УДК 676.2.05:655.3
DOI 10.47367/0021-3497_2026_3_ 325

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЦИФРОВОЙ ПЕЧАТИ НА БУМАГЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СТЕБЛЕЙ СОИ

# STUDY OF DIGITAL PRINTING QUALITY ON PAPER WITH THE ADDED SOYBEAN STALK CELLULOSE

*Н.Х. ТУРСУНБАЕВА, З.К. ГАЛИМОВА, Х.А. БАБАХАНОВА, Н.Х. АТАХАНОВА, Б.Ю. БАЛТАБАЕВА*

*N.X. TURSUNBAEVA, Z.K. GALIMOVA, KH.A. BABAKHANOVA, N.X. ATAKHANOVA, B.Y. BALTABAEVA*

**(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)**

**(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)**

E-mail: z.galimova8282@mail.ru

***В статье представлены результаты исследования физико-механических и печатных свойств бумаг, изготовленных с различным процентным соотношением целлюлозы из хлопкового линта и целлюлозы из стеблей сои. Проведена оценка прочностных показателей, белизны и разрывной длины образцов, а также анализ качества воспроизведения цифровой печати с использованием тест-объектов, включающих текстовые элементы, штриховые структуры, кольцевые и радиальные миры, а также градационную шкалу серого. Установлено, что увеличение доли соевой целлюлозы сопровождается снижением прочностных характеристик, однако исследуемые образцы соответствуют нормативным требованиям к бумаге для печати. Для исследования качества печати создана тест-шкала. Печать осуществляли на цифровом печатном устройстве Konica Minolta модели C4065. Анализ тест-объектов показал удовлетворительное качество воспроизведения текстовой и графической информации при сохранении читаемости мелких элементов до 7…8 пт. Выявлены незначительные отклонения в передаче серых градаций, обусловленные изменением площади растровых точек и особенностями взаимодействия тонера с поверхностью бумаги. Полученные результаты подтверждают возможность использования бумаг с добавлением целлюлозы из стеблей сои в цифровой печати при условии оптимального подбора состава и параметров печати.***

***The article presents the results of a study of the physical, mechanical and printing properties of papers made with different percentages of cellulose from cotton linters and cellulose from soybean stalks. An assessment of the strength***

***properties, whiteness and breaking length of the samples was carried out, as well as an analysis of the quality of reproduction of digital printing using test objects, including text elements, line structures, ring and radial worlds, as well as a gray scale. It has been established that an increase in the proportion of soy cellulose is accompanied by a decrease in strength characteristics, however, the studied samples meet the regulatory requirements for printing paper. A test scale has been created to study print quality. Printing was carried out on a Konica Minolta model C4065 digital printing device. Analysis of test objects showed satisfactory quality of reproduction of text and graphic information while maintaining the readability of small elements up to 7–8 pt. Minor deviations in the transmission of gray gradations were revealed, due to changes in the area of the raster dots and the peculiarities of the interaction of the toner with the surface of the paper. The results obtained confirm the possibility of using papers with the addition of cellulose from soybean stalks in digital printing, provided that the composition and printing parameters are optimally selected.***

**Ключевые слова: целлюлоза из стеблей сои, хлопковый линт, бумага для цифровой печати, физико-механические свойства, тест-объекты, качество печати, разрешающая способность.**

**Keywords: cellulose from soybean stalks, cotton linters, paper for digital printing, physical and mechanical properties, test objects, print quality, resolution.**

*Введение*

Мировой рынок цифровой печати, по данным аналитической компании Mordor Intelligence, оценивается в 34,34 млрд долл. США (2025 г.) и по прогнозу достигнет 48,51 млрд долл. США к 2030 г. Доминирующее положение цифровой печати обосновывается ростом мирового потребления за счет демографии, информационной трансформации, логистической гибкости (переход от "On-Demand" к "Just-in-Time"), переходом к экологически чистым технологиям и внедрением ИИ, Big Data и IoT для эффективности печатных процессов (https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/digital-printing-market (дата обращения: 12.02.2026)). В отличие от традиционных контактных технологий, цифровая бесконтактная печать не требует изготовления печатных форм, что существенно сокращает подготовительный этап и делает процесс экономически эффективным при малых тиражах [1].

