

Palto Viktor Sergeevich, software engineer, PaltoVS@yandex.ru, Russia, Moscow, JSC "System dynamics",

Kabanov Sergej Mihajlovich, chief engineer-mathematician, smka-banov@inbox.ru, Russia, Moscow, JSC "System dynamics",

Fridlender Grigorij Vladimirovich, engineer-mathematician, fridlender.g.v@gmail.com, Russia, Moscow, JSC "System dynamics"

УДК 336.74

ПРОИЗВОДСТВО БАНКНОТ

Я.Р. Голубничая, В.А. Селищев

Представлена информация о банкнотном производстве, технологии получения банкнотной бумаги. Рассмотрены возможности применения полимерных материалов и гибридных субстратов для повышения долговечности банкнотной подложки.

Ключевые слова: банкнотная бумага, бумагоделательная машина, способы печати, полимерные деньги, гибридные субстраты.

Деньги, в том числе золотые и серебряные монеты, известны с древних времен. Бумажные деньги появились гораздо позже, в Китае, во время правления династии Юань (1271 – 1368 гг.). Известно, что в 1396 г. примеру китайцев последовали вьетнамцы, а в Европе бумажные деньги появились лишь в XVII столетии. Иногда в силу специфических местных условий или чрезвычайных обстоятельств денежные знаки печатались на коже, ткани, дереве, картоне или других материалах, но основой для изготовления банкнот является бумага.

Производство банкнот стало массовым на рубеже XVIII – XIX вв. Сначала бумага отливалась вручную на специальных станках, основной деталью которых были ручные черпальные формы с сетчатым дном. Первую бумагоделательную машину с непрерывным циклом работы («само-черпалку») изобрел механик Л.-Н. Робер в 1798 г. во Франции [1]. Производительность машины была около 100 кг бумаги в сутки, бумажное полотно могло быть длиной до 15 м. В 1800 г. Л.-Н. Робер построил машину, производящую в день 80 листов бумаги, около 6 м каждый лист (рис. 1).

В России производством бумажных денег занимается Гознак – Федеральное государственное унитарное предприятие при Министерстве финансов России. Гознак имеет восемь филиалов – производственные предприятия (Московский и Санкт-Петербургский монетные дворы, Санкт-Петербургская и Краснокамская бумажные фабрики, Московская

и Пермская печатные фабрики, Московская типография) и один научно-исследовательский институт (НИИ Гознака) [2]. Гознак входит в число ведущих мировых поставщиков банкнотной бумаги и банкнот – его заказчиками являются более 20 стран Азии, Африки и Европы, стран СНГ. В 2014 году Гознаком на экспорт было поставлено более 3 400 т банкнотной бумаги и более 1,1 млрд готовых банкнот.

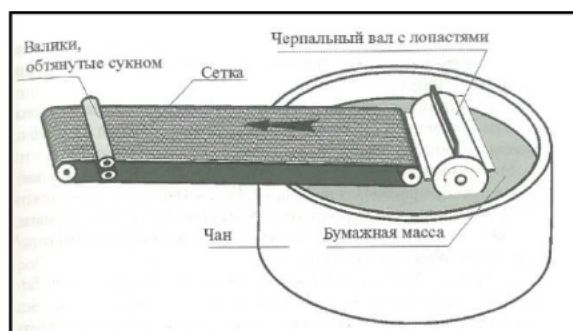


Рис. 1. Вид бумагоделательной машины Л.-Н. Робера

Всего в мире ежегодно производится приблизительно 170 млрд банкнот. Оборот данной отрасли производства приближается к 10 млрд долларов в год. Рост производства составляет в среднем 5 % в год [3].

Изготовлением бумажных денег в мире занимаются несколько сотен предприятий. Непосредственно печать банкнот осуществляют около 60 компаний, большая часть которых (25) находится в Европе, 18 компаний – в Азии и 11 – в Америке. В Африке всего 7 стран имеют свое банкнотное производство. Как правило, все это государственные компании за исключением нескольких, которые получают заказы на изготовление банкнот на открытом рынке [3].

Производителей субстратов (в первую очередь банкнотной бумаги) в мире всего 25, и больше половины их находится в Европе. Только 14 компаний имеют собственное печатное и бумажное производство, т.е. охватывают большей частью производственного цикла банкноты [3]. Европейские компании производят 100 000 т защищенной бумаги в год для нескольких мировых валют, потребность Евросистемы в бумаге составляет от 6 000 до 11 000 т в год. Десять производителей аккредитованы Европейским центральным банком с целью производства бумаги для банкнот евро [11].

