

УДК 655.3.066.364

Т. Ю. Киричек, Е. В. КоротенкоИздательско-полиграфический институт
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ И БЕСКОНТАКТНОЙ
ПРОФИЛОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОТТИСКОВ
МЕТАЛЛОГРАФСКОЙ ПЕЧАТИ**

Исследованы возможности применения двух различных профилометрических методов для изучения влияния технологических параметров металлографской печати на качество воспроизводимых штрихов путем измерения основных параметров рельефа поверхности образцов. В бесконтактном методе для получения трехмерной цифровой модели поверхности использовали бесконтактный интерференционный 3D-профилометр Micron-alpha. Контактная профилометрия проводилась с применением модуля для измерения фасонных профилей, собраного на основе профилометра модели 296. Результатом исследования стал анализ факторов влияния на толщину красочного слоя в металлографской печати.

Ключевые слова: профилометрия, интерференционная профилометрия, металлографская печать, толщина красочного слоя.

T. Yu. Kirichek, Ye. V. KorotenkoInstitute of Publishing and Printing National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**USAGE OF CONTACT AND NONCONTACT PROFILOMETRICAL
METHODS FOR INVESTIGATION OF INTAGLIO PRINTING SURFACES**

The potentials of two different profilometrical methods for investigation of the influence of intaglio printing process parameters on the quality of strokes reproduced by measuring basic sample topography parameters are studied. In the noncontact profilometrical method for 3D modelling a noncontact 3D interference profilometer Micron-alpha was used. Contact profilometry was carried out with the module for measurement of shaped structures compiled on the basis of mod. 296 profilometer. The result of the study is the analysis of the factors influencing on the thickness of the ink layer for intaglio printing.

Key words: profilometry, interfere profilometry, intaglio printing, ink layer thickness.

Введение. Металлографская печать (интаглиопечать) используется главным образом в защищенной полиграфии и является одним из обязательных методов защиты банкнот во многих странах мира [1, с. 70–71]. Процесс металлографской печати включает этапы: 1) краска вязкостью 0,1–10,0 Па·с при температуре 25°C и скорости сдвига 1000 с⁻¹ [2] с красочного ящика, в котором поддерживается температура 17–21°C, с помощью накатных и раскатных валиков переносится на шаблонные валы; 2) с шаблонных валов, разогретых до температуры примерно 34°C, краска через сборный цилиндр с температурой 36°C передается на формный цилиндр, разогретый до 80–82°C, содержащий одну или более гравированных пластин; 3) избыток краски с пробельных элементов формы удаляется с помощью стирального цилиндра; 4) под действием высокого давления между формным и печатными цилиндрами (линейное давление составляет примерно 1000 кН/м) краска переносится с гравированных штрихов печатной формы на основу (субстрат); 5) происходит закрепление красочного слоя (окислительная полимеризация), зачас-

тую без использования дополнительной сушки [3, с. 173–175]. Характерной особенностью металлографской печати является формирование рельефного изображения, которое воспринимается не только визуально, но и тактильно. Данное свойство обеспечивает идентификацию подлинности ценных бумаг в условиях неконтролируемого общества, в том числе идентификацию номинала банкнот людьми с плохим зрением.

Так как тактильность бумаг передается посредством формирования больших толщин красочного слоя на оттисках, существует необходимость исследования влияния технологических факторов на это процесс. Но из-за того, что металлографская печать используется для печати гравюр и других штриховых элементов с применением заранее приготовленных красок, исключается возможность традиционной оценки толщины слоя краски методом измерения зональной оптической плотности однокрасочных 100% запечатанных полей. Таким образом, существует необходимость разработки методологии измерения толщины слоя краски металлографской печати.

Основная часть. Исследовано девять групп образцов (рис. 1) по 20 шт. каждая, изготовленных по технологии металлографской печати.

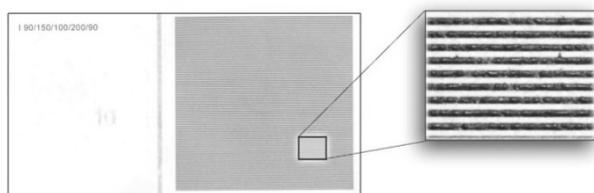


Рис. 1. Внешний вид образца

При печати образцов использована разработанная и изготовленная по технологии прямой лазерной гравировки модельная печатная форма с разными геометрическими параметрами печатных элементов (таблица): различным видом профиля (прямоугольный с углом наклона боковых стенок гравированных штрихов 90° , трапециевидный с углом наклона боковых стенок 60 и 75° , треугольный с углом наклона боковых стенок 53° (рис. 2а)); и разной глубиной ячеек (30 , 60 и 100 мкм (рис. 2б)).

