

УДК 004.932.2

ОЦЕНКА ДЕТАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

А. Ю. Гнибеда, старший преподаватель кафедры «Инфоконгнитивные технологии», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия;
orcid.org/0000-0003-2442-4951, e-mail: me@gnibeda.ru

Е. А. Пухова, к.т.н., доцент, заведующая кафедрой «Инфоконгнитивные технологии», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия;
orcid.org/0000-0003-1808-9595, e-mail: ea.puhova@mail.ru

А. Ю. Гнибеда, старший инженер по разработке, ПАО «Сбербанк России», г. Москва, Россия;
orcid.org/0009-0002-6607-4742, e-mail: nastya.gnibeda@yandex.ru

А. А. Захарова, д.т.н., доцент, главный научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук», г. Москва, Россия;
orcid.org/0000-0003-4221-7710, e-mail: zaa@ipu.ru

Эффективность функционирования полиграфического процесса во многом определяется точностью настройки параметров этого процесса, а также возможностью прогнозирования на его нематериальной стадии различных нежелательных явлений. Поиск и разработка программных решений, направленных на достижение данных критериев, являются актуальной задачей. В настоящее время отсутствуют какие-либо решения, которые могли бы в полной мере учитывать специфику полиграфического процесса, которая заключается в его многостадийности и нелинейности. В рамках данной статьи предложен программный модуль для оценки детальной точности изобразительной информации, воспроизводимой с помощью полиграфических процессов, который основан на современных подходах к оценке качества полиграфической продукции и учитывает специфику данных процессов. Программный модуль оценки детальной точности изобразительной информации позволяет прогнозировать на нематериальной стадии полиграфического процесса различные искажения и преобразования, которые приводят к увеличению объемов брака и затрат. Сравнительный анализ состояний полиграфического процесса до и после применения разработанного программного модуля показывает снижение материальных и трудовых затрат, что является доказательством повышения эффективности полиграфического процесса.

Ключевые слова: изобразительная информация; полиграфический процесс; управление процессом; разработка программного модуля; эффективность процесса; детальная точность; алгоритм; BPMN; автотипное растривание.

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-93-168-183

Введение

Полиграфический процесс воспроизведения изобразительной информации является сложным, многостадийным и нелинейным, сопровождающимся значительной долей операций, связанных с преобразованием информации из одной формы в другую. Типичный пример – преобразование пиксельного многоградационного изображения в битовую двухградационную карту, состоящую из растровых точек различного размера, которая затем репродуцируется на бумаге с помощью печатающего оборудования. Из-за отсутствия достаточного объективного контроля качества на нематериальных стадиях подготовки изобразительной информации происходит увеличение процента брака, временных и финансовых затрат.

Качество изобразительной продукции, получаемой с применением полиграфических процессов, определяется точностью воспроизведения ее информационных параметров: градации, цвета, деталей. Методы оценки информационных параметров составляют базу системного анализа полиграфического процесса воспроизведения и управления этим процессом за счет выбора оборудования, принятия решений по его настройке, по технологическим действиям при обработке изобразительной информации [1]. Особое внимание в последнее время было уделено разработке методов оценки и регулированию градационного и цветового содержания изобразительной информации. В то же время вопрос об оценке и управлении точностью воспроизведения деталей изображений остается в существенной степени открытым, поскольку результаты исследований, которые проводились в этом направлении, в частности в работах [2-5], неприменимы в реальных производственных условиях.

Точность воспроизведения границ между темными и светлыми участками, точность передачи фрагментов изображений, выделяющихся яркостным или цветовым контрастом из окружающего фона, принято называть детальной точностью воспроизведения [1, 6-10]. Важность проработки этого вопроса обусловлена тем, что детальная точность, наряду с градацией и цветом, характеризует информационное содержание изображения и в существенной степени определяет воспроизведение самой семантики оригинала, его смысловое содержание [1, 6-10].

Неприменимость методов, описанных в работах [2-5], связана прежде всего с тем, что они основаны на измерении отдельных элементов воспроизводимых изображений – штрихов, точек и т. д. В работах [1, 6-10] производится комплексный, интегральный анализ всего воспроизводимого изображения, при этом главным приоритетом такого анализа является обеспечение реальных потребительских требований к качеству продукции. Данные требования основаны на том, что важна оценка только той информации, которая актуальна при визуальном восприятии структуры изображения в условиях нормального рассматривания. Методы оценки детальной точности, разработка которых описана в работах [1, 6-10], позволяют моделировать данные условия и, как следствие, оценивать возможные искажения материальной стадии полиграфического процесса на ранней, нематериальной стадии этого процесса. Тем не менее, несмотря на доказанную точность данных методов и их адаптированность под реальные производственные условия, до настоящего момента они не были реализованы в виде готовых программных решений, которые можно внедрить в реальный полиграфический процесс.

Цель исследования – повышение эффективности полиграфического процесса, для чего был разработан программный модуль оценки детальной точности изобразительной информации на основе интегральных методов, предложенных в работах [1, 6-10], апробация данного модуля в реальных производственных условиях и доказательство его применимости для повышения эффективности полиграфического процесса.

Теоретические аспекты исследования

Составляющими компонентами детальной точности являются резкость и шумы изображения. Резкость характеризуется контрастом и шириной зоны перехода яркостей на границах деталей в изображении [11]. Увеличение ширины зоны перехода и снижение контраста неизбежно ведут к размытию резких границ и исчезновению мелких деталей изображения. Причина возникновения этого явления связана с техническими свойствами систем передачи и регистрации изобразительной информации, их несовершенством [8].

Шумы – нежелательные флуктуации и нарушения структуры изображения [6-10], которые неминуемо ведут к снижению качества репродукции. Шумы в полиграфическом процессе оказывают существенное влияние на детальную точность изображения [8]. Их возникновение происходит вследствие действия различных факторов, случайных и детерминированных, таких как структура регистрирующих и запечатываемых материалов, дискретизация при считывании, автотипное растривание, флуктуации физических свойств цифровых сен-

соров и систем воспроизведения и т. д. [1, 6-10]. Наличие периодической структуры в изображениях в процессе полиграфического воспроизведения может привести к возникновению особого типа искажений – муара, представляющего собой вторичную низкочастотную структуру, проявляющуюся в виде полос.

