

## РАНЖИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ БУМАГ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

А.Ш. Сыдихов, А.Г. Тягунов, Д.А. Тарасов, О.Б. Мильдер, А.С. Трубникова  
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет, г.Екатеринбург

Стандарты, предъявляемые к качеству печатной продукции, требуют точного соответствия белизны запечатываемого материала определенным заданным нормам. На рынке печатных бумаг и картонов существует масса предложений от различных производителей, существенно отличающиеся технологией изготовления. Для оперативного входного контроля белизны бумаги в типографиях может применяться спектрофотометр. Полученные спектры необходимо анализировать и систематизировать. Белизна полиграфической бумаги и картона является наиболее важным свойством для формирования качественного многокрасочного полутонного изображения. Вместе с этим подавляющее большинство сортов печатной бумаги обладают определенной оттеночностью, обусловленной технологией изготовления, а также наличием различных минеральных компонентов, внесенных на разных стадиях производства. К настоящему времени в литературных источниках не обнаружено систематизированной информации по влиянию состава композиции печатной бумаги и меловальных слоев на ее спектры отражения, а также работ, посвященных ранжированию печатных бумаг по их оптическим свойствам. В данной работе для систематизации информации по оптическим свойствам мелованных печатных бумаг проанализированы спектры отражения 254 образцов. Методами кластерного анализа в составе образцов бумаги выявлены три статистически различных кластера, ранжирующих образцы по их спектрам отражения. В результате проведенного исследования было обнаружено, что рассчитанные на основе спектральных данных координаты цвета МКО Lab являются удобным критерием для кластеризации образцов по их спектральным характеристикам. Выделенные три кластера продемонстрировали существенно отличающийся характер средних спектров отражения. Дальнейший корреляционный анализ выявил некоторые закономерности во взаимном влиянии монохроматических коэффициентов отражения и координат цвета внутри кластеров.

*Ключевые слова:* бумага, белизна, спектры отражения, кластерный анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на повсеместное внедрение информационных технологий и современных методов визуализации информации, полиграфическое воспроизведение издательской информации и печать упаковки по-прежнему являются востребованными. Основным материалом для печати издательской продукции и упаковки являются бумага и картон. Известно, что качественный цветовой синтез при репродуцировании многокрасочных изображений может быть обеспечен только если поверхность запечатываемых материалов обладает достаточным спектром отражения и не имеет оттенка. Поэтому исследования в области восприятия информации с бумажных носителей, а также оценки оптических свойств запечатываемых материалов, остается актуальными.

В следствии различия в технологиях производства целлюлозы, бумаги и картона, а также в связи с различиями в нормативных базах, были разработаны и действуют до сих пор два международных стандарта по оценке спектров отражения, так же как и множество нормативных требований к составу бумаги, которые часто являются противоречивыми [1]. Для удовлетворения технологических требований состав бумаги может включать в себя разнообразные компоненты [2]. Согласно работе [3] известно, что в последние десятилетия увеличилась доля минеральных наполнителей в бумаге. Добавление вспомогательных материалов в состав бумаги оказывает влияние не

только на физико-механические свойства бумаги [4], но и ее оптические свойства [5]. В одном из исследований [5] предлагается определить оптические свойства бумаг методом ИК-спектроскопии, однако спектроскопия видимого диапазона используется для анализа свойств бумаги редко. Отмечено, что особенности оптических свойств бумаги обусловлены большим разнообразием составов бумаги и оптических характеристик, в частности спектров отражения. К настоящему времени не обнаружено методики проведения объективного инструментального контроля спектров отражения бумаги для печати и сравнение ее образцов в производственных условиях.

Таким образом, цель настоящей работы - определение спектров отражения бумаги спектрофотометрическим методом и систематизация полученных результатов на основе анализа образцов часто используемых печатных бумаг. Для достижения указанной цели необходимо решение следующих задач: отбор образцов бумаги для печати; получение результатов спектрофотометрических измерений спектров отражения исследуемых образцов бумаги, анализ полученных данных, а также установление взаимосвязи характеристик спектров.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве выборки для проведения исследования были отобраны 254 образца мелованной печатной бумаги и бумаги без покрытия марки ВХИ (по 100

листов каждого образца), а также один референтный образец белой технической целлюлозы.