В отрасли заняты также около сотни поставщиков красок, пленок, голограмм, пигментов, защитных решений или признаков. Еще два десятка компаний проектируют и изготавливают необходимое оборудование для производства банкнот.

Для изготовления банкнот необходимо технологическое разнообразие, использование достижений различных отраслей (химии, оптики, материаловедения, приборостроения и пр.) для защиты от подделок. Производ-

ство бумажных денег можно разбить на несколько этапов: разработка дизайна, отлив специальной бумаги, разработка и изготовление специальных красок, способы нанесения изображений на банкноту, внедрение дополнительных элементов защиты от подделки.

Многосложный производственный цикл изготовления денег начинается с производства банкнотной бумаги. Особые требования к денежной бумаге – износоустойчивость, сопротивление излому и разрыву. Если обычная печатная бумага выдерживает лишь до 20 двойных перегибов, то денежная – до нескольких тысяч!

При отливе банкнотной бумаги в нее внедряются различные защитные признаки – от водяных знаков и волокон, видимых при освещении ультрафиолетовыми лучами, до полимерных вставок, нитей и химических реактивов, обнаруживаемых только специальными детекторами.

Первоначально в составе денежной бумаги использовалась пенька, в наше время вместо нее применяется хлопковое (основной материал) или льняное (в виде добавки) волокно, целлюлоза хвойных пород.

В начале исходный волокнистый материал очищается (удаляются вещества, препятствующих листообразованию), варится и отбеливается. Операция проводится в автоклавах под давлением, при высокой температуре в присутствии химических реагентов. Полученное сырье измельчается в водной среде и перетирается до получения однородной массы (рис. 2). В эту массу добавляются проклеивающие вещества, придающие бумаге механическую прочность и влагостойкость; наполнители, обеспечивающие высокое сцепление краски с бумагой; отбеливатели для придания бумаге белизны и исключения флуоресценции; а также защитные волокна и красители. В качестве клея выступают крахмал, меламинаформальдегидная смола и другие вещества. Прочность зависит также от степени размола волокна – фибрилляции.



Рис. 2. Размол сырья для производства бумаги

Из подготовленной бумажной массы формируется бумажное полотно, которое обезвоживается, прессуется, сушится и пропитывается проклеивающими веществами. Отлив бумаги осуществляется на бумагоделательной машине – круглосеточной или плоскосеточной (рис. 3) [4]. На

круглосеточной (цилиндровой) машине бумажное полотно формируется на цилиндрах, обтянутых сеткой и находящихся в емкости с бумажной массой. В плоскосеточной (столовой) машине изготавливается большая часть обычной бумаги, но для производства банкнотной эта технология была усовершенствована. Это позволило использовать длинные волокна, которые повышают прочность банкнотной подложки и способствуют удлинению срока обращения купюр (по сравнению с банкнотами, изготовленными на основе субстрата из коротких волокон на круглосеточных машинах).

