

ПОЛИГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 655.531

Медяк Д. М., кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
Маслакова И. А., аспирант (БГТУ); **Кулак И. И.**, кандидат физико-математических наук,
ведущий сотрудник (РУП «Криптотех» Гознака)

ФРАКТАЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БУМАГИ С ВОДЯНЫМИ ЗНАКАМИ

В статье рассмотрено экспериментальное исследование структуры поверхности бумаги с водяными знаками. Для образцов бумаги получены профилограммы поверхности и на их основе рассчитаны фрактальные размерности поверхности защищенной бумаги. Полученные по результатам измерения оптической плотности образцов фрактальные размерности поверхности сопоставлены с соответствующими значениями, рассчитанными на основе профилограмм. Сделан вывод о возможности применения метода исследования на основе теории фракталов для описания структуры поверхности бумаги с водяными знаками. Произведена оценка влияния окрашенных защитных волокон на измерение оптической плотности.

In the article it is considered the experimental research of surface structure of paper with watermarks. Surface profilograms for paper samples are obtained and the fractal dimensions of protected paper surface are calculated on their basis. The fractal dimensions of surface obtained by results of measurement of optical density of samples are compared with similar values calculated on basis of surface profilograms. It is conclude that research method on the basis of the theory of fractals could be applied for description of watermarked paper surface structure. The influence of colored defensive fibers on optical density measurement is estimated.

Введение. На территории Республики Беларусь находится в обращении более тысячи видов различного рода защищенных бланков ценных бумаг и документов, среди которых паспорта, акции, облигации, чековые книжки, удостоверения, акцизные марки и многое другое. Все они изготовлены с разной степенью защищенности и обеспечивают их обладателю различные юридические и финансовые права. В настоящее время все используемые на территории республики бланки документов и ценных бумаг (кроме банкнот) изготавливаются предприятиями республики, имеющими соответствующую лицензию. Общий тираж изготавливаемых защищенных бланков и документов составляет более миллиарда экземпляров и растет из года в год [1].

Наиболее важной и актуальной задачей при производстве бланков ценных бумаг и документов являются их надежная защита от подделки и оперативная техническая идентификация подлинности. Во всех развитых странах практикуется многоступенчатая система защиты с использованием единовременного набора разнообразных кодирующих приемов и материалов (водяных знаков, защитных волокон, защитных полос, специальных люминесцентных красок, голографических изображений) и других способов.

Защита от подделки — это комплекс защитных элементов, вносимых в ценную бумагу при ее изготовлении с целью предотвращения фальсификаций и облегчения диагностики подделок. Защита ценных бумаг от подделок обеспечивается за счет использования особых технологий, определенного сочетания способов и приемов нанесения полиграфического оформления, а также за счет применения специальных материалов.

Технологическая защита представляет собой визуально обнаруживаемые элементы, вносимые в отдельные составные части ценных бумаг в процессе их изготовления за счет использования специальных технологических приемов. Такими элементами являются водяной знак (ВЗ) бумаги, защитные волокна, защитные нити, компонентные составы бумаги и красок, голограммы, кинеграммы и т. п. [1].

Защита бумажного полотна как основы любого полиграфического процесса является на сегодняшний день одной из наиболее совершенных защит от фальсификации продукции. Около 70% надежности защиты полиграфического продукта от фальсификации обеспечивает бумажное полотно. Для фальсификации защищенного бумажного полотна не подходит ни один вид фальсификации, кроме аналогового. Однако аналоговый метод практически недоступен фальсифика-

торам из-за значительных капитальных вложений в производство бумаги [2].

В качестве основы для защищенных документов используют бумагу различных видов, изготовленную по специальной технологии. Виды бумаги различаются по основным технологическим показателям: массе 1 м^2 , толщине, наличию поверхностного покрытия и отделке поверхности, «просветной» структуре или характеру маркировки от сетки и т. п., и содержат, в свою очередь, различные защитные элементы.

При изучении ценных бумаг в проходящем свете с применением лупы на их незапечатанных участках часто определяется сетчатая структура бумаги. Указанная структура является отображением оборудования, применяемого при ее изготовлении. В технической терминологии этот показатель бумаги называется «маркировкой от сетки», так как является отображением рисунка сетки бумагоделательной машины. В бумаге, используемой изготовителями ценных бумаг, определяется маркировка от сеток с разными рисунками и размерными характеристиками [1].

Наличие в составе бумаги для печати бланков ценных бумаг оптических отбеливателей не допускается. Причиной этого является необходимость применения для печати специальных защитных красок, в том числе и с флуоресцентным эффектом, а также введение в саму бумагу флуоресцирующих добавок в виде защитных волокон, нитей и т. д.

В настоящее время практически все бланки ценных бумаг и документов изготавливают на бумаге с ВЗ. В этом качестве они достаточно эффективны, однако требуют навыков в определении подлинности.

ВЗ — это элемент защиты бумаги, определяемый в проходящем свете в виде изображений, образованных за счет локальных различий в оптической плотности бумаги. На месте расположения ВЗ бумага имеет заметную разнотолщинность.

ВЗ получают в процессе отлива бумаги. Его формирование происходит за счет изменения толщины бумажной массы на определенных участках посредством эгутера (полого валика, обтянутого сеткой), помещаемого над полотном бумагоделательной машины. Формирование ВЗ осуществляется следующим образом: ровнитель прокатывается по влажному бумажному полотну и рельефное изображение, имеющееся на сетке эгутера, вдавливаются в бумажную массу, перераспределяя ее волокна. Влажная бумажная масса, находящаяся в пластичном состоянии, легко изменяет свою форму в соответствии с рисунком сетки эгутера. После проклейки и сушки бумажного полотна изменения, произошедшие в бумажной массе, закрепляются, при этом рисунок

ВЗ становится более четким на общем фоне бумажного листа [3].

По позиционированию ВЗ на бумажном полотне и внешнему виду выделяют фоновый регулярный ВЗ и локально позиционированный ВЗ.

Фоновый ВЗ представляет собой рисунок, регулярно расположенный по всей поверхности бумаги. Такой знак имеет небольшой размер и многократно повторяется в пределах рабочей поверхности полиграфических изделий.

Локально позиционированный ВЗ предполагает размещение изображения на бумажном полотне таким образом, чтобы на готовом полиграфическом изделии оно располагалось однократно в строго заданном месте продукции.

Различают три вида ВЗ: однотоновый, двухтоновый и полутонный. Однотоновый ВЗ формируется на эгутере путем выдавливания (или вдавливания) рельефа изображения на металлической сетке эгутера. При применении светлого ВЗ сетка с его рисунком рельефно выступает над поверхностью эгутера. Вдавливаясь в бумажное полотно, сетка с рисунком ВЗ делает бумагу в этих местах более тонкой. На просвет такой рисунок будет более прозрачным, чем остальная бумага.

Во втором случае изображение ВЗ выштамповывается в сетке эгутера. Создается подобие форм глубокой печати. При прокатывании эгутера по бумажному полотну волокнистые компоненты заполняют полости в его сетке, перемещаясь с мест, в которых сетка эгутера сжимает бумажное полотно. После высыхания полотна бумаги в местах, соответствующих вдавленности на эгутере, бумажная масса получается более плотной, и ВЗ выглядят на просвет темнее, чем основной лист [3].

ВЗ распознаются без вспомогательного оборудования и технических средств и легко определяются на уровне обычного потребителя печатной продукции, что позволяет использовать их для изготовления банкнот и других высокозащищенных документов [3].

Помимо ВЗ, для повышения защитных свойств бумаги в процессе отлива вводят специальные защитные волокна. В настоящее время известны десятки различных видов защитных волокон, вводимых в бумажное полотно.

Защитные волокна — это отдельные волокна различной природы и окраски, введенные в бумагу при ее изготовлении дополнительно к основному волокнистому составу. Для этого преимущественно используют шелковые и вискозные волокна толщиной 0,05–0,15 мм и длиной 3–7 мм. Кроме шелковых и вискозных применяют разнообразные полимерные волокна, которые, как правило, имеют значительно большую толщину. Цветовая гамма защитных

волокон разнообразна и практически охватывает весь видимый диапазон спектра.

Значительно повышают уровень защиты бумаги волокна, обработанные специальными веществами (люминофорами), светящимися при освещении ультрафиолетовым излучением. При этом используется возможность получения стабильных спектральных характеристик люминесценции (цвет, интенсивность свечения) в многообразии реализуемых вариантов. Этим, в частности, пользуются при введении в бумагу бесцветных люминесцирующих защитных волокон [1].

Защитные волокна в бумаге определяются визуально или с применением специальных методов, таких как микроскопия и люминесцентные методы. При подделке бланков защитные волокна обычно имитируют надпечаткой полиграфическим способом или вложением окрашенных волокон между склеенными листами подложки, однако такие подделки чаще всего легко определяются.

На сегодняшний день в защищаемых бумагах широко используется несколько видов защитных волокон.

1. Видимые, окрашенные в различные цвета:

а) светящиеся под воздействием УФ света соответствующим видимым цветом, который определяется составом используемого люминофора;

б) люминесцирующие при УФ-облучении.

2. Бесцветные, люминесцирующие при УФ-облучении.

Следует отметить, что визуальное восприятие цвета волокон в дневном свете не зависит от цвета свечения в УФ-излучении.

Защитные волокна переплетены с близлежащими волокнами целлюлозы, что заметно при 6–8-кратном увеличении. При попытке удалить их из бумаги происходит разволокнение расположенных рядом участков бумаги, что хорошо обнаруживается.

В готовом бумажном листе защитные волокна расположены хаотично. В зависимости от вида и формата ценной бумаги выбирается бумага с четырьмя-пятью видами различных защитных волокон. Применение защитных волокон в массе бумаги является достаточно хорошим защитным средством, так как наличие окраски защитных волокон в высокой степени обеспечивает индивидуализацию защитного средства [3].

Однако для качественного изготовления специальных документов помимо защитных свойств бумаги с ВЗ необходимо исследовать и ее технологические, в первую очередь, печатные свойства.

Основная часть. Целью данной работы являлось исследование оптических свойств бумаги с ВЗ и установление возможности применения теории фракталов для описания структуры ее поверхности.

Способ определения неоднородности микроstructures поверхности бумаги с помощью фрактальной размерности поверхности позволяет получать в результате исследования поверхностных свойств бумаги не систему различных показателей, а единый показатель, отражающий характер микроповерхности. Кроме того, фрактальная размерность поверхности позволяет учесть влияние пространственной развитости микропрофиля, что более точно характеризует поверхностно-пространственную структуру бумаги и ее печатные свойства. Использование теории фракталов и показателя фрактальной размерности для описания поверхностных свойств бумаги целесообразно с точки зрения последующего использования в теории печатных процессов [4].

Предварительно были проанализированы профилограммы бумаги с ВЗ, опубликованные в статье [5]. В публикации представлен расчет показателей шероховатости поверхности следующих видов бумаги с ВЗ: Security lune, Filidoro laid avorio, Chimere la hulpe.

Данные профилограммы были обработаны вручную по методике изложенной в работе [4], далее были рассчитаны фрактальные размерности поверхности бумаги для оценки степени различия шероховатости участков с ВЗ и без них. Полученные значения фрактальной размерности поверхности, а также описание образцов представлены в табл. 1.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что метод исследования защищенной бумаги на основе теории фракталов позволяет выявить различие в поверхностной структуре участков с ВЗ и без них.

Дальнейшее экспериментальное исследование проводилось для четырех образцов защищенной ВЗ бумаги, используемой на отечественных предприятиях. Все образцы содержали фоновые одноуровневые ВЗ. Общая характеристика исследуемых образцов приведена в табл. 2.

Таблица 1

Фрактальные размерности поверхности бумаги с ВЗ

№ образца	Название бумаги	Рисунок ВЗ	Лицевая сторона		Сеточная сторона	
			Без ВЗ	ВЗ	Без ВЗ	ВЗ
1	Security lune	Полумесяц	2,243 ± 0,023	2,425 ± 0,037	2,276 ± 0,030	2,415 ± 0,062
2	Filidoro laid avorio	Полоска	2,347 ± 0,024	2,442 ± 0,032	2,395 ± 0,043	2,397 ± 0,072
3	Chimere la hulpe	Химера	2,250 ± 0,026	2,431 ± 0,043	2,340 ± 0,016	2,333 ± 0,045

Таблица 2

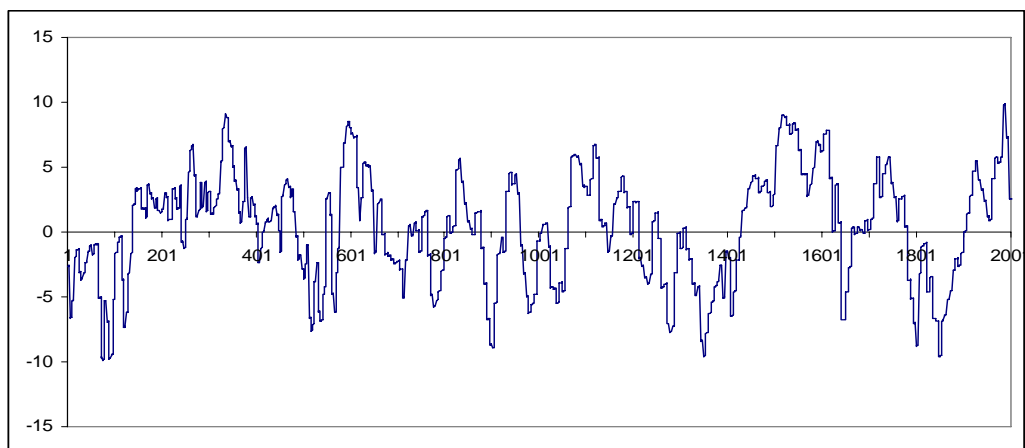
Фрактальные размерности поверхности исследуемых образцов бумаги с ВЗ

№ образца	Рисунок ВЗ	Производитель	Лицевая		Сеточная	
			Без ВЗ	ВЗ	Без ВЗ	ВЗ
4	Снежинка	Фабрика Гознака РФ, г. Санкт-Петербург, РФ	2,310 ± 0,016		2,283 ± 0,022	
5	Ромб	«Бумажная фабрика» Гознака, г. Борисов, РБ	2,372 ± 0,020	2,471 ± 0,019	2,407 ± 0,013	2,363 ± 0,032
6	Шестиугольник	«Бумажная фабрика» Гознака, г. Борисов, РБ	2,339 ± 0,017	2,375 ± 0,024	2,327 ± 0,024	2,377 ± 0,025
7	Узор	«Бумажная фабрика» Гознака, г. Борисов, РБ	2,418 ± 0,016		2,383 ± 0,024	

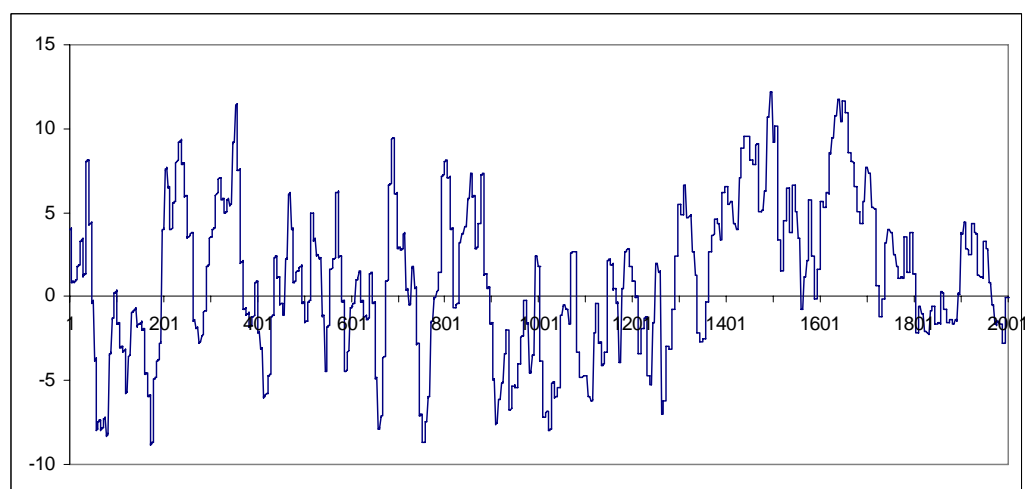
Оценка неровностей поверхности осуществлялась методом профилометрии. Этот метод основывается на контактом ощупывании участка поверхности бумаги тонкой алмазной иглой, что дает возможность получить увеличенное изображение профиля поверхности. Для проведения экспериментального исследования использовался профилометр-профилограф МЕ-10. С помощью профилографа были проведены

исследования поверхностной структуры образцов бумаги на участках с ВЗ и без них. Примеры профилограмм образца бумаги № 5 представлены на рисунке.