Согласно методике Международной комиссии по освещению (МКО, CIE (фр. Commission Internationale de l'Eclairage)), измерение коэффициента диффузной энергетической яркости проводилось в полной видимой области спектра в условиях освещенности от различных источников света и разных типов наблюдателя (ГОСТ Р ИСО 11475 [6] для естественного дневного света, ГОСТ Р ИСО 11476 [7] для искусственного освещения). Метод основан на методике, изложенной в ГОСТ 30116-94 [8], и позволяет оценить степень спектрального энергетического распределения светового потока отраженного от поверхности образца. Данный метод может использоваться только при условии применения стандартизованного спектрофотометрического оборудования.

Для проведения измерений использовался полиграфический спектрофотометр в режиме работы "на отражение". Принцип действия данного режима проиллюстрирован на Рисунке 1. Световой поток от источника света (1) посредством оптической системы зеркал (2) проецируется на поверхность анализируемого образца (3). Отраженный от образца световой поток с помощью монохроматора (4) разлагается на отдельные спектральные составляющие в диапазоне длин волн  $\Delta\lambda$ , для каждой из которых измеряется их интенсивность  $\Phi(\lambda)$  в конечном интервале длин волн  $\Delta\lambda$ , по которым по формуле (1) определяется спектральный коэффициент отражения и рассчитываются координаты цвета.

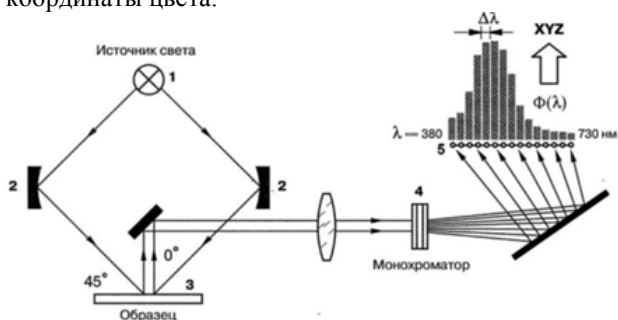


Рисунок 1. Схема работы полиграфического спектрофотометра: (1) источник света, (2) оптическая система зеркал, (3) анализируемый образец, (4) монохроматор, дифракционная решетка или иной прибор, разлагающий свет на отдельные спектральные составляющие в диапазоне длин волн  $\Delta\lambda$ , (5) приемное устройство (матрица светочувствительных элементов)

Таким образом, матрица фотоэлементов спектрофотометра выдает информацию о распределении энергии по всему видимому спектру излучения отраженного, поглощенного или пропущенного образца.

Для характеристики спектрального энергетического распределения светового потока, отраженного от поверхности бумаги, используются спектральные коэффициенты отражения  $\rho(\lambda)$ , определяемые как отношение отраженной от образца части светового потока

к падающему на образец световому потоку, в зависимости от длины волны  $\lambda$

$$\rho(\lambda) = \frac{\Phi_{\rho}(\lambda)}{\Phi(\lambda)} \quad (1)$$

Для определения цвета измеряемого образца, а фактически отраженного светового потока  $\Phi(\lambda)$  необходимо умножить значение  $\rho(\lambda)$  на значения относительного спектрального распределения энергии осветителя  $S(\lambda)$ . Поскольку измерения спектрального коэффициента отражения спектрофотометром осуществляются дискретно с шириной конечного интервала  $\delta\lambda$ , вместо  $\Phi(\lambda)$  возможно определить только произведение  $\Phi(\lambda)\delta\lambda$  (2).

$$\Phi(\lambda)\delta\lambda = \rho(\lambda)S(\lambda)\delta\lambda \quad (2)$$

Спектры образцов бумаги в объеме от 1 до 50 листов измерялись согласно ГОСТ Р 54766-2011 [9] на белой (в стопе) и черной подложке. Условия измерения удовлетворяли ISO 554:1976 [10]. Каждое измерение проводилось 10 раз, результаты усреднялись и записывались, как спектр данного образца. Спектры образцов, измеренные в стопе, записывались в электронную таблицу для дальнейшей обработки.

Количественный анализ спектральных данных образцов бумаги проводился в пакете Statistica 10 с применением методов кластерного анализа, описанных в [11]. Для кластеризации использовался известный метод k-средних. Задача данного метода – в некотором пространстве объектов  $R^n$  разделить  $m$  наблюдений на  $k$  кластеров  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$  ( $k \leq m$ ). Отнесение наблюдения к тому или иному кластеру осуществляется по мере его близости к центру (центроиду) кластера. В качестве меры близости мы применяли Евклидово расстояние (3). Критерий метода – минимизация суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от их центроидов (4).

$$r_{\epsilon}(x, y) = |x - y| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, x, y \in R^n \quad (3)$$

$$\min \left[ \sum_{j=1}^k \sum_{x^p \in S_j} \|x^p - \mu_j\|^2 \right], x^p, \mu_j \in R \quad (4)$$

На рисунке 2 приведены усредненные спектры отражения для мелованной, немелованной бумаги и целлюлозы при измерении на белой подложке.