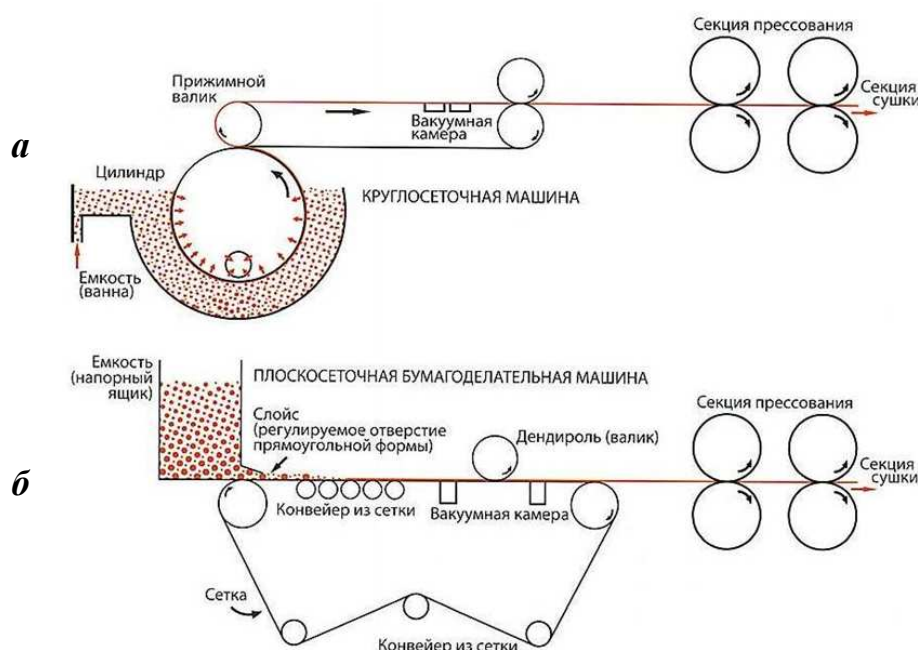


Рис. 3. Схемы формирования бумажного полотна:
а – на круглосеточной машине; б – на плоскосеточной машине

Бумага должна иметь большой запас прочности еще и потому, что печать влияет на механическую прочность волокон не лучшим образом. Кроме того, для получения оттисков высокого качества денежная бумага должна иметь определенную степень белизны, непрозрачности и гладкости. Благодаря натуральному составу банкнотная бумага устойчива к воздействию света и долго не «стареет». Полученное бумажное полотно сматывается в рулон, а затем разрезается на листы нужного формата.

Процесс полиграфического производства включает в себя следующие основные этапы:

- фотографический (фотопроцессы, сканирование, цветоделение);
- фотомеханический (изготовление печатной формы);
- получение оттисков с печатных форм (печать);
- отделочный процесс (разрезка, контроль, пересчет, упаковка).

Для печати банкнот используются краски из смеси прочных пигментов и лаков, обладающие повышенной прочностью. Затраты на покупку краски при изготовлении купюр в среднем составляют около 60 % от всех затрат на покупку компонентов и производство банкнот. При печати банкнот также используют специальные флуоресцентные краски, способные светиться в ультрафиолетовом (УФ) излучении. В видимом спектре такие краски могут иметь цвет, но могут быть бесцветными. Используются также краски, обладающие магнитными свойствами (с использованием ферромагнитных добавок), и краски, обнаруживаемые в инфракрасной области спектра. Защитным средством от подделок банкнот служат оптически изменяющиеся (ОВИ – *Optically Variable Ink*) и металлизированные краски (изменяют степень блеска при изменении угла зрения).

При изготовлении бумажных денег используются несколько различных способов печати: офсетный, металлографский (глубокий), типографский (высокий) и трафаретный (шелкография) [4, 5]. В офсетной печати различают плоскую офсетную печать (с увлажнением) и типоофсетную. Разновидностями плоской печати, применяемыми при производстве банкнот, являются орловская печать и ирисовый раскат [5, 6]. Орловская печать была разработана российским изобретателем И.И. Орловым в 1890 году и представляет собой многокрасочную однопрогонную печать, позволяющую достигать на изображении точного совмещения красок разных цветов в неразрывных линиях. Граница перехода является четкой, современное оборудование позволяет получить многокрасочные штриховые изображения с резкими красочными границами без разрывов, смещений и наложений.

При ирисовом раскате в элементах получаемых изображений присутствует плавный переход одного цвета в другой, четкая граница перехода отсутствует.

Офсетным способом печатается фоновое изображение банкнот – на бумагу одновременно с двух сторон наносится точно совпадающие на просвет офсетные рисунки. Краска высыхает двое – трое суток, после чего в цехе металлографской печати на листы наносится трехмерный рисунок – на оборотную сторону купюр, а через несколько дней – на лицевую. Металлографская печать – самый высокозащищенный способ печати, который позволяет получать широкий спектр визуальных защитных признаков [7]. Затем с помощью уникального лазерного оборудования в купюрах прошиваются мельчайшие отверстия (микроперфорация), которые образуют на бумаге цифру, соответствующую номиналу банкноты. Банкноты проходят через цех трафаретной печати для нанесения защитных элементов с применением оптически переменных красок (иридисцентных, ОВИ). Трафаретная печать осуществляется при помощи трафарета (как правило, натянутой на рамку мелкоячеистой шелковой или полимерной сетки). Способом высокой печати печатаются серийные номера банкнот.

Контроль на всех участках производства непрерывный – его постоянно осуществляют машины и люди. В заключение банкнотные листы перевозят на резку, сортировку и упаковку. Полный производственный цикл изготовления банкноты занимает приблизительно месяц.