Характеристика исследуемых образцов

Группы образцов	Геометрические параметры печатных элементов печатной формы			Параметры печати	
	ширина, мкм	глубина, мкм	угол наклона боковых стенок	скорость, тыс. отт./ч	давление в печатном контакте
1	150	30	90	8	$P_{\text{ср}}$
2	150	60	90	8	$P_{\text{ср}}$
3	150	100	90	8	$P_{\text{ср}}$
4	150	100	60	8	$P_{\text{ср}}$
5	150	100	75	8	$P_{\text{ср}}$
6	150	100	51	8	$P_{\text{ср}}$
7	150	100	90	8	$P_{\text{мин}}$
8	150	100	90	8	$P_{\text{макс}}$
9	150	100	90	5	$P_{\text{ср}}$

Металлографская печать осуществлена с помощью 4-красочной листовой печатной машины De La Rue Giori S. A. Super-Orlof-Intaglio. Группы образцов отличались параметрами печати — давлением в печатном контакте и скоростью печати. Давление в печатном контакте представлено в относительных оценках (без размерности) и обозначено как минимальное ($P_{\text{мин}}$), среднее ($P_{\text{ср}}$) и максимальное ($P_{\text{макс}}$), поскольку во время металлографской печати регулировалось увеличением / уменьшением расстояния между печатным и формным цилиндром относительно оптимального значения

(обозначено как «среднее»), установленного для печати тиражной продукции. Использована скорость печати 8 тыс. отт./ч и 5 тыс. отт./ч.

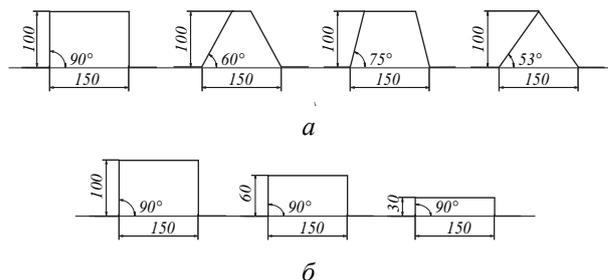


Рис. 2. Поперечное сечение ячеек модельной печатной формы:
а — при исследовании влияния профиля ячеек на качество штрихов;
б — при исследовании влияния глубины ячеек на качество штрихов

Разработанная методология базируется на профилометрическом анализе оттисков с применением двух разных методов — бесконтактного и контактного.

В бесконтактном методе для получения трехмерной цифровой модели поверхности использовали бесконтактный интерференционный 3D-профилометр Micron-alpha [4], основой которого являются оптико-электронный блок и система микрзеркал. Этот метод использует принцип интерференции двух пучков света, которые создают интерференционную картину, что совпадает с разницей их хода. Полученные двумерные изображения позволяют провести трехмерную реконструкцию поверхности благодаря специальному программному обеспечению Micron-alpha V21SN0710 (рис. 3а).

Контактная профилометрия проводилась с помощью модуля для исследования фасонных профилей на основе профилометра модели 296 [5], принцип работы которого основан на скольжении по исследуемой поверхности алмазной головки щупа с малым радиусом закругления и преобразовании возникающих при этом механических колебаний щупа в электрический сигнал, который интерпретируется как профиль поверхности (рис. 3б).

Для изготовления образцов использована двухслойная банкнотная бумага толщиной 108 ± 6 мкм, массой 85 ± 4 г/м², шероховатостью поверхности (по Бендстену) 200–500 мл/мин, гладкостью 15 с и жесткостью (по Таберу) 1,1 г·см.

На основе данных контактной и бесконтактной профилометрии поверхности образцов нами предложена методика определения толщины красочного слоя металлографской печати R^{int} , которая заключается в определении разности между средним арифметическим значением

высот неровностей профиля пиков запечатанных штрихов R_{\max}^{ink} и средним арифметическим значением высот неровностей профиля пробельных элементов R_{\max}^{space} :

$$R^{int} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m (\overline{R}_{\max}^{ink} - \overline{R}_{\max}^{space})}{knm},$$

где i — номер исследуемого образца группы ($i = 1 \dots k$); j — номер зоны контроля на i -том исследуемом образце ($j = 1 \dots n$); l — номер штриха / пробельного элемента в j -той зоне контроля ($l = 1 \dots m$).

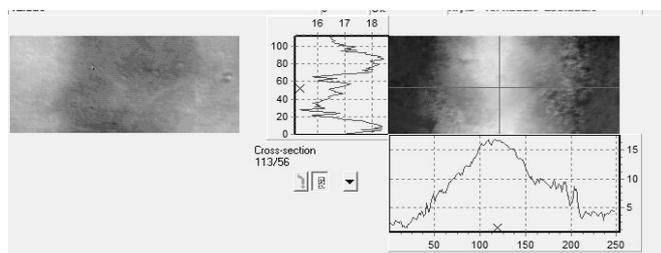
Проведена сравнительная оценка применения бесконтактного и контактного профилометрических методов, определены их основные преимущества и недостатки.

При исследовании метода оптической бесконтактной профилометрии исходное изображение поверхности можно получить путем многократного сканирования поверхности образца, в результате которого получается цифровая модель, содержащая исходные данные для дальнейшего анализа, выполняемого с помощью специального программного обеспечения. Возможность построения отдельного профиля (сечения) штриха из полученного изображения поверхности осуществляется с помощью встроенной функции программного обеспечения, которая позволяет провести воображаемую линию (серию линий), профиль которой подлежит детальному анализу. Трехмерную модель поверхности штрихов можно представить в различных формах: с цветным распределением высот или в серой шкале. Также есть возможность инвертирования полученной модели, когда высоты

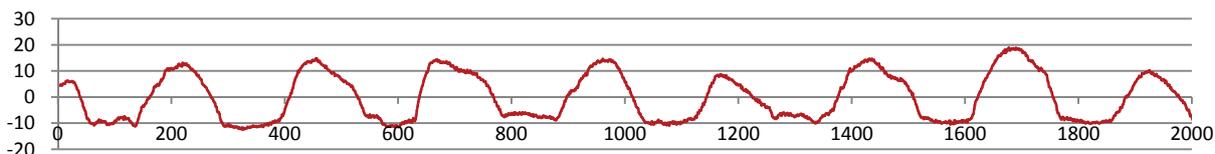
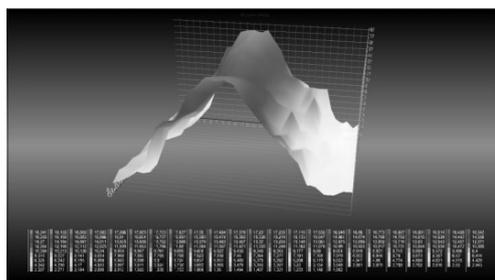
представляются как впадины и наоборот, что, в свою очередь, повышает наглядность результатов. Данный метод позволяет вычислять параметры шероховатости поверхности и геометрические параметры рельефа, зарегистрированные в виде компьютерного изображения.

Недостатком этого метода являются достаточно высокие требования к качеству рассматриваемой поверхности, в частности его ограниченность при анализе затемненных поверхностей из-за тяжести распознавания объектов, находящихся на поверхности. В случае исследования образцов, изготовленных на бумажной основе, возникает проблема прохождения луча сквозь исследуемый объект и невозможность регистрации топографии его поверхности. Также весомым недостатком метода является большое время обработки данных, вызванное малым размером поверхности, которую устройство способно зафиксировать за один цикл.

Метод контактной профилометрии имеет также ограничения, связанные с разрешением метода, ограниченными геометрическими размерами иглы профилографа (радиус закругления 10 мкм). Эти ограничения могут привести к значительным погрешностям в расчетах, особенно при статистической обработке данных измерения. Также существует необходимость перевода секунд, отложенных вдоль оси абсцисс, в миллиметры и кодов, отложенных вдоль оси ординат, в линейные величины с помощью тарифовочных графиков, что увеличивает время обработки полученного результата. К недостаткам этого метода можно также отнести возможность разрушения поверхности образцов иглой профилометра.



а



б

Рис. 3. Профилографирование поверхности исследуемых образцов:
а — бесконтактным интерференционным 3D-профилометр Micron-alpha;
б — контактным игольным профилометром модели 296 № Э-230

Преимуществом метода контактной профилометрии является возможность исследования поверхностей на относительно больших отрезках. Также контактная профилометрия не имеет ограничений по структуре анализируемых поверхностей.

Профилографирование штрихов металлографской печати позволяет оценить рельеф воспроизводимых штрихов, сопоставить его с параметрами гравированных штрихов модельной печатной формы, с использованием которой был осуществлен процесс печати, на основании чего могут быть даны рекомендации по подбору технологических параметров печати.

Результаты исследования показали, что одним из эффективных методов обеспечения необходимой толщины красочного слоя на оттиске при металлографской печати является геометрия гравированных элементов печатной формы, прежде всего, их глубина. На рис. 4 показаны толщины красочного слоя исследуемых образцов, изготовленных с помощью модельной печатной формы с одинаковой шириной 150 мкм и углом наклона боковых стенок гравированных элементов формы (90°), но разной глубиной гравированных штрихов (30, 60 и 100 мкм) при нормальном давлении в печатном контакте и скорости 8 тыс. отт./ч.

Диаграмма, представленная на рис. 4, показывает, что наибольшей высоты, которая равна приблизительно 29 мкм, напечатанные штриховые элементы достигают при использовании печатной формы с наибольшей глубиной гравированных штрихов — 100 мкм.

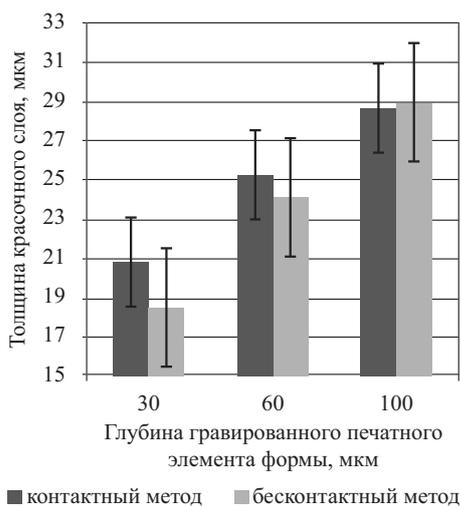


Рис. 4. Толщина слоя краски на оттисках металлографской печати в зависимости от глубины гравированных элементов печатной формы

Видно, что средняя высота штрихов образцов, отпечатанных печатной формой с глуби-

ной гравирования 100 мкм, незначительно превышает среднюю высоту штрихов образцов банкнот, отпечатанных печатной формой с глубиной гравировки 60 мкм — разница составляет около 3 мкм, что может открывать возможности повышения энергоэффективности технологии прямого лазерного гравирования.

Существенная разница между глубиной гравированного элемента формы и толщиной красочного слоя полученного оттиска может быть вызвана двумя причинами: частичным заполнением краской печатных элементов формы или частичным переносом краски с гравированных штрихов формы на запечатываемый материал. Первая причина может быть связана с применением высокой скорости при печати, несоответствующих свойств красок или низкими коэффициентами краскоприема и краскоотдачи. Вторая причина может быть обусловлена несоответствующим давлением в печатном контакте или возникновением капиллярного эффекта внутри ячеек формы. Последнее заключается в том, что при приблизительно равности ширины штрихового элемента формы с его высотой печатный элемент можно рассматривать как капилляр, и чем он больше, тем больше в нем остается краски, и, соответственно, меньше ее переходит на отпечаток. Все это указывает на необходимость четкой корреляции глубины с шириной печатного элемента формы, свойств красок со свойствами печатной формы и подбором скорости печати и давления в печатном контакте.

Коэффициенты краскоприема и краскоотдачи при металлографской печати зависят от угла наклона боковых стенок гравированных штрихов. На рис. 5 представлены толщины красочного слоя оттисков, изготовленных с помощью печатной формы с разным углом наклона боковых стенок гравированных элементов (90° , 75° , 60° и 53°) одинаковой толщины (150 мкм) и глубины (100 мкм) при нормальном давлении в печатном контакте и скорости печати 8 тыс. отт./ч. При угле наклона боковых граней гравированных штрихов печатной формы 90° среднее значение толщины красочного слоя достигает примерно 29 мкм, тогда как при угле 53° данное значение составляет около 21 мкм (рис. 5). Это свидетельствует о том, что увеличение угла наклона боковых граней гравированных штрихов печатной формы приводит к получению больших значений высоты штрихов. Данные зависимости могут быть объяснены направлением действия сил, которые создают боковые грани печатных элементов, на краску в гравированных штрихах печатной формы и запечатываемый материал в момент печатного контакта.

