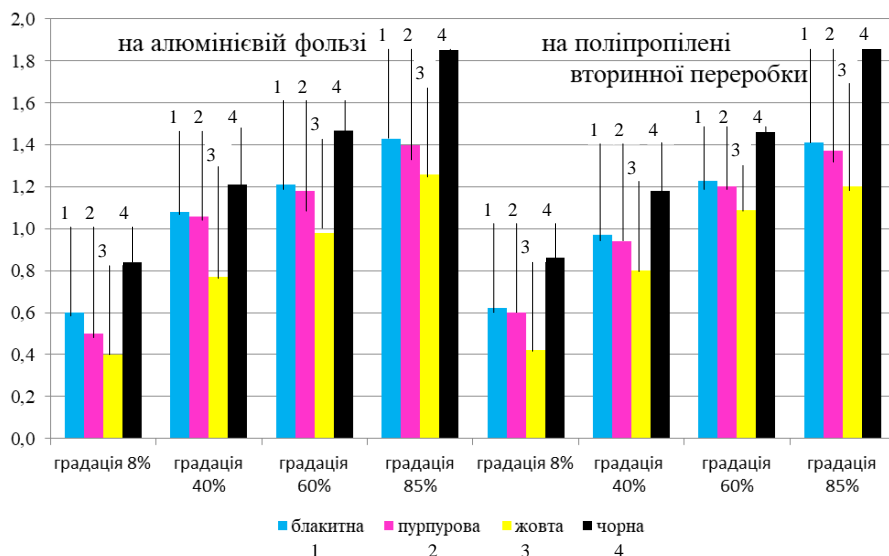


Рис. 3. Оптична щільність відбитків фарб С, М, У, К рецептури № 1

У процесі глибокого друку в зоні друкарського контакту внаслідок високого тиску (близько 1 тони) створюється явище кавітаційного характеру. Створені ультразвуком при виготовленні фарби кавітаційні нанобульбашки (пустоти) погіршують затікання фарби у друкувальні елементи на формах глибокого друку. Проте, на на-

шу думку, наявність ультразвукових кавітаційних нанопустот може сприяти підвищенню коефіцієнта фарбопередачі на полімерні ЗППМ. Доказом цього є одержані результати дослідження оптичних щільностей у світлинах, півтінях і тінях відбитків С, М, У, К водними фарбами ультразвукового диспергування на алюмінієвій фользі і поліпропіленовій плівці з вторинної переробки. Кавітаційні нанобульбашки витискуються з об'єму фарби в кожній із градаційних комірок від центру до стінок перетинок, ударяються об стінки і лопаються, виконуючи при цьому роботу по максимальному відокремленню фарби від стінок перетинок і закріпленні її на відбитку. Отже, маємо майже 100% коефіцієнт фарбоперенесення з друкарської форми на відбиток і відповідну оптичну щільність фарбових шарів (рис. 3).

Висновки. Ультразвукове диспергування пігментів у водних розчинах водорозчинних полімерів є ефективним і в подальшому сприяє якісному кольоровідтворенню на відбитках. На пришвидшення і якість цього способу диспергування суттєво впливає рецептурний склад фарб. Концентрація пігментів 8—12% у воді сприяє мінімальному часу диспергування. За 5 хв досягаємо розмірів кристаліків дисперсної фази 200 нм у 99%. Такій якості диспергування сприяє концентрація середньомолекулярної водорозчинної смоли 10—15%. Високі концентрації пігментів і плівкоутворювачів при диспергуванні у воді суттєво сповільнюють час одержання високодисперсних мікрогетерогенних фарбових систем. Такі системи здатні стабільно утримувати кавітаційні нанопустоти, які погіршують затікання фарби у друкувальні елементи на формах глибокого друку, проте можуть сприяти підвищенню коефіцієнта фарбопередачі на полімерні ЗППМ. Крім цього, однорідна за розмірами високодисперсна фарбова система для глибокого друку, маючи найменший відсотковий вміст пігментів з усіх існуючих поліграфічних фарб, створює на відбитках у відповідних градаціях рівноцінну і навіть вищу оптичну щільність завдяки щільному укладанню високодисперсних кристаліків у закріплених на відбитках фарбових шарах, синтезуючи при цьому високоякісні і відповідні дизайну кольорові тони.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стефанишена, О. Б., Зоренко, О. В. (2020). Сучасні тенденції розвитку глибокого друку. *Технологія і техніка друкарства*, 3(69), 34—42. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(69\).2020.224199](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(69).2020.224199).
2. Хохлова, Р. А. (2021). Відповідь поліграфії трендам розвитку упаковки. *Упаковка*, 2, 37—40.
3. The future of package printing to 2025 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.smithers.com/services/market-reports/printing/the-future-of-packageprinting-to-2025>.
4. Flexible packaging: resiliently bending to challenges. *Packaging Europe*. URL: <https://packagingeurope.com/flexible-packaging-resiliently-bending-to-challenges/3950.article> (date of access: 09.01.2024).
5. Szentgyörgyvölgyi R. 12 — Gravure Printing // *Printing on Polymers* / Editor(s): Joanna Izdebska, Sabu Thomas. William Andrew Publishing, 2016, 199—215.
6. Санітарні норми. Допустима кількість міграції (ДКМ) хімічних речовин, які виділяються з полімерних та інших матеріалів, що контактують з харчовими продуктами. [Чинний від 1986-12-31]. СРСР, 1986. 15 с.
7. ДСТУ EN 13427:2008. Пакування. Вимоги щодо застосування європейських стандартів у сфері пакування та відходів пакування (EN 13427:2004, ІДТ). [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2010. 12 с.
8. Зоренко, О. В., Стефанишева, О. Б., Хохлова, Р. А., Штефан, Є. В. (2021). Трибологічний аналіз системи «друкарська форма глибокого методу друку—відбиток». *Технологія і техніка друкарства*, 1(71), 34—42. DOI: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(71\).2021.224199](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(71).2021.224199).
9. Badgujar, N. P., Bhoge, Y. E., Deshpande, T. D., Bhanvase, B. A., Gogate, P. R., Sonawane, S. H., Kulkarni, R. D. (2015). Ultrasound assisted organic pigment dispersion: advantages of ultrasound method over conventional method. *Pigment & Resin Technology*, 44(4), 214—223.