Стоимость организации обращения банкнот зависит от срока их «жизни» – только затраты на уничтожение бумажных денег достигают 20 % всех расходов по их выпуску. Традиционные бумажные деньги быстро изнашиваются, а также загрязняются – особенно остро эта проблема стоит в странах с влажным климатом и неблагоприятной инфекционной обстановкой. Производители постоянно работают над тем, чтобы сделать банкноты более долговечными и безопасными. Например, французская компания Arjowiggins Security разработала антибактериальный банкнотный субстрат *Bioguard*[®], который останавливает развитие вредных микроорганизмов на купюрах и даже уничтожает их.

Помимо бумаги из хлопкового волокна, субстратами для печати банкнот также могут быть долговечная бумага, полимер (пластиковый субстрат) или гибридный субстрат (комбинация бумажного и полимерного субстрата).

В качестве защиты бумаги от факторов внешней среды используются различные покрытия – чаще всего разновидности прозрачного лака, наносимого тонким слоем непосредственно на бумажный субстрат или готовый отпечатанный продукт. Банкнотная бумага с таким защитным покрытием стала выпускаться с конца 1990-х годов и получила название Durable Banknote Paper (долговечная банкнотная бумага), так как использование такого покрытия увеличивает время обращения купюр. Такая бумага представлена на рынке под несколькими марками: *LongLife*[®] (Louisenthal, Германия), *Platinum*[®] (Portals, Великобритания), *Marathon Coated*[®] (Crane, США) [1].

Компания Crane Currency разработала технологию изготовления бумаги повышенной прочности *Endurance*[®], которая включает в себя 4 компонента: прочные волокна, из которых готовится бумага, грязеотталкивающая обработка, которая пропитывает как саму бумагу, так и внешние покрытия, металлографская печать, которая связывает красочный слой с бумажными волокнами, и лаковое покрытие, которое связывает все внешние слои с бумажным слоем.

Компания Papierfabrik Louisenthal (подразделение Giesecke & Devrient) выпускает бумагу *Synthec*[®], состоящую из 80 % хлопковых и 20 % синтетических волокон. Синтетические волокна и защитный слой *LongLife*[®] обеспечивают оптимальную комбинацию прочности, жесткости и устойчивости к загрязнению (рис. 4, а). Компания Arjowiggins Security разработала банкнотную бумагу *Diamone*[®], срок жизни которой, полагают в компании, в 3 раза длиннее обычной (рис. 4, б) [1].

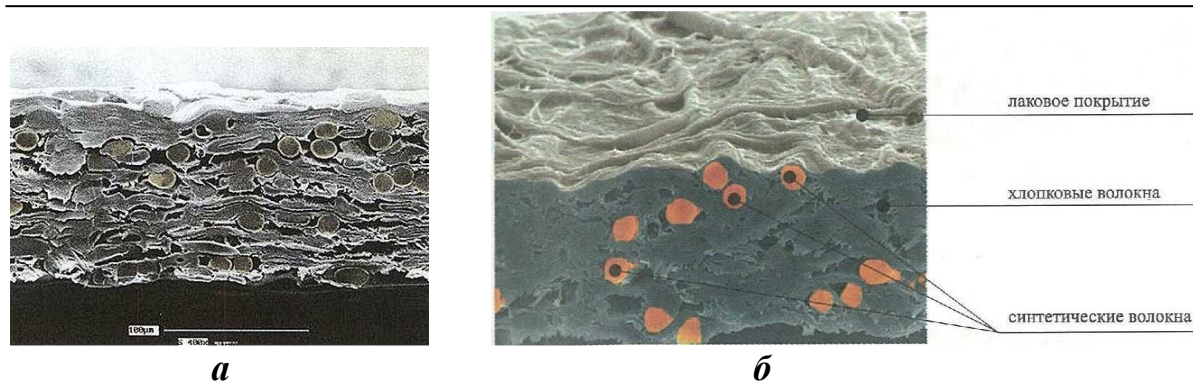


Рис. 4. Вид среза композитной бумаги под микроскопом:
а – Synthec®; б – Diamone® Composite

Бумагу для долларов США отливают с применением длинных волокон, а в качестве дополнительного упрочнения наряду с натуральными волокнами используются и синтетические (до Первой мировой войны использовались шелковые нити).