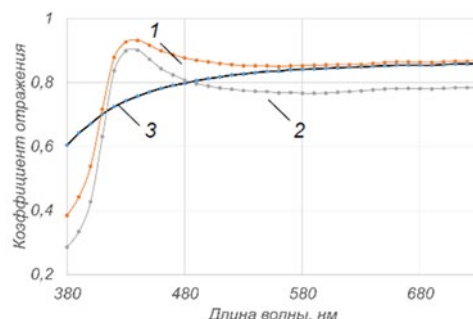


Рисунок 2. Примеры спектров отражения образцов бумаги: 1 – мелованной бумаги MediaPrintSilk (130 г/м<sup>2</sup>); 2 – немелованной бумаги ВХИ (120 г/м<sup>2</sup>); 3 – целлюлозы

Характерные спектры образцов бумаги для печати составляли примерно половину из всех измеренных

спектров. Вторую половину составляли спектры образцов, характеризующиеся экстремумами - существенные пики как в коротковолновой, так и в длинноволновой областях.

Дендрограмма спектральных коэффициентов отражения (Рисунок 4) позволила выявить от двух до пяти возможных крупных кластеров.

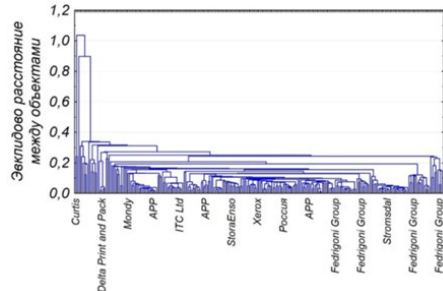


Рисунок 4. Дендрограмма кластерного анализа образцов бумаги по их спектрам отражения; названия производителей бумаг даны справочно

После кластеризации по k-средним и разделением выборки на 2–5 кластеров были построены средние спектры отражения для каждого кластера. Они представлены на Рисунке 5. Из анализа следует, что средние спектры отражения при кластеризации на три, четыре и пять кластеров фактически повторяются.

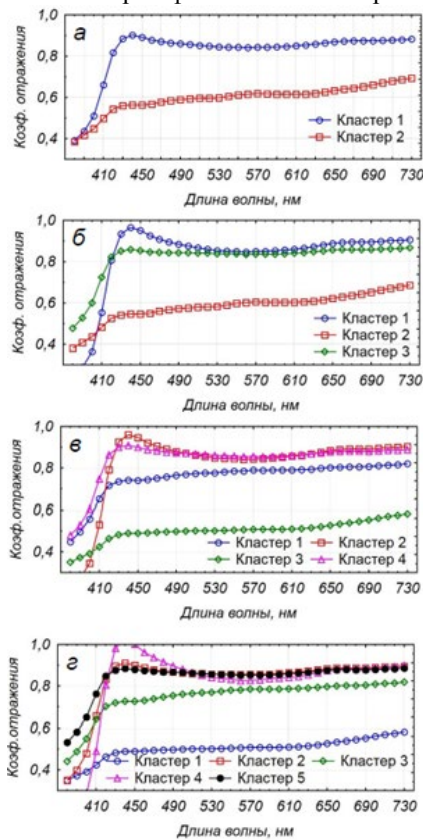


Рисунок 5. Средние спектры отражения при кластеризации на а) два кластера, б) три кластера, в) четыре кластера и г) пять кластеров

Далее было проведено два вычислительных эксперимента по кластеризации образцов бумаги методом k-средних. В качестве категориальных переменных использовались МКО Lab координаты цвета образца. Значения нормированы на единицу. Средние спектры отражения приведены на Рисунке 6.