Из-за использования в качестве красящих веществ сухого тонера (в электрофотографических системах) либо чернил жидкой вязкости (в струйных технологиях) требования к свойствам бумаги значительно ужесточаются. При лазерной (тонерной) печати особое значение имеет термостойкость бумаги и ее способность выдерживать высокие температуры закрепления тонера без деформации. При струйной печати ключевыми характеристиками являются контролируемая впитывающая способность, структура поверхности, пористость и наличие специального покрытия, обеспечивающего быстрое закрепление капли и предотвращение растекания красителя [2…7].

Цифровая печать предъявляет повышенные требования к гладкости, белизне, непрозрачности и размерной стабильности бумаги, поскольку любые отклонения напрямую влияют на качество цветопередачи и четкость изображения. Стандартизированные требования к характеристикам бумаги и методам их измерения регламентируются международными нормативными документами (ISO 15397:2014, ISO 13655:2017).

Общий объем мирового производства бумаги и картонной продукции стабильно находится на уровне около 420 млн тонн в

год, при этом лидерами по производству являются такие страны, как Китай, США, Германия и Япония. Из-за дефицита первичного сырья, прежде всего древесной целлюлозы, а также ужесточения экологических требований и политики декарбонизации одним из ключевых трендов мировой целлюлозно-бумажной промышленности является увеличение производства бумаги из вторичных волокон. По данным Food and Agriculture Organization, доля вторичного волокна в мировом производстве бумаги превышает 50%, а в странах Европы уровень переработки, согласно Confederation of European Paper Industries, достигает более 70%. Рост использования вторичного сырья связан с развитием принципов циркулярной экономики, снижением углеродного следа и необходимостью рационального использования отходов производств [8…10].

В производстве бумаги для цифровой печати применение вторичных волокон (макулатуры) носит ограниченный характер, так как данная технология предъявляет повышенные требования к чистоте и однородности материала. Наличие пыли, минеральных частиц и остаточных волокнистых включений может приводить к дефектам изображения, ухудшению закрепления красочного слоя и повышенному износу печатного оборудования. Особенно строгие требования к структуре, гладкости и поверхностной стабильности бумаги предъявляются при использовании цифровых печатных систем, таких как HP Indigo и Xerox, где качество бумаги напрямую влияет на точность передачи изображения и надежность работы оборудования.

В этой связи активно проводятся научные исследования, направленные на поиск альтернативных видов волокнистого сырья для производства композиционных бумаг с заданными эксплуатационными свойствами. Особое внимание уделяется недревесным источникам целлюлозы как потенциально возобновляемой и экологически устойчивой сырьевой базе. Результаты научно-исследовательских работ свидетельствуют о перспективности применения целлюлозы, полученной из стеблей сои: анализ структуры и физико-механических характеристик показал возможность изготовления на ее основе бумаги (https://pechatnick.com /articles/analiz-mirovogo-rinka-bymagi-i-kartona-tekyshaya-sityaciya-i-prognoz-do-2028-goda (дата обращения: 03.03.2026)) [11…13].

Актуальным является проведение исследований, направленных на изучение физико-механических свойств бумаг, изготовленных с различным процентным соотношением целлюлозы из хлопкового линта и целлюлозы из стеблей сои, и на оценку их пригодности для цифровой печати. При этом особое внимание нужно уделять обеспечению высокой графической четкости изображения, равномерности распределения и закрепления красочного слоя, точности цветопередачи.

*Экспериментальная часть*

Объектами исследования являются оттиски, отпечатанные на бумагах, изготовленных с различным процентным соотношением целлюлозы из хлопкового линта и целлюлозы из стеблей сои, с применением цифрового печатного устройства Konica Minolta модели C4065.

Физико-механические свойства образцов бумаги массой 80 г/м², имеющих в составе целлюлозу из хлопкового линта и целлюлозу из стеблей сои, смолу черешневого дерева в качестве проклеивающего компонента, исследовали по стандартной методике, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

| Бумаги | Состав бумаги, % | | Разрывное усилие, Н | Разрывная длина, м | Белизна, % | Толщина, мкм | Плотность, г/м$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | целлюлоза из хлопкового линта | целлюлоза из стеблей сои | | | | | |
| №1 | 90 | 10 | 44 | 3742 | 86 | 110 | 0,72 |
| №2 | 85 | 15 | 43 | 3656 | 82 | 109 | 0,73 |
| №3 | 80 | 20 | 42 | 3571 | 79 | 108 | 0,74 |
| №4 | 75 | 25 | 40 | 3401 | 77 | 108 | 0,74 |
| №5 | 70 | 30 | 38 | 3231 | 76 | 107 | 0,75 |

Анализ данных показывает, что с увеличением доли целлюлозы из стеблей сои наблюдается тенденция к снижению прочностных характеристик: разрывное усилие уменьшается с 44 Н до 38 Н (на 13,6%), а разрывная длина на 13,7%. Параллельно отмечается снижение белизны на 11,6%. Согласно ГОСТ 18510-87, минимальная разрывная длина для бумаги, предназначенной для печати, составляет 2400…3500 м, что подтверждает соответствие всех исследованных образцов нормативным требованиям.