Кардинальным решением проблемы долговечности банкнотной подложки является применение полимерных материалов – их преимущества по сравнению с бумагой состоят в большей механической прочности и устойчивости к воздействиям внешней среды (температуре, влажности, различным химическим агентам и т.п.). По сравнению с бумагой пластик лучше сцепляется с различными ламинатами, на нем можно использовать некоторые дополнительные технологии защиты, которые невозможны на бумажной основе. Полимерная подложка банкнот – это прозрачная пленка толщиной около 0,1 мм, покрытая с обеих сторон белой краской.

Первые полимерные банкноты были напечатаны компанией American Banknote Company на полимерном материале *Tyvek®*, разработанном американской компанией DuPont в 1982-1983 гг. для Коста-Рики, Гаити и острова Мэн. Субстрат *Tyvek®* фактически копировал волокнистую структуру бумаги. Тестовые выпуски полимерных банкнот были сделаны для Венесуэлы, Гондураса, Эквадора и Эль-Сальвадора. Однако банкноты не выдержали испытаний тропического климата: краска отслаивалась от субстрата, банкноты приобретали неприятный запах.

В 1988 году в Австралии были выпущены в обращение полимерные банкноты на новом многослойном субстрате *Guardian®* от австралийской компании Securency (Innovia Security). Технология *Guardian®* применяет полимер двуосной ориентации (biaxially-oriented polypropylene, BOPP), для чего из полипропиленовой трубки выдуваются пузыри с малой толщиной пленки (рис. 5) [8]. Сегодня большинство полимерных банкнот в мире выпускается на субстрате *Guardian®*.

В 2013 году британская компания De La Rue запустила полимерную основу *Safeguard®*, на которой с тех пор произведено более 60 миллионов полимерных банкнот.

Весь банкнотный ряд представлен банкнотами на полимерной основе в Австралии, Брунее, Вануату, Вьетнаме, Канаде, Новой Зеландии, Папуа-Новой Гвинее, Румынии, на Мальдивах. В некоторых государствах часть банкнотного ряда представлена пластиковыми банкнотами (Бангладеш, Гватемала, Гондурас, Гонконг, Доминиканская Республика, Израиль, Индонезия, Кабо-Верде Коста-Рика, Маврикий, Мавритания, Малайзия, Мексика, Мозамбик, Остров Мэн, Нигерия, Никарагуа, Парагвай, Сингапур, Тайланд, Тринидад и Тобаго, Фиджи, Чили). Из пластика выпускались только памятные банкноты в Бразилии, Гамбии, Гибралтаре, Китае, Ливане, Непале, Польше, Самоа, Северной Ирландии, Тайване, Шотландии, Шри-Ланке и на Соломоновых островах [9].

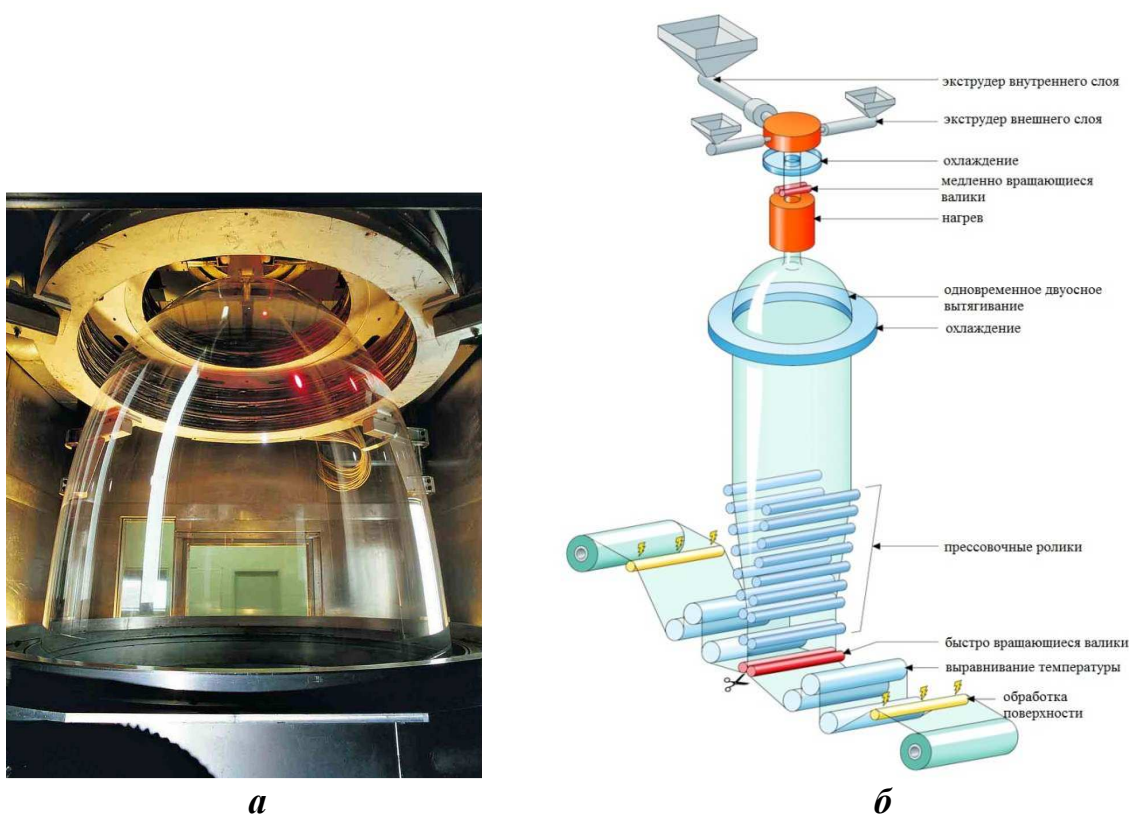


Рис. 5. Создание ВОРР:

а – начальная стадия формирования пузыря; б – схема процесса

Попытка соединить достоинства бумаги и пластика в одном материале привела к созданию гибридных субстратов – комбинации бумажного и полимерного субстрата. У этого типа есть слоистая структура, объединяющая слои различных материалов.

В 2008 году компания Louisenthal представила гибридный субстрат *Hybrid*[®], который представляет собой бумажный лист, покрытый с обеих сторон тонкой пленкой (толщиной около 6 мкм) полиэстера (рис. 6) [1]. Данный субстрат прочнее бумаги, но позволяет применять все защитные

технологические приемы, использующиеся при производстве банкнот на бумажной основе, а также обладает высокой устойчивостью к загрязнению (превосходит наиболее распространенные сорта банкнотной бумаги в 10 раз).

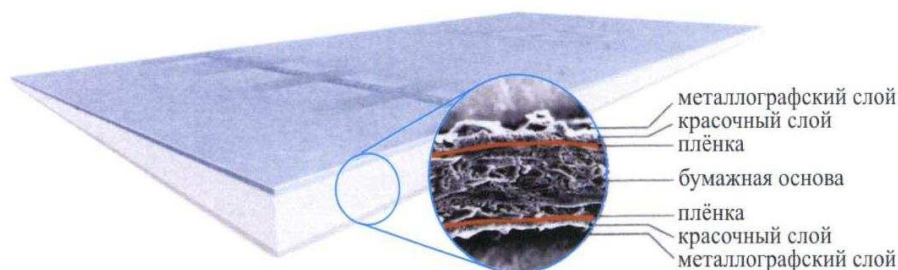


Рис. 6. Структура субстрата Hybrid®

Итальянская компания Fabriano разработала композитный трехслойный материал *Fusion*®. Как и *Hybrid*®, *Fusion*®, представляющий собой многослойный субстрат, основу которого составляет бумажный слой, расположенный между двумя слоями полимера. На поверхность полимерного материала до начала процесса печати наносится специальное покрытие.

Швейцарская фирма Landqart применила другое сочетание полимера и бумаги – полимерная пленка толщиной 40 мкм помещена между двумя листами бумаги и прессуется под давлением, без применения клеящих веществ. Использование полимерной пленки позволило существенно увеличить механическую прочность этого гибридного субстрата. Кроме того, технология *Durasafe*® позволяет использовать защитные признаки, которые невозможно реализовать ни на бумажном, ни на полимерном субстрате. В 2015 году компания представила новый субстрат *Durafort*®, сочетающий 100 %-ную хлопковую бумагу с долговечной полимерной основой.

В некоторых странах гибридными банкнотами представлен весь банкнотный ряд (Бермудские острова) или его часть (Гибралтар, еврозона, Ирак, Исландия, Казахстан, Катар, Монголия, Оман, Объединенные Арабские Эмираты, Самоа, Свазиленд, Соломоновы острова, Таджикистан, Тонга, Фиджи, Ямайка), в некоторых на гибридном субстрате выпускались только памятные банкноты (Болгария, Марокко, Папуа-Новая Гвинея, Россия) [10].

Крупнейшие европейские производители банкнотных субстратов приведены в таблице.

Для локального увеличения механической прочности наиболее уязвимых участков банкнот (угловых и боковых кромок) делаются попытки использовать водяной знак. Компания *Portals* (бумагоделательное подразделение *De La Rue*) запатентовала технологию *Cornerstone*® – нанесение водяных знаков в виде нескольких параллельных линий в углах банкнот,

которые наиболее подвержены износу в процессе обращения. Для увеличения прочности боковых кромок применяется *Edgetone*[®] – нанесение нескольких линий водяных знаков вдоль длинных сторон банкноты [1].

Таким образом, проблему быстрого износа банкнот производители защищенной бумаги пытаются решать различными способами. Поскольку стоимость банкноты на 65...80 % зависит от цены субстрата и используемых защитных решений, основными тенденциями в производстве банкнот являются усиление их защиты и повышение долговечности за счет усовершенствования субстрата. Все шире в банкнотном производстве применяются гибридные субстраты, используются полимеры.

Крупнейшие производители банкнотных субстратов в Европе

Субстрат / валюта	Производители					
	Louisenthal	Crane	Fedrigoni	Гознак	Landqart	De la Rue
Стандартная бумага	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Долговечная бумага	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Гибридный субстрат	Да	-	Да	Да	Да	-
Полимер	-	-	-	-	-	Да
Евро	Да	Да	Да	-	Да	Да
Другая	-	Более 30	25	15	Более 30	Более 80

Хотя пластиковые деньги превосходят бумажные в стойкости к повреждениям и сроке службы, они значительно дороже в производстве, требуют специальных печатных технологий, а также быстрее выводят из строя счетно-сортировальное оборудование. Многие специалисты считают, что применение бумажной подложки является менее дорогим и не менее эффективным путем защиты банкнот, позволяет использовать большее количество защитных признаков [6].

Центральные банки многих стран серьезно взвешивают все «плюсы» и «минусы» в отношении применения пластиковых банкнот. В некоторых случаях после использования пластиковых денег происходит возврат к бумажным банкнотам. Ведущие мировые державы продолжают использовать бумажные деньги, но изготовленные с помощью материалов и технологий, значительно изменяющих свойства бумаги.

Список литературы

1. Маресин В.М. Защищенная полиграфия: справочник. М.: Флинта; МГУП им. И. Федорова, 2012. 640 с.

2. Гознак // Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 26.02.2016).

3. Трачук А.В., Корнилов Г.В. Динамика процессов внедрения инноваций в области производства банкнот // Деньги и кредит. 2013. № 9. С. 3-9.

4. Банкнотная индустрия: современные технологии и рекомендации: справочное пособие / Международная валютная ассоциация (International Association Of Currency Affairs – IACA). М.: ИнтерКрим-пресс, 2011. 80 с.

5. Авдошин В.В. Определение подлинности и платежеспособности денежных знаков: методическое пособие / отв. редактор И. М. Жилкин. М.: ИнтерКрим-пресс, 220. 104 с.

6. Ионов В.М. Внимание, деньги! PRO Intellect Technology, 2008. 60 с.

7. Головачев В. Так делают деньги // Труд. 2006. 7 апреля.

8. Субстрат Guardian // Innovia Security [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: www.innoviasecurity.com/guardian-facts-and-figures (дата обращения 07.03.2016).

9. Полимерные деньги // Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полимерные_деньги (дата обращения 06.03.2016).

10. Гибридные банкноты // Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гибридные_банкноты (дата обращения 07.03.2016).

11. Производители банкнотного субстрата в Европе // ГОЗНАК [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://goznak.ru/about/press/press/9876> (дата обращения 07.03.2016).

Голубничая Яна Романовна, студентка, yana_tula@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Селищев Валерий Анатольевич, канд. техн. наук, доц., sel648val@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

MANUFACTURING OF BANKNOTES

Y.R. Golubnichaya, V.A. Selishchev

The article provides information on banknote and banknote paper manufacturing. The possibilities of polymer and hybrid substrates application for purpose of improving banknote durability are considered.

Key words: banknote paper, paper machine, printing methods, durable banknote paper, polymer banknotes (notes), hybrid substrates.

Golubnichaya Yana Romanovna, student, yana_tula@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Selishchev Valery Anatolievich, candidate of technical sciences, docent, sel648val@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University