Компоненты детальной точности связаны между собой и в совокупности оказывают влияние на качество передачи деталей изображения. Так, например, избыточное увеличение резкости в изображении приводит к появлению вторичных нежелательных структур и флуктуаций, в то время как уменьшение резкости приводит к потере сюжетно значимых деталей [11].

Методы исследования

Методика оценки детальной точности, которая должна быть реализована в рамках программного модуля, основана на спектральном анализе, согласно которому качество изображений определяется характером его спектра [12-14]. Построение спектра изображения осуществляется посредством применения к изображению преобразования Фурье, в основе которого лежит положение о том, что любая функция может быть представлена в виде совокупности гармонических составляющих (косинусов и синусов) различной частоты и амплитуды [12-14].

Спектральный анализ достаточно широко используется практически, например для оценки оптических систем и систем цифрового фотографирования [12-14]. Так как специфика цифрового изображения заключается в его дискретности, т.е. представлении ограниченным числом отчетов [1-6], используется дискретное преобразование Фурье (ДПФ):

$$F(\nu, \mu) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{\nu x}{M} + \frac{\mu y}{N} \right)}, \quad (1)$$

где ν, μ – частотные переменные, характеризующие пространственную частоту. При анализе спектров часто возникает необходимость в их визуализации. Сделать это можно, представив двумерный спектр в виде пиксельного изображения, в котором яркость каждого пикселя определяется значением амплитуды спектра. Для улучшения качества визуализации необходимо применение логарифмического преобразования, расширяющего динамический диапазон изображения спектра [12]:

$$s = c \log(1 + r), \quad (2)$$

где r, s – значение яркости пикселей до и после обработки соответственно; c – константа.

Применение ДПФ позволяет получить достаточно подробную информацию о структуре изображений. Данная информация извлекается из анализа частотных компонентов. Высоко-частотные составляющие в основном определяют передачу мелких деталей в изображении, низкочастотные – крупных.

Для реализации методов оценки детальной точности необходимо решение двух проблем – проблемы учета нелинейности многостадийного полиграфического процесса воспроизведения изобразительной информации и проблемы выбора актуального критерия при оценке качества изображения.

Первая проблема может быть решена на основе того очевидного положения, что потребителю важно, чтобы изображение было передано без искажений. Критерий качественного воспроизведения изобразительной информации сводится к требованию сохранения спектра исходного изображения. Сопоставление спектров исходного изображения и репродукции позволяет оценить потери и преобразования, которые претерпевает сигнал изображения [1, 6-10].

Решение второй проблемы может быть основано, по сути, на том же принципе, что и решение первой проблемы, – на приоритете обеспечения реальных потребительских требований к качеству продукции. Фильтрация спектра изображения фильтром нижних частот, моделирующим частотный диапазон восприятия человеческого глаза и частотное распределение его пропускной способности в нормальных условиях рассматривания печатного изобра-

жения, позволяет оценить реальное для потребителя воздействие растровой структуры и других влияющих факторов [1, 6-10].

Таким образом, общая концепция методики оценки детальной точности, используемой в разрабатываемом программном модуле, заключается в сравнении спектров изображений цифрового оригинала и его растровой репродукции, напечатанной на бумаге, в пределах визуального восприятия этих изображений зрительной системой человека. По своей сути зрительная система человека является фильтром нижних частот, поэтому ее характеристика может быть описана с помощью соответствующей частотной характеристики в виде функции передачи модуляции (ФПМ), которая представлена на рисунке 1 [7].

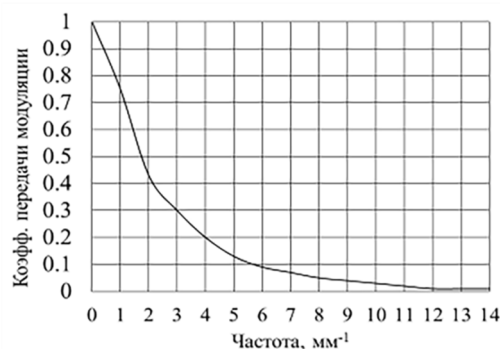


Рисунок 1 – ФПМ зрительной системы человека
Figure 1 – Modulation transfer function of human visual system

В работах [7-10] моделирование данной ФПМ осуществляется с использованием фильтра нижних частот Гаусса, частотная характеристика которого определяется выражением:

$$H(u) = e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где σ – стандартное отклонение гауссовой функции; u – частотная переменная. Величина σ определяет форму и ширину частотной характеристики. Согласно [7, 12] величине σ соответствует значение передаточной функции, равное 0,607, поэтому по графику ФПМ на рисунке 2 можно определить нужное значение стандартного отклонения, необходимое при моделировании соответствующего фильтра.

Частота, от которой начинается отличие спектров исходного и репродуцированного изображений, рассматривается как граничная, которая характеризует качество воспроизведения деталей [1, 6-10]. Пример определения граничной частоты представлен на рисунке 2, в котором 1 – спектр цифрового оригинала изображения, 2 – спектр репродукции, полученной в результате растривания с применением регулярной растровой структуры с линиатурой (частотой) 200 lpi. Граничная частота обозначена на рисунке цифрой 3 [1].

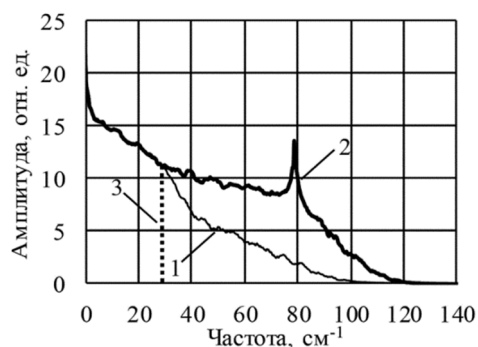


Рисунок 2 – Пример определения граничной частоты:
1 – спектр оригинала, 2 – спектр растровой репродукции, 3 – значение граничной частоты
Figure 2 – Example of determining boundary frequency: 1 – original spectrum,
2 – raster reproduction spectrum, 3 – boundary frequency value

Помимо определения значений детальной точности, в спектре изображения, обработанного фильтром, моделирующим зрительную систему человека, можно обнаружить периодические составляющие в виде частотных выбросов, способные в дальнейшем стать причиной возникновения муара. В работах [1, 8-10] определение таких составляющих осуществляется посредством визуального анализа графиков одномерных сечений спектров. В рамках данной работы предложен автоматизированный подход, основанный на кластеризации методом K-means. Суть данного подхода заключается в группировке объектов в наборы (кластеры) на основе их схожести [17]. Алгоритм кластеризации в этом случае стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров (4):

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} (x - \mu_i)^2, \quad (4)$$

где k – число кластеров; S_i – полученные кластеры; μ_i – центры масс всех векторов x из кластера S_i [17]. Применительно к методике оценки детальной точности, график одномерного сечения спектра разбивается на n промежутков, затем внутри каждого промежутка вычисляется разница между максимальным и минимальным значениями амплитуд. Далее, с помощью кластеризации методом K-means, производится отбор полученных значений, соответствующих тем частотным областям, в которых потенциально может проявиться муар.

Практические аспекты исследования: разработка программного модуля

Разрабатываемый программный модуль необходим для вычисления детальной точности и обнаружения проблемных участков, которые могут быть подвержены муарообразованию в процессе полиграфического воспроизведения. Вычисление данных параметров позволит осуществлять настройку параметров полиграфического процесса с учётом технологических возможностей полиграфического предприятия. Разрабатываемый программный модуль состоит из блоков, каждый из которых предназначен для выполнения своих задач. Структура программного модуля представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структура программного модуля оценки детальной точности

Figure 3 – The structure of detailed precision assessment software module

1) *Блок подключения библиотек* необходим для использования специальных наборов функций, включающих построение спектров, фильтрацию и т. д.

2) *Блок загрузки данных* решает задачи загрузки изображений тестовых образцов (изображений), для которых необходимо выполнить оценку детальной точности – исходного цифрового оригинала и его растровой репродукции.

3) *Блок моделирования визуального восприятия* предназначен для обработки загружаемых изображений фильтром нижних частот, пространственные характеристики которого соответствуют оптическим свойствам зрительной системы человека.

4) *Блок вычисления спектров* выполняет задачи по применению двумерного дискретного преобразования Фурье к загружаемым изображениям, а также визуализации результатов этого преобразования.

5) *Блок поиска периодических составляющих* предназначен для выявления участков в спектре исходного изображения, которые потенциально подвержены муарообразованию, и вывода значений соответствующих частот, которые являются «проблемными».

6) Блок вычисления граничной частоты предназначен для вывода значения параметра детальной точности, определяемой как граничная частота, в которой начинаются отличия спектров исходного изображения и его растровой репродукции.

Программный модуль разрабатывается в облачной программной среде Google Colaboratory с использованием языка программирования Python и библиотек NumPy, Matplotlib, Math, Scipy, OpenCV, Scikit-learn [15, 16]. Схема алгоритма оценки детальной точности, который должен быть реализован в разрабатываемом программном модуле, была рассмотрена в работе [1] и представлена на рисунке 4.

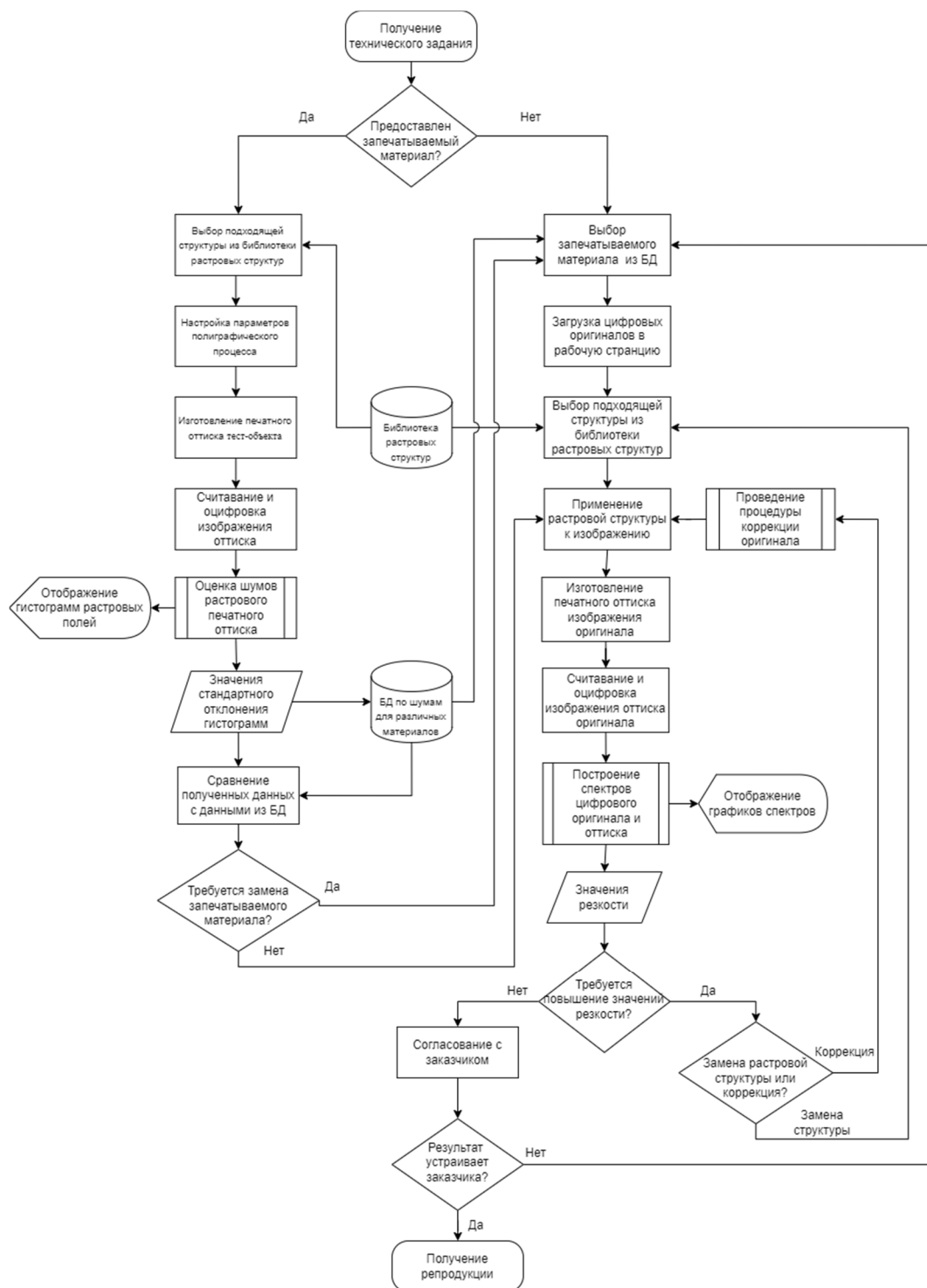


Рисунок 4 – Алгоритм оценки детальной точности
Figure 4 – Algorithm for detailed precision estimation

Программный модуль оценки детальной точности реализован в виде файла в программной среде Google Colaboratory, который содержит все необходимые блоки, реализующие представленный алгоритм.

Практические аспекты исследования: апробация программного модуля

Возможности программного модуля протестированы на примере изображения, представленного на рисунке 5. На данном тестовом изображении представлены объекты, состоящие из множества тонких полос с высокой частотой (отдельные участки специально увеличены).

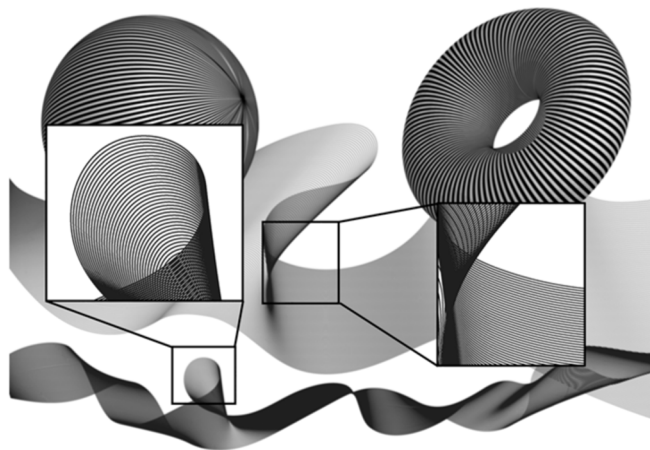


Рисунок 5 – Тестовое изображение
Figure 5 – Test image

Значение частоты этих линий неизвестно, что создает высокие риски возникновения муара в случае применения регулярной растровой структуры. В то же время сохранение высоких показателей детальной точности является приоритетной задачей. Спектральный анализ позволяет выявить частотные составляющие, которые могут быть подвержены муарообразованию, за счет обнаружения резкого повышения значений амплитуд в искомым областях.

Тестовое изображение загружается в программный модуль оценки детальной точности. Далее реализуются шаги согласно разработанному алгоритму – моделирование визуального восприятия в нормальных условиях, вычисление спектра Фурье, применение логарифмического преобразования. Воспроизведение оригинала планируется с использованием регулярной растровой структуры, ориентированной под углом 45° . Одномерное сечение спектра, построенное в программной среде Google Colaboratory по данному направлению, представлено на рисунке 6. В качестве единицы измерения используется параметр «количество циклов на пиксель» (cy/px). В данном случае под одним циклом понимаются одна светлая и одна темная линии на определенной единице длины. Удобство использования данной единицы измерения обусловлено тем, что она позволяет не привязываться к параметру разрешения загружаемых изображений [19].

Необходимо также упомянуть, что данный угол поворота используется в полиграфии для печати черной краской. Для печати триадными красками используются другие углы поворота – 0° для желтой, 15° для голубой и 75° для пурпурной соответственно [18]. Поэтому для проведения оценок по данным растровым структурам необходимо строить срез, соответствующий нужному углу поворота. Однако подобное расширение экспериментальной базы выходит за пределы данной исследовательской работы.

Поиск областей частот, которые потенциально могут инициировать муар, производится путем вычисления максимальной разницы между значениями амплитуд, взятых на одном из промежутков, на которые разбита частотная область. В рамках апробации частотная область спектра разбита на 564 промежутка. Далее, с помощью кластеризации методом K-means производится отбор значений, которые соответствуют тем частотным областям, в которых потенциально может проявиться муар. Вычисления показывают, что на всем частотном диапа-

зоне существуют 11 частотных диапазонов, которые в дальнейшем могут привести к возникновению муара. Особый интерес представляют интервалы $[0,113 \text{ су/рх}, 0,142 \text{ су/рх}]$ $[0,1702 \text{ су/рх}, 0,199 \text{ су/рх}]$ $[0,227 \text{ су/рх}, 0,255 \text{ су/рх}]$, поскольку значения амплитуд в этих областях достаточно велики по сравнению с остальными восемью интервалами. Таким образом, использование регулярных растровых структур с данными частотами может привести к муарообразованию.



Рисунок 6 – Одномерное сечение спектра тестового изображения
Figure 6 – One-dimensional cross section of test image spectrum

В работе [1] доказано, что использование альтернативных способов повышения качества в виде регулярных высоколинейатурных растров и нерегулярных структур приводит к увеличению шума, поэтому наилучшим выходом из данной ситуации будет предварительная коррекция с целью размытия периодических полос в оригинале, поскольку они не несут важной информации о сюжете. На рисунке 7 представлены спектры оригинала, обработанного фильтром размытия, и его репродукции, воспроизведённой с помощью регулярной растровой структуры с линейатурой 150 lpi. Значение детальной точности при этом соответствует частоте 0,06 су/рх или 18 лин/см.

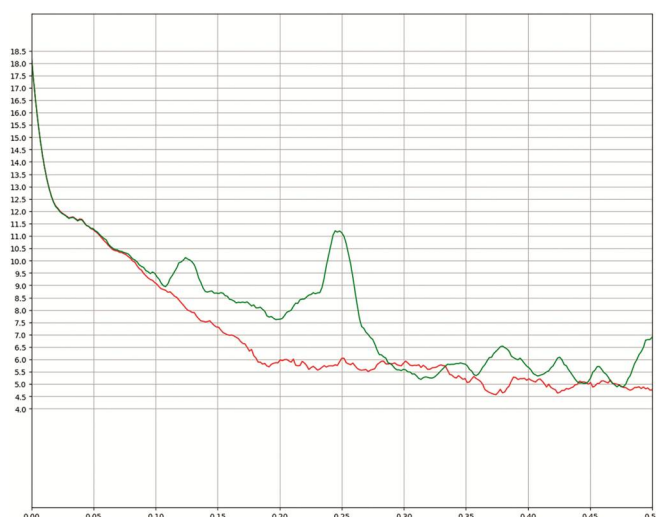


Рисунок 7 – Одномерное сечение спектров тестового изображения и его растровой репродукции, растриванной с линейатурой 150 lpi
Figure 7 – One-dimensional cross section of test image spectra and its raster reproduction, rasterized with a 150 lpi lineature

Как видно из графика спектра, построенного для репродукции, в месте, где начинается его отличие от спектра оригинала, наблюдается подъем амплитуд, соответствующих частотам 0.12 су/рх или 39 лин/см. Таким образом, значение детальной точности при использовании выбранной линиатуры растривования, соответствует данной частоте. Для того чтобы повысить данное значение, было принято решение об использовании растровой структуры более высокой линиатуры (175 lpi). Результаты приведены на рисунке 8.

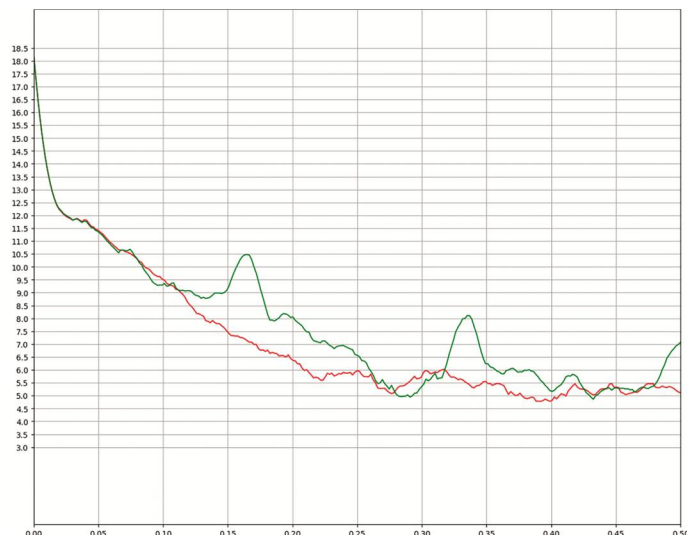


Рисунок 8 – Одномерное сечение спектров тестового изображения и его растровой репродукции, растриванной с линиатурой 175 lpi

Figure 8 – One-dimensional cross section of test image spectra and its raster reproduction, rasterized with a 175 lpi lineature

Как видно из рисунка 8, использование растровой структуры с более высокой линиатурой не приводит к существенному изменению показателя детальной точности, а потому нет необходимости в усложнении технологического процесса.

В рамках исследований по данной работе программный модуль применялся для анализа различных изображений, отличающихся как по степени детализации, так и по семантике. Результаты, полученные для других образцов, показали, что программный модуль позволяет точно определить значение детальной точности, а также выбрать технологические преобразования, с помощью которых возможно наиболее эффективно управлять данным параметром.

Применение программного модуля в реальных производственных условиях показывает его эффективность с точки зрения оптимизации технологического процесса изготовления полиграфической продукции.

Практические аспекты исследования: анализ различных состояний полиграфического процесса

Для того чтобы проанализировать, насколько внедряемый программный модуль оценки детальной точности способен повысить эффективность полиграфического процесса, необходимо описать его в двух состояниях – до внедрения программного модуля и после. Наиболее распространенным методом описания различных бизнес-процессов является система моделирования Business Process Model and Notation (BPMN) [20].

На рисунке 9 представлена диаграмма BPMN, которая характеризует исходное состояние процесса воспроизведения полиграфической продукции. В данном случае на вероятность возникновения брака в совокупности влияют несколько причин, цикл процесса может продолжаться несколько раз, пока не будет достигнут результат, удовлетворяющий требованиям заказчика. Вследствие этого из-за резкого роста затрат весь производственный процесс становится нерентабельным.

В случае возникновения брака, вызванного муаром, снижением уровня детальной точности и возникновением шумов автотипной растровой структуры, приходится периодически повторять цикл, в котором изготавливаются пробные или так называемые «подписные» оттиски. Все это приводит к увеличению затрат, поскольку согласно исследованиям, проведенным в работе [1], приходится изготавливать от 2 до 5 пробных оттисков, фактически прибегая к методу ручного перебора параметров печатного процесса для того, чтобы минимизировать потери резкости, предметный муар, нежелательную шумовую структуру в случае изображений имеющих сложную структуру (рисунок 5).

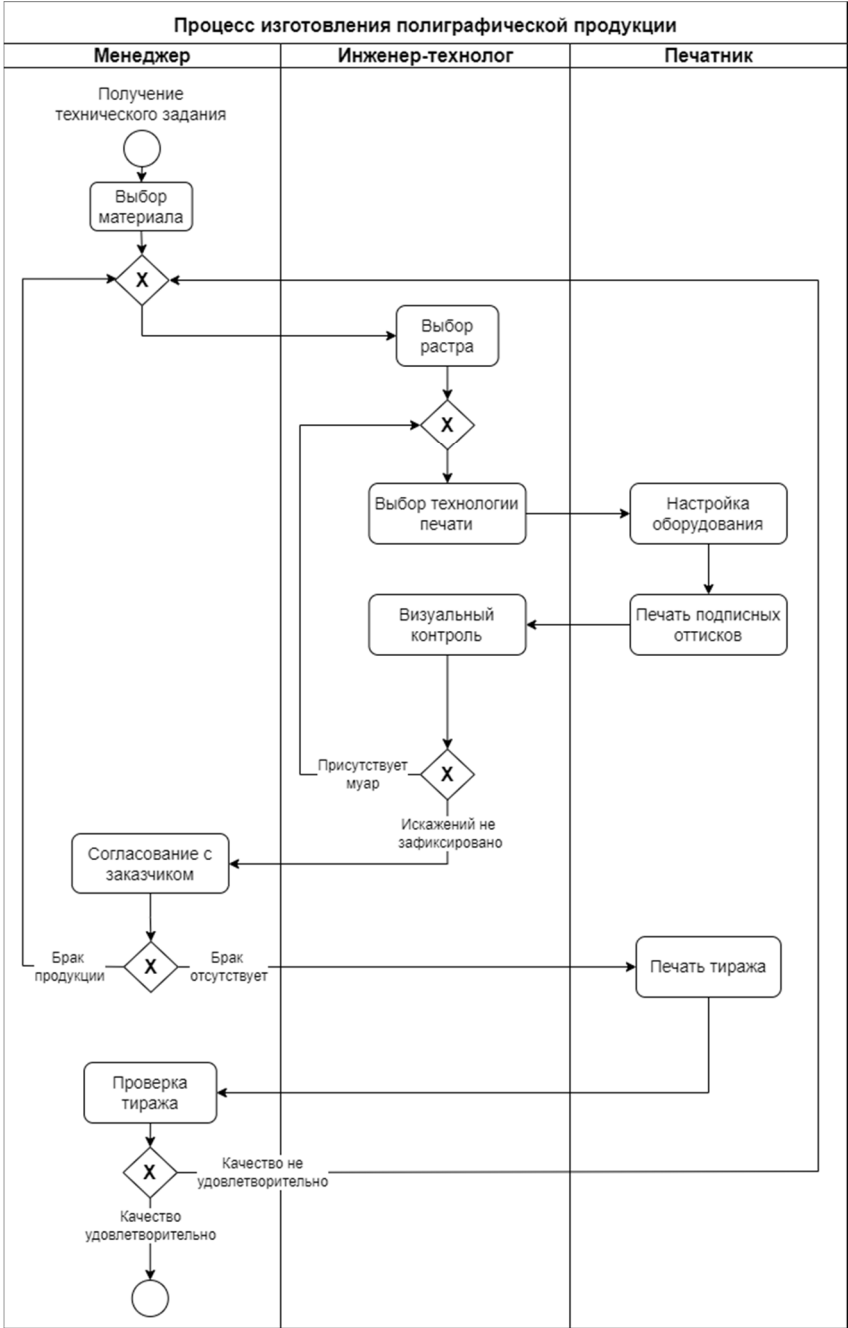


Рисунок 9 – Диаграмма BPMN исходного состояния полиграфического процесса
Figure 9 – BPMN diagram for the initial state of printing process

Использование разработанного программного модуля оценки детальной точности позволяет выявить возможность возникновения брака еще на ранней стадии производства. На рисунке 10 представлена диаграмма BPMN, которая характеризует состояние процесса с включенным в него программным модулем.

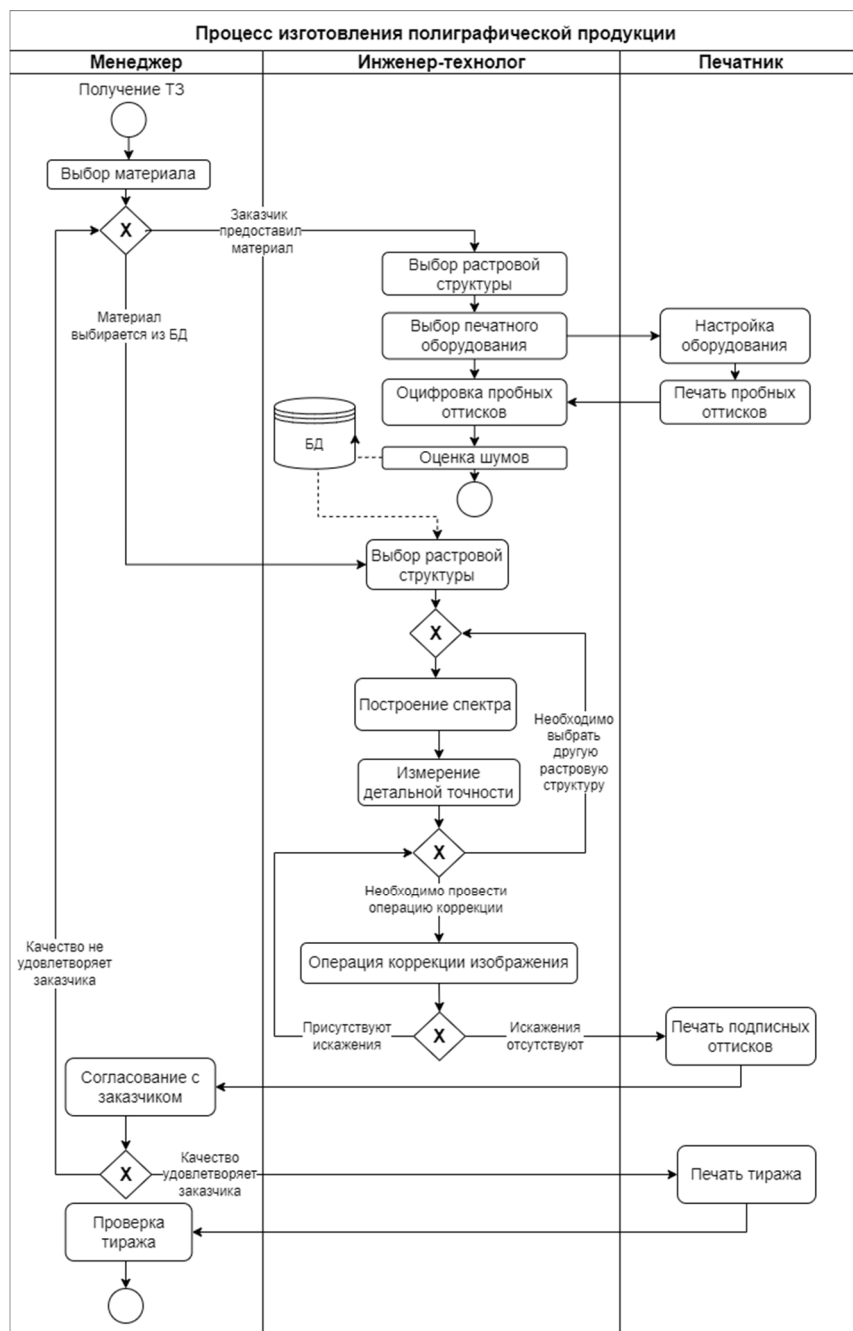


Рисунок 10 – Диаграмма BPMN модернизированного полиграфического процесса

Figure 10 – BPMN diagram of upgraded printing process

Обсуждение результатов

На основании результатов исследований установлено, что неправильный подбор растровой структуры, отсутствие необходимой предварительной коррекции, учитывающей особенности каждого изображения, в совокупности могут привести к возникновению брака, что существенно увеличивает производственные затраты. Необходимо сделать расчет и сопоставительный анализ объемов затрат в условиях отсутствия разработанного программного модуля и в условиях, когда этот модуль функционирует на предприятии.

Расчет затрат осуществляется по методу Activity-Based Costing (ABC), который предполагает расчет затрат по видам деятельности. В полиграфии данный метод адаптирован для учета всех этапов производства, включая подготовку, печать и постпечатную обработку, при этом затраты распределяются пропорционально загрузке оборудования и времени выполнения операций [21-23].

В настоящий момент самыми распространенными технологиями печати являются цифровая офсетная печать [24]. Первая ориентирована на изготовление небольших тиражей от одного до 500 экземпляров, вторая предназначена для многотиражной и периодической продукции. Офсетная печать становится рентабельной, когда тираж составляет от 5 тыс. экземпляров [18]. Поскольку в настоящий момент наблюдается тенденция по сокращению тиражности и расширению ассортимента продукции, изготавливаемой «по требованию» [25], в рамках данного исследования уделено внимание цифровой печати.

В таблице 1 приведен расчет затрат по методу ABC для тиражей печатной продукции, изготавливаемых с помощью цифровой электрографической печати на оборудовании Xerox DC 240.

Таблица 1 – Расчет себестоимости полиграфической продукции

Table 1 – Calculation of printing products cost

Технология	Цифровая печать
Оборудование	Xerox DC 240
Разрешение печати	300 dpi
Формат	A3
Материал	Бумага, 90 г/м ²
Тираж	500 экз.
Затраты на допечатную подготовку макета	Время работы дизайнера: 1 час. Стоимость 1 часа работы дизайнера: 1000 рублей. Итого: 1000 рублей
Изготовление печатных форм	–
Стоимость запечатываемых материалов	Площадь листа A3: $0,297 \text{ м} \times 0,420 \text{ м} = 0,12474 \text{ м}^2$. Вес одного листа: $90 \text{ г/м}^2 \times 0,12474 \text{ м}^2 = 11,2266 \text{ г}$. Стоимость бумаги: $500 \text{ листов} \times 11,2266 \text{ г} = 5613,3 \text{ г} (5,6133 \text{ кг})$. Стоимость 1 кг бумаги: 100 рублей Итого: $5,6133 \text{ кг} \times 100 \text{ руб./кг} = 561,33 \text{ рубля}$
Стоимость красочных материалов (тонера/печатной краски)	Расход тонера: 0,8 г на лист A3. Общий расход тонера: $500 \text{ листов} \times 0,8 \text{ г} = 400 \text{ г}$. Стоимость тонера: 2000 рублей за 1 кг Итого: $0,4 \text{ кг} \times 2000 \text{ руб./кг} = 800 \text{ рублей}$
Амортизация оборудования	Стоимость машино-часа Xerox DC 240: 500 рублей. Настройка печати: 10 мин. (0,166 часа). Время печати: $500 \text{ листов} \times 10 \text{ секунд} = 5000 \text{ секунд} (1,388 \text{ часа})$. Итого: $1,554 \text{ часа} \times 500 \text{ руб./час} = 777 \text{ рублей}$
Электроэнергия	Потребление Xerox DC 240: 1,5 кВт/час. Стоимость электроэнергии: 5 рублей за кВт·ч. Итого: $1,5 \text{ кВт} \times 1,554 \text{ часа} \times 5 \text{ руб./кВт·ч} = 11,655 \text{ руб.}$
Постпечатная обработка (резка и фальцовка)	Время обработки: 0,5 часа. Стоимость часа работы оператора: 500 рублей. Итого: $0,5 \text{ часа} \times 500 \text{ руб./час} = 250 \text{ рублей}$.
Упаковка	200 руб.
Общая себестоимость тиража	3599,98 руб.
Себестоимость одного оттиска	7,19 руб.

Для того чтобы количественно оценить эффект от внедрения программного модуля, в исходном состоянии полиграфического процесса была смоделирована ситуация, когда пробный оттиск изображения со сложной структурой (рисунок 5) необходимо перепечатывать дважды по причине возникновения муара, дважды по причине возникновения шумов растровой структуры и дважды по причине потери резкости изображения. Сначала подобная ситуация была смоделирована на цифровом печатном оборудовании Xerox DC 240. Результаты приведены ниже:

Основные затраты:

1. Бумага для пробных оттисков:

– 6 листов $\times 11,23 \text{ г} = 67,38 \text{ г}$;

– стоимость: $0,06738 \text{ кг} \times 100 \text{ руб./кг} = 6,74 \text{ руб.}$

2. Тонер для пробных оттисков:

– расход тонера: $6 \text{ листов} \times 0,8 \text{ г} = 4,8 \text{ г};$

– стоимость: $0,0048 \text{ кг} \times 2000 \text{ руб./кг} = 9,6 \text{ руб.}$

3. Амортизация оборудования:

– время печати: $6 \text{ листов} \times 10 \text{ с} = 60 \text{ с} (0,017 \text{ часа};$

– стоимость: $0,017 \text{ часа} \times 500 \text{ руб./час} = 8,5 \text{ руб.}$

4. Электроэнергия:

– потребление: $1,5 \text{ кВт} \times 0,017 \text{ часа} \times 5 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = 0,13 \text{ руб.}$

5. Трудозатраты:

– время сотрудников на устранение проблемы: 1 час.

– стоимость: $1 \text{ часа} \times 1000 \text{ руб./час} = 1000 \text{ руб.}$

6. Печать тиража:

– себестоимость тиража (500 экз.): 3599,98 руб.

Итого:

1. Пробные оттиски: $6,74 + 9,6 + 8,5 + 0,13 = 24,97 \text{ руб.}$

2. Трудозатраты: 1000 рублей.

3. Общие затраты: 4624,95 руб.

Как видно из результатов, убытки составили 1024,97 руб., т.е. 22 % от стоимости тиража, что существенно даже для типографии, в которой практикуется печать по требованию и для которой печать одного экземпляра должно являться рентабельным.

Применение программного метода оценки детальной точности позволит сократить временные и финансовые затраты. При цифровой печати тиража количеством 500 экземпляров сокращение затрат составляет 26 %. Необходимо учитывать, что цифровая печать является наиболее экономичной технологией, применяемой при изготовлении небольших тиражей, и получение подобных значений является довольно существенным.

Также дополнительно были проведены исследования по повышению эффективности полиграфического процесса, основанного на офсетном способе печати. При тираже 500 экземпляров сокращение затрат составило 57,98 %. Таким образом, применение программного модуля оценки детальной точности в значительной степени повышает эффективность полиграфического процесса.

Заключение

В рамках данной статьи осуществлены разработка и внедрение программного модуля оценки детальной точности изобразительной информации с целью повышения эффективности полиграфического процесса воспроизведения. Программный модуль использует в своей основе методику оценки детальной точности, основанной на концепции оценки изобразительной информации в пределах ее визуального восприятия зрительной системой человека при нормальных условиях рассматривания, а также учитывающей многостадийность и нелинейность полиграфического процесса. На основе описанной методики предложен алгоритм оценки, который реализован в рамках предложенного программного решения.

Доказана применимость программного модуля оценки детальной точности в реальном полиграфическом процессе воспроизведения оригинала со сложной структурой. Результаты оценки можно использовать для настройки параметров полиграфического процесса, выбора подходящей растровой структуры, принятия решений по коррекции исходного изображения. Разработанный программный модуль позволяет прогнозировать на нематериальной стадии полиграфического процесса такие явления, как потеря резкости, шумы автотипной растровой структуры, объектный муар, которые в совокупности могут привести к снижению значений параметра детальной точности и возникновению брака.

В результате сравнительного анализа исходного и модифицированного состояний полиграфического процесса доказано, что программный модуль оценки детальной точности поз-

воляет в существенной степени повысить эффективность полиграфического процесса за счет сокращения финансовых и трудовых затрат, которые могут возникнуть в результате повторений отдельных операций с целью получения удовлетворяющего требованиям результата.

Библиографический список

1. Гнибеда А.Ю., Андреев Ю.С. Разработка технологии управления и оптимизации процесса воспроизведения изображений в полиграфической репродукционной системе // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 3. С. 77-87.
2. Андреев Ю.С., Каныгин Н.И., Сорокин В.А. Воспроизведение периодических решеток в растровых системах поэлементной обработки изображений // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. 1995. № 2. С. 39-46.
3. Андреев Ю.С., Макеева Т.А. Об оценке качества воспроизведения штриховых деталей по отношению сигнал/шум // Технология и исследование полиграфических процессов: Межвед. сб. научн. тр. М.: МГУП им. Ивана Федорова. 2014. С. 106-111.
4. Кузнецов Ю.В. Основы технологии иллюстрационной печати / Ю. В. Кузнецов. СПб.: НП «Русская культура», 2016. 440 с.
5. Желудев Д.Е. Количественная оценка величины растровых искажений и геометрической точности воспроизведения деталей оригинала // Дизайн. Материалы. Технология. № 2 (5) /СПГУТД. СПб. 2008. С. 24-27.
6. Макеева Т.А., Гнибеда А.Ю. Сравнительный анализ методов оценки структурных свойств цифровых изображений // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2014. № 5. С. 65-70.
7. Гнибеда А.Ю., Андреев Ю.С. Разработка метода оценки визуального восприятия однородности печатного изображения // Известия ВУЗов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2016. № 4. С. 63-70.
8. Андреев Ю.С., Гнибеда А.Ю. Детальная точность при полиграфическом воспроизведении изобразительной информации – оценка резкости // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12 (2). С. 139-150.
9. Андреев Ю.С., Гнибеда А.Ю. Детальная точность при полиграфическом воспроизведении изобразительной информации – оценка шумов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12 (2). С. 245-253.
10. