

## ГРАДАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БУМАГИ

**Верещагин Владислав Юрьевич**

*аспирант института принтмедиа и информационных технологий  
Московский государственный университет печати имени Ивана Федорова  
127550 Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 2А  
slavaver@gmail.com*

**Аннотация.** В работе рассматривается разработка метода и оценка градационных параметров электронной бумаги в сравнении с полиграфическим воспроизведением.

**Ключевые слова:** градационные параметры, градационная характеристика, динамический диапазон, электронная бумага, e-ink.

Воспроизведение книжной информации на электронных носителях является многофакторным процессом, качественный результат которого определяется целым рядом параметров. Ранее уже была получена оценка влияния угла просмотра на искажение информации при воспроизведении на электронной бумаге, был рассмотрен метод оценки функции передачи модуляции электронной бумаги и проведена ее оценка в сравнении с полиграфическим воспроизведением [1]. Представляет интерес проведение исследований также и градационных параметров электронной бумаги.

Целью данной работы является разработка метода и оценка градационных параметров электронной бумаги и проведение сравнения печатной и электронной бумаг по этому показателю.

Задачи:

- выбрать метод получения и получить градационную характеристику электронной бумаги;
- сравнить динамический диапазон воспроизведения информации на электронной бумаге и полиграфическим способом;
- рассмотреть влияние на градационную характеристику электронной бумаги ограничения воспроизведения в соответствии со стандартом формирования сигнала 16 уровнями градации;
- изучить влияние остаточного изображения на градационную характеристику.

Для исследования были выбраны пять устройств на основе электронной бумаги. В них используются два последних поколения дисплеев, в некоторых

имеется подсветка. Модели устройств и характеристики, влияющие на градационные параметры, приведены в табл. 1.

Для обеспечения сопоставимости результатов измерений для печатной и электронной бумаг был использован метод, в котором производится измерение изображения клина на электронной бумаге с помощью спектрофотометра в координатах CIE Lab, и оцениваются оптические плотности фона и сплошной поверхности почернения.

В качестве измерительного прибора использовался спектрофотометр X-Rite i1 Pro. Он был выбран ввиду особенности конструкции, которая позволила провести измерения без разбора выбранных устройств. Апертура спектрофотометра имеет диаметр 4,5 мм, и полученные данные являются усредненными по площади 15,9 мм<sup>2</sup>. [2]

Создан тест-объект — клин из 33 полей с линейным изменением яркости от 0 до 255 относительных единиц. Для исследования возможностей и ограничений устройств чтения все тесты-объекты создавались с параметрами, заведомо превышающими воспроизводящие возможности устройств в цветовой системе «градации серого» с глубиной цвета 8 бит.

Поскольку количество полей теста-объекта в два раза превосходит количество тонов, стандартно формируемых программным обеспечением устройств, основанных на электронной бумаге — это позволяет оценить, воспроизводятся ли только эти 16 градаций, или при воспроизведении на электронной бумаге можно получить большее число градаций тона [3].

*Таблица 1. Характеристики устройств чтения на основе электронной бумаги, которые были исследованы*

Устройство	Тип сенсорной панели	Поколение дисплея	Наличие подсветки
Kindle Paperwhite 2013	Емкостной	Carta	Да
Kindle Paperwhite 2012	Емкостной	Pearl	Да
Sony PRS-650	Инфракрасный	Pearl	Нет
Gmini MagicBook C6HD Touch Edition	Емкостной	Pearl	Нет
Kobo Aura H2O	Емкостной	Carta	Да

Для возможности оценки влияния остаточного изображения (остаточное изображение — элементы предыдущего изображения, воспроизведенного на экране, видимые в текущем изображении) на воспринимаемый тон, эти поля были записаны в файл PDF на отдельные страницы. Чтобы исследовать влияние остаточного изображения, его необходимо измерять, листая страницы от начала в конец и в обратном направлении. [4]

Измерения проводятся спектрофотометром в трех точках каждого поля. В качестве результатов имеем координаты цвета в системе координат CIE Lab и значения оптических плотностей. Рассчитываются их усредненные значения. Далее строятся графики зависимости L от исходной яркости и рассчитывается динамический диапазон  $\Delta D$ .

В результате эксперимента для устройств Kindle Paperwhite 2012, Kindle Paperwhite 2013, Sony PRS-650, MagicBook C6HD были получены близкие линейные градационные характеристики (рис. 1). Отличаются только значения максимальной и минимальной координаты L и, соответственно, градиент воспроизведения шкалы.

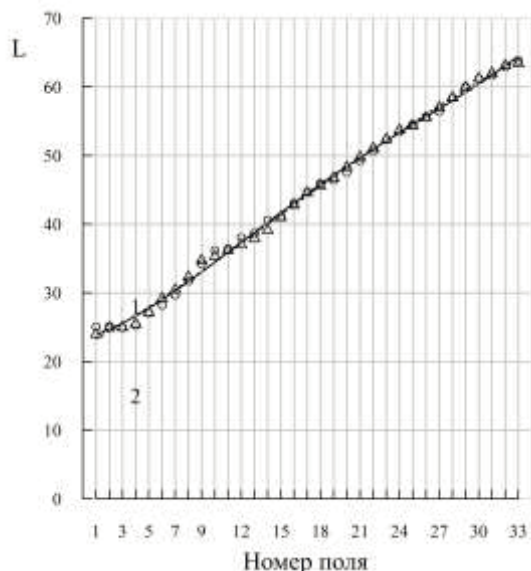


Рис. 1. Sony PRS-650 (Pearl) без подсветки

○ — значения при измерении от черного к белому  
△ — значения при измерении от белого к черному

Следует выделить устройство Kobo Aura H<sub>2</sub>O, градационная характеристика которого является 16-ступенчатой (рис. 2), как и можно было ожидать в соответствии со стандартом обработки сигнала. В других устройствах полученное число градаций не ограничивается 16 ступенями.

Это говорит о том, что в устройствах при воспроизведении градаций может использоваться два подхода — с усреднением по полю и без усреднения. Как показывает рис. 3, смежные пиксели могут передавать различные значения яркости, что при усреднении глазом дает промежуточный уровень яркости.

Ввиду того, что результаты измерений по двум направлениям — от темного к светлому и наоборот — близки, можно предположить, что при малом

диапазоне изменения яркости остаточное изображение оказывает незначительное влияние на получаемый результат.

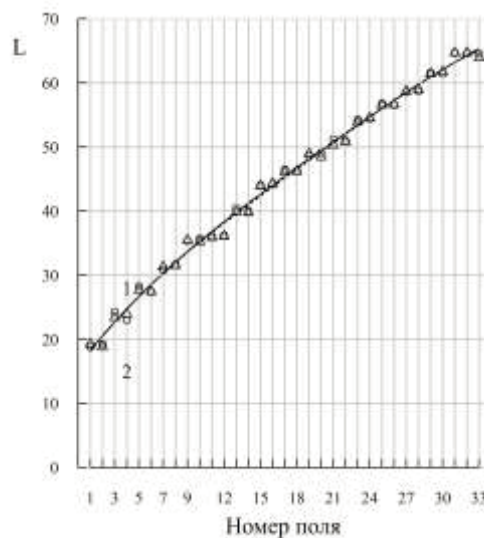


Рис. 2. Kobo h2o (Carta) подсветка на полную яркость  
○ — значения при измерении от черного к белому  
△ — значения при измерении от белого к черному



Рис. 3. Микрофотография электронной бумаги: Pearl устройства Sony PRS-650 с воспроизведенным на ней полем яркостью 128 относительных единиц

Для исследования влияния остаточного изображения на градационную характеристику при высоком контрасте предшествующего изображения был создан другой тест-объект, с высококонтрастными переходами тона от страницы к странице — сначала воспроизводятся штрихи, а затем белое поле, или просветы, затем черное поле. На белом и черном полях остаются видны воспроизведенные до этого штрихи и просветы соответственно. Ввиду того, что явление остаточного изображения наиболее ярко проявляется на штрихах, которые затруднительно измерить с помощью спектрофотометра вследствие большого размера апертуры, то для расчета остаточного изображения было использовано фотографирование.