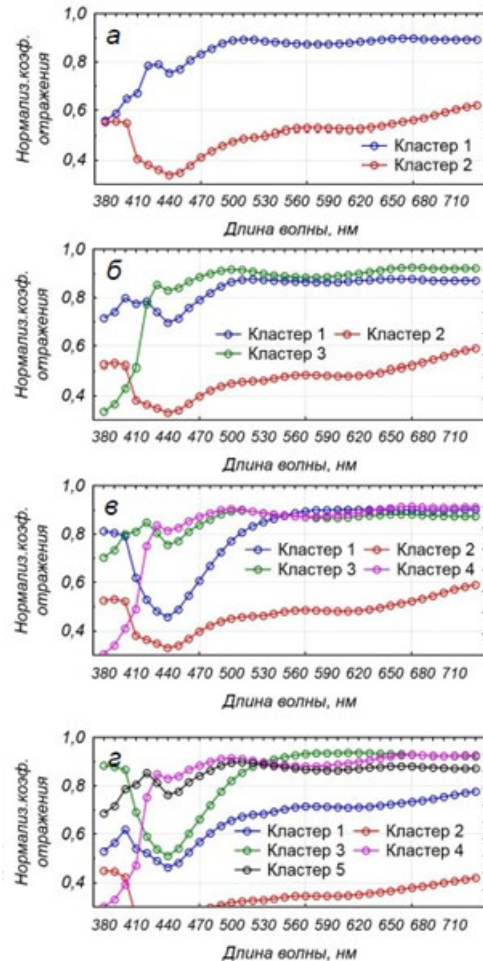


Рисунок 6. Средние спектры отражения при кластеризации с привлечением в качестве категориальных переменных МКО Lab координат образцов: а) два кластера, б) три кластера, в) четыре кластера и г) пять кластеров

При категоризации на основе МКО Lab координат явно разделяются три кластера. Следует отметить, что основной вклад в различие спектров вносит коротковолновая область. Очевидно, что существенное количество образцов бумаги содержит высокую концентрацию флуоресцентных наполнителей и оптических отбеливателей.

Для заключительного разделения исследуемых образцов на кластеры проведен дополнительный анализ распределения монохроматических коэффициентов отражения внутри кластеров при разбиении на три кластера (Рисунок 7) и четыре кластера (Рисунок 8). Для анализа были выбраны коэффициенты отражения в коротковолновой области (400 и 450 нм) поскольку

существенных различий в области средних и длинных волн средние спектры не демонстрируют.

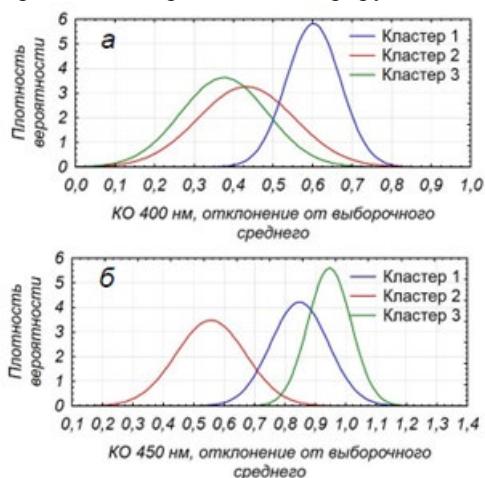


Рисунок 7. Плотности вероятности распределения монохроматических коэффициентов отражения внутри трех кластеров: а) КО для 400 нм (Lab), б) КО для 450 нм (Lab)

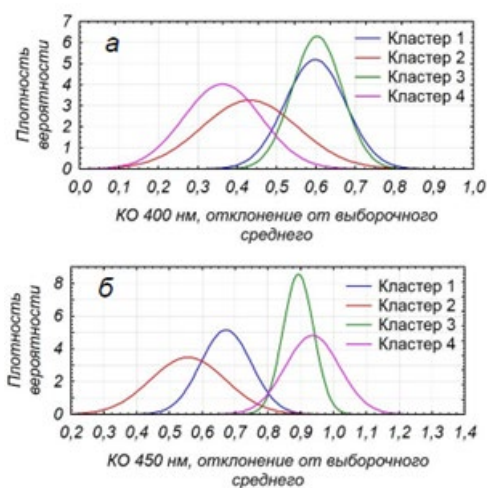


Рисунок 8. Плотности вероятности распределения монохроматических коэффициентов отражения внутри четырех кластеров: а) КО для 400 нм (Lab), б) КО для 450 нм (Lab)