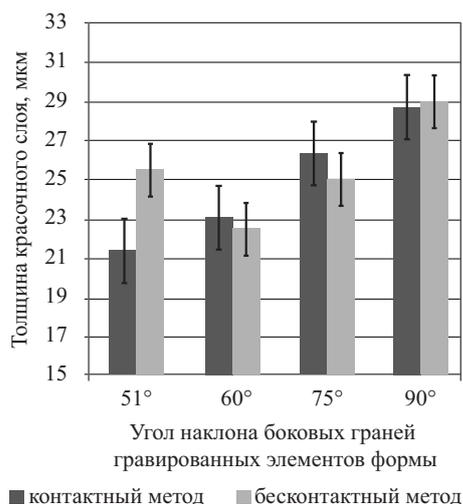


Рис. 5. Толщина красочного слоя на оттисках металлографской печати в зависимости от угла наклона боковых граней гравированных штрихов печатной формы

В ходе исследования наибольших значений толщины красочного слоя на оттисках удалось достигнуть при использовании печатной формы с гравированными элементами прямоугольного профиля шириной 150 мкм, глубиной 100 мкм при скорости 8 тыс. отт./ч при максимальном давлении около 31 мкм (рис. 6).

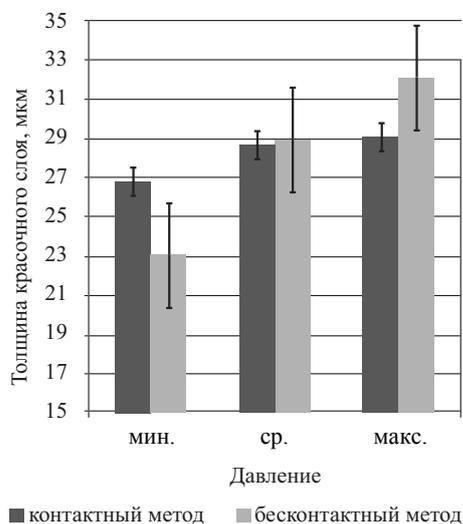


Рис. 6. Толщина красочного слоя на оттисках металлографской печати в зависимости от значения давления в печатном контакте

Таким образом, видно, что увеличение давления между формным и печатным цилиндрами приводит к выглаживанию поверхности запечатываемого материала и большей краскоотдаче печатной формы, тем самым к большей толщине слоя краски. Однако следует обратить внимание, что чрезмерное увеличение давления имеет не-

гативные последствия, такие как тиснение обратной стороны запечатываемого материала и износ печатной формы, что в конечном итоге приводит к снижению качества оттиска.

Важным фактором формирования нужной толщины на оттиске при металлографии является скорость печати. Уменьшение скорости печати и, соответственно, увеличение времени контакта печатной формы с запечатываемым материалом приводит к снижению краскоотдачи печатных элементов формы, тем самым уменьшая толщину красочной пленки на оттисках (рис. 7).

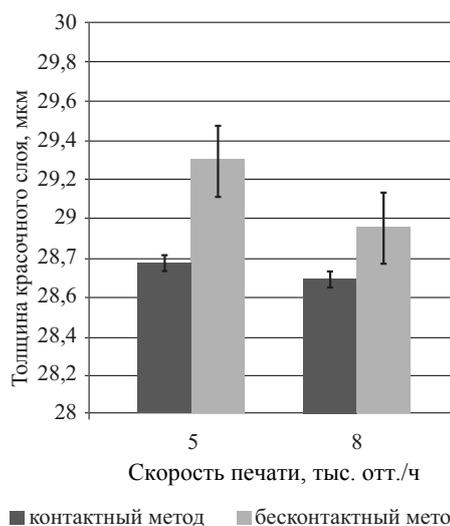


Рис. 7. Толщина красочного слоя на оттисках металлографской печати в зависимости от скорости печати

Закключение. В работе доказана возможность применения как контактной, так и бесконтактной профилометрии при изучении влияния технологических параметров металлографской печати на качество воспроизводимых штрихов. Применение контактного игольного профилометра позволяет получить значения геометрических параметров штрихов, в то время оптический профилометр является более точным в отражении микронеровностей поверхностей образца, а также позволяет автоматически определять параметры шероховатости и отображать 3D-модель исследуемой поверхности.