Из полученных данных можно сделать вывод, что бумага на участках с ВЗ имеет более развитую структуру, чем на участках без ВЗ, что соответствует предварительно полученным результатам.



a



б

Профилограммы поверхности лицевой стороны образца № 5:
a — участок без ВЗ; б — участок с ВЗ

На основании полученных профилограмм с помощью программы Fractal, составленной в пакете Free Pascal, рассчитаны показатели фрактальной размерности поверхности образцов бумаги с ВЗ с лицевой и сеточной сторон. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Далее проводилось исследование образцов оптическим методом. Для этого с помощью денситометра X-Rite 508 были измерены оптические плотности в отраженном свете образцов № 5 и 6 на участках с ВЗ и без них для всех светофильтров. Поскольку измерение на белой подложке в достаточной степени не учитывает различие оптических плотностей областей с ВЗ и без него, дополнительно замеры проводились и на черной подложке. Результаты измерений представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Оптические плотности зон спектра образца № 5

Светофильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	0,071	0,072	0,096	0,118
Cyan	0,061	0,061	0,091	0,113
Magenta	0,082	0,083	0,101	0,122
Yellow	0,124	0,126	0,130	0,145
Red	0,084	0,085	0,103	0,123
Green	0,058	0,058	0,091	0,113
Blue	0,060	0,060	0,091	0,113
Orange	0,126	0,127	0,119	0,146
Среднее	0,083	0,084	0,103	0,124

По результатам измерений оптических плотностей были рассчитаны коэффициенты отражения образцов бумаги. Затем с использованием программного модуля RazmPov системы оперативного входного контроля полиграфических материалов на основе денситометрии OperTest рассчитаны значения фрактальных размерностей поверхности для каждой зоны спектра, а также их средние значения по спектру для участков с ВЗ и без них, на белой и черной подложках.

Таблица 4

Оптические плотности зон спектра образца № 6

Светофильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	0,061	0,064	0,097	0,118
Cyan	0,051	0,056	0,094	0,116
Magenta	0,070	0,074	0,100	0,121
Yellow	0,108	0,110	0,124	0,138
Red	0,073	0,076	0,102	0,111
Green	0,049	0,053	0,094	0,116
Blue	0,050	0,055	0,094	0,116
Orange	0,109	0,111	0,125	0,139
Среднее	0,071	0,075	0,104	0,122

Полученные в результате расчетов значения фрактальных размерностей поверхности образцов бумаги с ВЗ № 5 и 6 на белой и черной подложках представлены соответственно в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Фрактальные размерности поверхности образца № 5, определенные оптическим способом

Светофильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	2,120	2,124	2,441	2,537
Cyan	2,086	2,088	2,403	2,524
Magenta	2,293	2,322	2,475	2,549
Yellow	2,560	2,564	2,573	2,609
Red	2,341	2,353	2,482	2,554
Green	2,081	2,079	2,403	2,526
Blue	2,085	2,085	2,403	2,526
Orange	2,562	2,565	2,537	2,612
D _{ср.}	2,266	2,273	2,465	2,555

Рассчитанное среднее значение фрактальной размерности поверхности образца № 5 для белой и черной подложек составляет 2,365 для участка без ВЗ и 2,414 для участка с ВЗ, а погрешность относительно фрактальной размерности, определенной контактным методом, составляет 0,3% и 2,3% соответственно. Для образца № 6 — 2,334 и 2,377, а погрешность — 0,2% и 0,1% соответственно.

Таблица 6

Фрактальные размерности поверхности образца № 6, определенные оптическим способом

Светофильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	2,085	2,095	2,447	2,539
Cyan	2,065	2,073	2,431	2,532
Magenta	2,117	2,139	2,468	2,546
Yellow	2,505	2,515	2,557	2,594
Red	2,127	2,169	2,478	2,510
Green	2,066	2,068	2,431	2,532
Blue	2,064	2,072	2,435	2,532
Orange	2,508	2,517	2,559	2,595
D _{ср.}	2,192	2,206	2,476	2,548

Таким образом, можно сделать вывод, что использование метода на основе теории фракталов применимо и для исследования бумаги с ВЗ и позволяет определять параметры структуры поверхности с необходимой точностью оптическим методом.