Обычно для контроля качества цифровой печати используется визуальная оценка оттисков, однако данный метод позволяет лишь приблизительно определить результаты воспроизведения информации. Для комплексной и объективной оценки качества цифровой печати применяли визуально-инструментальный контроль с использованием разработанных тест-объектов, часть которых предназначена для анализа разрешающей способности печатающего устройства в сочетании с различными типами бумаги.

Качество графической точности и непрерывности цифровой печати оценивали по объектам с негативным и позитивным текстом с использованием портативного цифрового микроскопа SVBONY 50-1000x, оснащенного встроенным литиевым аккумулятором. Рабочая поверхность освещается восемью светодиодами белого света, предусмотрена регулировка яркости.

На рис. 1 представлена микрофотография позитивного и негативного текста (а), которая включает десять строк (от 5 до 14 пунктов, жирные и полужирные варианты), и воспроизведение цифры "8" в позитивном и негативном варианте (б), отпечатанных на исследуемой бумаге №2.

Как показано на рис. 1, варьирование кегля цифр по строкам с постепенным увеличением размера позволило определить минимальный четко воспроизводимый и читаемый размер шрифта, равный 8 пт. Во второй части, содержащей негативное изображение, видимость и читаемость сохраняются при размере 7 пт. Полученные результаты следует учитывать при подготовке оригинал-макетов, включающих текстовую информацию.

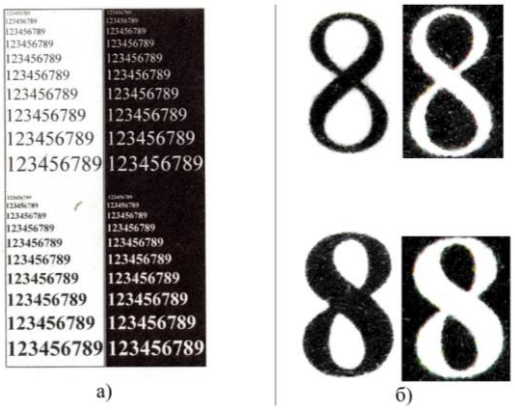


Рис. 1

Для оценки разрешающей способности печати на тест-объекте использовали кольцевые (а), радиальные (б) и штриховые миры с прямолинейными элементами (в), образованные чередующимися штрихами и пробелами равной ширины (рис. 2).

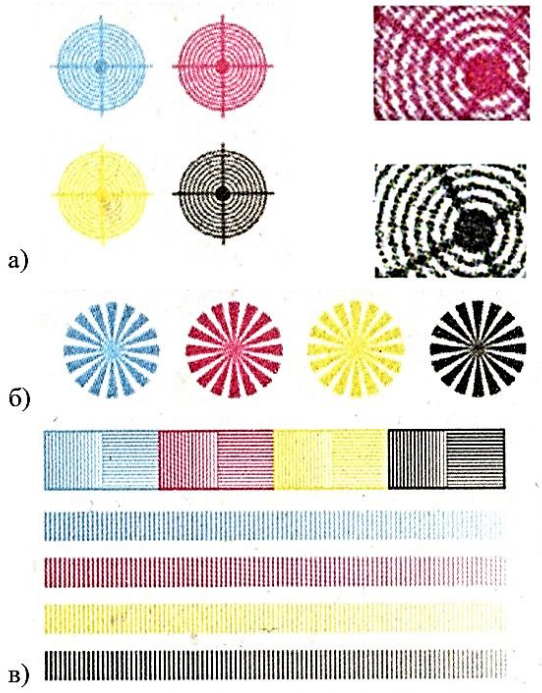


Рис. 2

По кольцевым мирам, напечатанным отдельно для каждого цвета CMYK, можно провести детальную диагностику каждого печатного канала: определить индивидуальное разрешение, оценить растискивание (Dot Gain), насыщенность и выявить де-

фекты печатного процесса. Радиальные миры состоят из секторов, сужающихся к центру, где приближаются к нулевому значению; из-за физических ограничений печати в центре всегда формируется сплошное темное пятно. Штриховые элементы представляют собой чередующиеся вертикальные и горизонтальные линии различной толщины и плотности для каждого цвета. Если при печати пробелы между линиями исчезают (смыкаются), это указывает на достижение предела разрешения для данной толщины штриха.

Анализ воспроизведения кольцевых мир с использованием оптического метода выявил дефекты печати, такие как нерезкость черного или низкая плотность желтого цвета (рис. 2, а). Во воспроизведении радиальных мир (рис. 2, б) можно наблюдать особенности распределения штрихов и пробелов, а также выявлять края контуров без растискивания, кроме желтой краски. Анализ штриховых элементов (рис. 2, в) выявил незначительные изменения толщины и плотности чередующихся вертикальных и горизонтальных линий, что отражает предел разрешающей способности печатного устройства и позволяет оценить воспроизведение мелких деталей на исследуемых бумагах при цифровой печати.

Для визуальной или инструментальной оценки способности принтера линейно и чисто воспроизводить переходы от белого к черному на тест-объекте использовалась стандартная контрольная шкала (Grayscale) для определения воспроизведения нейтрально-серого оттенка (рис. 3). В идеале серый цвет должен быть ахроматическим. В цветной лазерной печати серый формируется либо исключительно черным тонером, либо смесью голубого, пурпурного и желтого тонеров. Корректный баланс тонеров обеспечивает визуально равномерный серый цвет. Любые отклонения от этого баланса, например появление зеленоватого оттенка, указывают на избыток или недостаток конкретного тонера, износ фотобарабана или необходимость калибровки устройства. Поскольку серый цвет служит базой для цветопередачи, его правильный баланс обеспечивает корректное воспроизведение всех остальных сложных цветов на оттиске.

Рис. 3

Согласно рис. 3, оттенки серого, воспроизведенные с использованием мелких точек черного тонера различного размера и плотности, демонстрируют нежелательный фон и искажения оттенков. Это связано с изменением площади растровых точек, в результате чего серый цвет воспринимается более темным. Для минимизации подобных отклонений необходимо правильно подбирать сочетание тонера и бумаги, поскольку различия в их физико-химических свойствах могут нарушать цветовой баланс.

Комплексный анализ тест-объектов показал, что качество воспроизведения цифровой печати на исследуемых видах бумаги в целом удовлетворительное. При использовании черного тонера минимально различимые размеры шрифта и штриховых элементов обеспечивают читаемость до 7…8 пунктов, а серые градации воспроизводятся с относительно ровным цветовым балансом. Тем не менее наблюдаются незначительные отклонения: мелкие растровые точки черного тонера могут создавать слегка затемненный фон, а неправильный подбор бумаги и тонера приводит к частичной потере ахроматичности серого цвета. Эти результаты свидетельствуют о том, что необходима коррекция композиции бумаги для обеспечения точного воспроизведения как текста, так и полутоновых переходов на оттиске.

*Заключение*

Качество воспроизведения цифровой печати на исследуемых видах бумаги в целом удовлетворительное: текстовые элементы читаемы до 7…8 пт, штриховые детали и полутоновые переходы воспроизводятся корректно. Незначительные отклонения оттенков серого и затемнение мелких растровых точек указывают на необходимость правильного подбора количествень-

ного и процентного состава компонентов бумаги для обеспечения точного цветового баланса.

ЛИТЕРАТУРА


1. *Сипайло С.В., Болобосова А.А.* Система тест-объектов для оценки качества цифровой печати // Эпоха науки. 2022. № 31, сентябрь. С. 29...33.

2. Патент RU 2852010 C1. Способ изготовления влагостойкого материала с мелованным покрытием для струйной и электрографической печати, влагостойкий материал и носитель информации.

3. *Thompson L.* Paper for Digital Printing: Challenges and Opportunities. Pira International Conference Proceedings, Leatherhead, Surrey, UK. 2004. P. 12…18.

4. *Desie G., Van Roost C., De Voeght B., Missinne H.* Influence of Substrate Properties on Drop Formation and Ink-Media Interactions // Proceedings of IS&T's NIP18: 2002 International Conference on Digital Printing Technologies. San Diego. 2002. P. 553…558.

5. *Johnson E.* The Science of Digital Paper // Journal of Imaging Science and Technology. 2012. V. 56. №. 2. 020101-1…020101-11. – DOI: 10.2352 /J.ImagingSci.Technol.2012.56.2.0201.