Исследования показали, что большей толщины красочного слоя можно достичь путем повышения давления в печатном контакте, уменьшением скорости, увеличением угла наклона боковых стенок и глубины гравированных штрихов печатной формы. Последнее требует дополнительных исследований с точки зрения энергоэффективности применяемой технологии.

Основываясь на результатах эксперимента и соответствующих расчетов, можно решить целевую задачу — выбор соответствующих пара-

метров печати с тем, чтобы получать необходимые толщины красочного слоя на оттисках металлографской печати.

Литература

1. Киричок П. О., Коростіль Ю. М., Шевчук А. В. Захист цінних паперів та документів суворого обліку. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 368 с.
2. Pat. US 20160009075, МПК B41F 11/02 20060101 B41F011/02; B42D 25/36 20060101 B42D025/36; B41F 9/00. Intaglio printing / Lefebvre Olivier (Montagny-pres-Yverdon, CH); Degott Pierre (Crissier, CH); Magnin Patrick (Maxilly-sur-Leman, FR); Schaller Christophe (Ollon, CH). 14/771603; заявл. 13.12.2013; опубл. 14.01.2016.
3. Киричок Т. Ю. Зносостійкість банкотної продукції. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. С. 196–198.
4. Интерференционный профилометр для контроля топографии поверхности материалов с нанометровым разрешением / С. Р. Игнатович [и др.]: праці Міжнародної НТК «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування». Київ, 2009. С. 175–179.
5. Майданюк С. В., Плівак О. А., Бекмуратов Р. А. Модуль для вимірювання фасонних профілів // Вісник ЖДТУ. 2007. № 2 (41). С. 1–4.

References

1. Kirichok P. O., Korostil' Yu. M., Shevchuk A. V. *Zakhist tsinnykh paperiv ta dokumentiv suvorogo obliku* [Protection of security paper and strict accounting documents]. Kyiv, NTUU “KPI” Publ., 2008, pp. 70–72.
2. Lefebvre O., Degott P., Magnin P., Schaller C. *Intaglio printing*. Patent US, no. 2016009075, 2016.
3. Kirichok T. Yu. *Znosostiykist' banknotnoy produktsii* [Durability of banknotes]. Kyiv, NTUU “KPI” Publ., 2014, pp. 196–198.
4. Ignatovich S. R., Zakiev I. M., Yutskevich S. S., Zakiev V. I. [The interference profilometer for the control the surface the topography materials with nanometer resolution]. *Pratsi Mizhnarodnoy NTK («Poshkodzhennya materialiv pid chas ekspluatatsii, metody yogo diagnostuvannya i prognosuvannya»)* [Materials of International STK (“Damage of Materials, its Diagnostics and Forecasting”)]. Kyiv, 2009, pp. 175–179 (In Ukraine).
5. Maydanyuk S. V., Plyvak A. A., Bekmuradov R. A. The module for measurement of shaped structures. *Visnik ZhDTU* [Bulletin of the Zhytomir Technical University], 2007, no. 2 (41), pp. 1–4 (In Ukraine).

Информация об авторах

Киричек Татьяна Юрьевна — доктор технических наук, профессор кафедры технологии полиграфического производства. Издательско-полиграфический институт Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (03056, г. Киев, ул. Янгеля, 1/37, Украина). E-mail: t_kyrychok@ukr.net

Коротенко Елена Владимировна — аспирант кафедры технологии полиграфического производства. Издательско-полиграфический институт Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (03056, г. Киев, ул. Янгеля, 1/37, Украина). E-mail: gushcha_olena@ukr.net

Information about the authors

Kirichok Tat'yana Yur'yevna — DSc (Engineering), Professor, the Department of Printing Production Technology. Institute of Publishing and Printing National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (1/37, Yangelya str., 03056, Kiev, Ukraine). E-mail: t_kyrychok@ukr.net

Korotenko Yelena Vladimirovna — PhD student, the Department of Printing Production Technology. Institute of Publishing and Printing National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (1/37, Yangelya str., 03056, Kiev, Ukraine). E-mail: gushcha_olena@ukr.net

Поступила 24.03.2016