Для этого производят фотографирование электронной бумаги на странице, где на фоне имеется остаточное изображение. На фотографии измеряются координаты L для черного поля, белого и остаточного

изображения. Далее проводится нормирование таким образом, что черное поле — это 0%, белое — 100%. Остаточное изображение находится в этом промежутке, и определяется в процентах. В табл. 2 представлены значения остаточного изображения для различных устройств.

Оптические плотности для черных и белых полей и динамические диапазоны для разных устройств представлены в табл. 3.

По динамическому диапазону электронная бумага удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к печатным изданиям, а именно книгам, предназначенным для взрослой аудитории. Согласно требованиям СанПиН 1.2.1253-03, при печати черной краской интервал оптических плотностей элементов изображения текста и бумаги в книжном издании для взрослых должен быть не менее 0,7 [5].

Таким образом, был выбран метод и получены градационные параметры устройств на основе электронной бумаги. Градационные характеристики

для исследованных устройств в выбранной системе координат оказались линейны, их градиент является практически постоянным (табл. 4).

По результатам исследований, электронная бумага по своим градационным свойствам существенно отличается от свойств, которые стремятся получить при полиграфическом воспроизведении информации, где система настроена на бинарность регистрации как при репродуцировании штриховой (в частности, текстовой) информации, так и при воспроизведении тоновых изображений (автотипное растривание).

Было выявлено два различных результата при воспроизведении градаций, исследовано влияние остаточного изображения, которое наиболее сильное воздействие оказывает на черный фон. Из этого можно вывести рекомендацию, что перед воспроизведением какого-либо изображения необходимо вставить пустую страницу, чтобы минимизировать остаточное изображение штрихов и просветов предшествующей страницы.

Таблица 2. Значения остаточного изображения в процентах от диапазона

	Digma	Kindle 2012	Kindle 2013	Kobo	Sony
На белом	4,91	0,54	0,23	1,00	4,18
На черном	98,00	98,21	99,05	99,40	94,37

Таблица 3. Максимальные и минимальные оптические плотности электронной бумаги и динамический диапазон

Оптическая плотность	Digma	Kindle 2012	Kindle 2013	Kobo	Sony
$D_{k\ min}$	0,53	0,63	0,59	0,48	0,5
$D_{k\ max}$	1,62	1,63	1,61	1,57	1,36
$\Delta D$	1,09	1	1,02	1,09	0,86

Таблица 4. Градиенты градационных характеристик различных устройств

Модель	Градиент
Sony PRS-650	0.389
Digma	0.427
Kindle 2012	0.378
Kindle 2013	0.399
Kobo H2O	0.458

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верещагин В.Ю., Андреев Ю.С. Сопоставительный анализ структурных свойств носителей на основе печатной и электронной бумаг // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. — 2015. — № 3. — С. 23–28.
2. Портал «X-Rite» eye one Pro specifications [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.xrite.com/i1pro](http://www.xrite.com/i1pro) (дата обращения: 02.12.2015).
3. Портал «Eink» Monochrome Active Matrix [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.eink.com> (дата обращения: 06.12.2015).
4. Портал «Slideshare» E Ink Advantages and Disadvantages [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.slideshare.net/asertseminar/electronic-paper-paper> (дата обращения: 01.12.2015).
5. Гигиенические требования к изданиям книжным для взрослых: Санитарные правила и нормативы. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — С. 8.

## **GRADATION PARAMETERS OF DEVICES BASED ON ELECTRONIC**

**Vladislav Yurievich Vereshchagin**

*Moscow State University of Printing Arts  
127550 Russia, Moscow, Pryanishnikova st., 2A*

---

**Annotation.** *The paper considers development of a method and evaluation gradation parameters of electronic paper and comparison with printing reproduction.*

---

**Keywords:** gradation parameters, gradation characteristics, dynamic range, electronic paper, e-ink.