6. *Лапина Е.А., Юсупова Ш.А., Чешкова А.В. и др.* Влияние подготовки хлопчатобумажных тканей на качество цифровой прямой струйной печати активными чернилами // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 1 (415). С. 152…158.

7. *Умарова А.С., Лапина Е.А., Чешкова А.В. и др.* Влияние цифровых настроек печатного рисунка и качества полиэфирных тканей на результат сублимационной печати с применением текстильных принтеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4 (418). С. 163…169.

8. *Бабаханова Х.А., Алимова Х.А.* К оценке эффекта применения в бумажных изделиях отходов натурального шелка и кенафа // Науч.-техн. журн. Ипак. 2000. №. 1. С. 20…21.

9. *Бабаханова Х.А., Алимова Х.А.* Бумага из отходов текстильной промышленности // Полиграфия. 2000. №. 1. С. 96…97.

10. *Бабаханова Х.А., Примкулов М., Умарова В.* Применение недревесного сырья в бумажной композиции // Композиционные материалы. 2017. №.3. С. 17…19.

11. *Турсунбаева Н.Х., Галимова З.К., Бабаханова Х.А. и др.* Структура и свойства композиционной бумаги из Glycine max // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. №6 (420). С. 287…295. – DOI 10.47367 /0021-3497_ 2025_6_287.

12. *Zhulan L. et al.* The utilization of soybean straw. I. Fiber morphology and chemical characteristics // Soy straw. Pt. 1, characterization, BioResources 10 (2). 2015. P. 2266…2280.

13. *Tewari D., Jain R.K. et al.* Chemical Composition of Different Varieties of Soybean (Glycine max) Straw // Indian J. Anim. Nutr. 2018. №. 35 (4). P. 479…481. – doi: 10.5958/2231-6744.2018.00073.7.


REFERENCES


1. *Sipailo S.V., Bolobosova A.A.* System of test objects for assessing the quality of digital printing // Age of Science. 2022. No. 31, September. P. 29…33.

2. Patent RU 2852010 C1.Method for manufacturing a moisture-resistant material with a coated coating for inkjet and electrographic printing, moisture-resistant material and information carrier.

3. *Thompson L.* Paper for Digital Printing: Challenges and Opportunities. Pira International Conference Proceedings, Leatherhead, Surrey, UK. 2004. P. 12…18.

4. *Desie G., Van Roost C., De Voeght B., Missinne H.* Influence of Substrate Properties on Drop Formation and Ink-Media Interactions // Proceedings of IS&T's NIP18: 2002 International Conference on Digital Printing Technologies. San Diego. 2002. P. 553…558.

5. *Johnson E.* The Science of Digital Paper // Journal of Imaging Science and Technology. – 2012. V. 56. No 2. 020101-1…020101-11. – DOI: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2012.56.2.0201.

6. *Lapina E.A., Yusupova S.A., Cheshkova A.V. etc.* The effect of cotton fabric preparation on the quality of digital direct inkjet printing with active ink // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 1 (415). С. 152…158.

7. *Umarova A.S., Lapina E.A., Cheshkova A.V. etc.* Influence of digital print settings and polyester fabric quality on sublimation printing results using textile printers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4 (418). С. 163…169.

8. *Babakhanova Kh.A., Alimova Kh.A.* To assess the effect of using natural silk and kenaf waste in paper products // Scientific and technical Magazine Ipak. 2000. No 1. P. 20…21.

9. *Babakhanova Kh.A., Alimova Kh.A.* Paper from textile industry waste // Polygraphy. 2000. No 1. P. 96…97.

10. *Babakhanova Kh.A., Primkulov M., Umarova V.* Application of non-wood raw materials in paper composition // Composite materials. 2017. No 3. P. 17…19.

11. *Tursunbaeva N.Kh., Galimova Z.K., Babakhanova Kh.A. etc.* Structure and properties of composite paper made from Glycine max // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. No 6 (420). P. 287…295. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_6_287.

12. *Zhulan L. et al.* The utilization of soybean straw. I. Fiber morphology and chemical characteristics // Soy straw. Pt. 1, characterization, BioResources 10 (2). 2015. P. 2266…2280.

13. *Tewari D., Jain R.K. et al.* Chemical Composition of Different Varieties of Soybean (Glycine max) Straw // Indian J. Anim. Nutr. 2018, No 35 (4). P. 479…481. – DOI: 10.5958/2231-6744.2018.00073.7.



Рекомендована кафедрой химической и полиграфической инженерии Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Поступила 16.02.26.