Хроматические координаты подтвердили кластеризацию: в первом кластере МКО а положительно, а МКО б отрицательно коррелировали с коэффициентами отражения в сине-фиолетовой области; во втором кластере МКО а не проявила связи, а МКО б положительно коррелировала с коэффициентами отражения в сине-фиолетовой области; в третьем кластере МКО а и б отрицательно коррелировали с коэффициентами отражения в сине-фиолетовой области, но по-разному коррелировали в среднем диапазоне (а отрицательно, б положительно). Корреляционный анализ подтвердил предположения о разделении результатов на три кластера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, бумага, предназначенная для полиграфического тиражирования, далека от идеально белого цвета и имеет оттеночность, вызванную вероятно производственными факторами. В производственных условиях были отобраны образцы и получены их спектры отражения. В результате проведенного исследования было обнаружено, что рассчитанные на основе спектральных данных координаты цвета МКО Lab являются удобным критерием для кластеризации образцов по их спектральным характеристикам. Выделенные три кластера продемонстрировали существенно отличающийся характер средних спектров отражения. Дальнейший корреляционный анализ выявил некоторые закономерности во взаимном влиянии монохроматических коэффициентов отражения и координат цвета внутри кластеров. Получение сведений о элементном составе печатных бумаг даст более точную кластеризацию, но об этом в следующих статьях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аким, Э.Л. Свойства составов для высокоскоростного нанесения покрытия на бумагу/ Э.Л. Аким, Л.Г. Махотина, Т.Н. Романова // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 1995. - № 9–10. - С.24–25.
2. Шапиро, И.Л. Мелование бумаги и картона [Текст] / И.Л. Шапиро, А.В. Бывшев. - Красноярск: СибГТУ, 2001. - 108с.
3. Пенкин, А.А. Применение карбонатных наполнителей, модифицированных катионным крахмалом в технологии бумаги для печати [Текст]/ А.А. Пенкин// Труды БГТУ. - №4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. - 2009. - Т. 1. - № 4. - С.290–293.
4. Муллина, Э.Р. Исследование влияния химического состава целлюлозы на физико-механические свойства бумаги / Э.Р. Муллина и др. // Современные наукоемкие технологии. - 2015. - №9. - С. 56–58.
5. Варепо, Л.Г. Исследование свойств бумаг методом ИК спектроскопии [Текст] / Л.Г. Варепо // Фундаментальные исследования. - 2007. - № 12–3. - С.463–464.
6. ГОСТ Р ИСО 11475-2010. Бумага и картон. Метод определения белизны по СИЕ. D65/10° осветитель (дневной свет) [Текст]. – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ. - 2011. – 12с.
7. ГОСТ Р ИСО 11476-2010. Бумага и картон. Метод определения белизны по СИЕ. C/2° осветитель (искусственное освещение) [Текст]. – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ. - 2012 г. – 16с.
8. ГОСТ 30116-94 (ИСО 2469-77) Бумага, картон и целлюлоза. Измерение коэффициента диффузного отражения. – М.: Издательство стандартов, 1997 г. – 8с.
9. ГОСТ Р 54766-2011 (ИСО 12647-2:2004) Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растворов цветоделений, пробных и тиражных оттисков. Часть 2. Процессы офсетной печати [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ. - 2012 г. – 24с.
10. ISO 554:1976
11. Дюран, Б. Кластерный анализ [Текст] / Б.Дюран, П.Оделл – М.: Статистика, 1977. — 128 с.

Сыдыхов Асхат Шаяхметович – аспирант, департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, ФГАОУ ВО УрФУ, тел. (343)3754630, e-mail: [acxat777@gmail.com](mailto:acxat777@gmail.com)

Тягунов Андрей Геннадьевич – доцент, к.т.н., департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, ФГАОУ ВО УрФУ, тел. (343)3754630, e-mail: [adi8@yandex.ru](mailto:adi8@yandex.ru)

*Тарасов Дмитрий Александрович - доцент, к.т.н., департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, ФГАОУ ВО УрФУ, тел. (343)3754630, e-mail: [datarasov@yandex.ru](mailto:datarasov@yandex.ru)*

*Мильдер Олег Борисович - доцент, к.ф.-м.н. департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, ФГАОУ ВО УрФУ, тел. (343)3754630, e-mail: [milder@mail.ru](mailto:milder@mail.ru)*

*Трубникова Алена Сергеевна - аспирант, департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, ФГАОУ ВО УрФУ, тел. (343)3754630, e-mail: [altru90@mail.ru](mailto:altru90@mail.ru)*