Однако необходимо учитывать, что в исследуемых образцах бумаги присутствовали защитные волокна — как окрашенные, так и бесцветные. При измерении оптической плотности образцов бумаги окрашенные волокна

могут оказывать влияние на полученные значения, что, в свою очередь, скажется на расчете показателя фрактальной размерности поверхности.

С целью оценки вклада окрашенных волокон в оптическую плотность образцов бумаги с ВЗ измерялась оптическая плотность участков с видимыми защитными волокнами образца № 6 и рассчитывалась фрактальная размерность этих участков. В табл. 7 представлены значения фрактальной размерности областей с окрашенными волокнами.

Таблица 7

**Фрактальные размерности
поверхности образца № 6 с волокнами,
определенные оптическим способом**

Светофильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	2,162	2,210	2,501	2,546
Cyan	2,078	2,080	2,394	2,508
Magenta	2,078	2,081	2,548	2,573
Yellow	2,552	2,559	2,587	2,605
Red	2,444	2,453	2,554	2,580
Green	2,068	2,069	2,374	2,501
Blue	2,072	2,074	2,385	2,505
Orange	2,557	2,560	2,587	2,606
D _{ср.}	2,251	2,261	2,491	2,553

Для сопоставления значений фрактальной размерности образцов с учетом волокон и без учета было рассчитано процентное соотношение фрактальной размерности участков с волокнами относительно участков без волокон. Полученные значения представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Процентный вклад учета волокон
во фрактальную размерность образца № 6**

Свето-фильтр	Белая подложка		Черная подложка	
	Без ВЗ	С ВЗ	Без ВЗ	С ВЗ
Visual	3,7	5,5	2,2	0,3
Cyan	0,6	0,3	1,5	0,9
Magenta	1,8	2,7	3,2	1,1
Yellow	1,9	1,7	1,2	0,4
Red	14,9	13,1	3,1	2,8
Green	0,1	0,1	2,3	1,2
Blue	0,4	0,1	2,1	1,1
Orange	2,0	1,7	1,1	0,4
D _{ср.}	2,7	2,5	0,6	0,2

Из анализа полученных данных можно сделать заключение о значительном вкладе крас-

ной зоны спектра (порядка 15% прироста) в общую оптическую плотность бумаги с ВЗ и защитными волокнами. Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что при изучении бумаги с защитными волокнами оптическим методом следует избегать участков с окрашенными волокнами.

Заключение. В результате проведения экспериментального исследования структуры поверхности бумаги с ВЗ и обработки данных получены профилограммы поверхности и на их основе рассчитаны фрактальные размерности поверхности защищенной бумаги. Полученные по результатам измерения оптической плотности образцов фрактальные размерности поверхности сопоставлены с соответствующими значениями, рассчитанными на основе контактного метода. Сделан вывод о возможности применения метода исследования на основе теории фракталов для описания структуры поверхности бумаги с ВЗ как контактным, так и оптическим методом. Однако при использовании оптического метода необходимо учитывать наличие окрашенных защитных волокон в бумаге и их влияние на оптическую плотность бумаги и конечный результат.

Литература

1. Корочкин, Л. С. Материалы и методы защиты специальных бумаг и документов от подделки / Л. С. Корочкин. — Минск: НТУП «Криптотех», 2001. — 264 с.
2. Коншин, А. А. Защита полиграфической продукции от фальсификации / А. А. Коншин. — М.: ООО «Синус», 1999. — 160 с.
3. Корочкин, Л. С. Способы защиты и идентификации ценных бумаг / Л. С. Корочкин. — Минск: НТУП «Криптотех», 2003. — 114 с.
4. Кулак, М. И. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы / М. И. Кулак, С. А. Ничипорович, Д. М. Медяк. — Минск: Белорусская наука, 2007. — 419 с.
5. Киричок, Т. Ю. Мікрогеометрія поверхні паперу з водяними знаками / Т. Ю. Киричок, Т. Е. Клименко, Н. Л. Малкуш // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. праць / Видавничо-поліграфічний інститут. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; гл. ред. П. О. Киричок. — Київ: Преса України, 2009. — Вып. 4 (26). — С. 130–137.

Поступила 01.04.2011