# PRINTING PAPERS REFLECTION SPECTRA RANKING BY THE CLUSTER ANALYSIS

A.S. Sydikhov, A.G. Tyagunov, D.A. Tarasov, O.B. Milder, A.S. Trubnikova

*Ural federal university, Ekaterinburg*

Abstract - Standards imposed on the quality of printed products require precise compliance with the whiteness of the printed material to certain standards. There are a lot of offers from various manufacturers on the market of printed papers and cardboards, which differ significantly in manufacturing technology. A spectrophotometer can be used for operational input control of paper whiteness in printing houses. The obtained spectra must be analyzed and systematized. The whiteness of printing paper and cardboard is the most important property for the formation of high-quality multi-color half-tone image. At the same time, the overwhelming majority of printing paper grades have a certain shade due to the manufacturing technology, as well as the presence of various mineral components introduced at different stages of production. To date, no systematic information has been found in the literary sources on the influence of the composition of printing paper and coating layers on its reflectance spectra, as well as on the ranking of printed paper according to their optical properties. In this paper, to systematize information on the optical properties of coated printing papers, the reflection spectra of 254 samples were analyzed. Using cluster analysis methods, three statistically different clusters were ranked in the paper samples, ranking the samples according to their reflection spectra. As a result of the study, it was found that the CIE Lab color coordinates calculated on the basis of spectral data are a convenient criterion for clustering samples according to their spectral characteristics. The selected three clusters demonstrated a significantly different character of the average reflection spectra. Further correlation analysis revealed some regularities in the mutual influence of monochromatic reflection coefficients and color coordinates within clusters.

Index terms: . paper, whiteness, reflection spectra, cluster analysis

## REFERENCES

1. Akim E. L., L.G. Makhotina and T.N. Romanova. "Properties of compositions for high-speed coating on paper", Cellulose. Paper. Cardboard. Pp. 24–25. September-october, 1995.
2. Shapiro I. L. and A.V. Former. Chalk paper and cardboard. Krasnoyarsk: SibGTU, 2001.
3. Penkin, A. A. "Application of carbonate fillers modified by cationic starch in printing paper technology", Proceedings of BSTU. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. pp. 290-293, Vol.1, Apr. 2009.
4. Mullina, E. R., et al, "Investigation of the influence of the chemical composition of cellulose on the physical and mechanical properties of paper", Modern science-intensive technologies. pp 56-58. September, 2015.
5. Arepo, L. G. "A study of the properties of securities by the method of IR spectroscopy", Fundamental research. pp. 463–464, Dec. 2007.
6. GOST R ISO 11475-2010. Paper and cardboard. Method of determination of whiteness according to CIE. D65 / 10° illuminator (daylight). Moscow: STANDARTINFORM, 2011.
7. GOST R ISO 11476-2010. Paper and cardboard. Method of determination of whiteness according to CIE. C / 2° illuminator (artificial lighting). Moscow: STANDARTINFORM, 2012.
8. GOST 30116-94 (ISO 2469-77) Paper, cardboard and cellulose. Measurement of diffuse reflection coefficient. Moscow: standards Publishing house, 1997 .
9. GOST R 54766-2011 (ISO 12647-2: 2004) Printing technology. Control of the manufacturing process of digital files, raster color separations, trial and print runs. Part 2. Offset printing processes. Moscow: STANDARTINFORM, 2012 – 24 c.
10. ISO 554:1976
11. Durand, B. and P. Odell. Cluster analysis. Moscow: Statistics, 1977.

*Sydikov Askhat Shahmetovich – postgraduate student, Department of Information technology and automation Institute of Radio electronic and information technology, IN FGAOU Urfa tel: (343)3754630, e-mail: acxat777@gmail.com*

*Tyagunov Andrey Gennadievich – associate Professor, Ph. D., Department of Information technology and automation Institute of Radio electronic and information technology, IN FGAOU Urfa tel: (343)3754630, e-mail: adi8@yandex.ru*

*Tarasov Dmitry - associate Professor, Ph. D., Department of Information technologies and automation, Institute Of Radio electronic and information technologies, FSAU in Urfa, tel. (343)3754630, e-mail: datarasov@yandex.ru*

*Milder Oleg Borisovich-associate Professor, Ph. D. Department of Information technologies and automation, Institute of Radio electronic and information technologies, FSAU in Urfa, tel. (343)3754630, e-mail: milder@mail.ru*

*Trubnikova Alena Sergeevna-post-graduate student, Department of Information technologies and automation, Institute of Radio electronic and information technologies, FSAU in Urfa, tel. (343)3754630, e-mail: altr90@mail.ru*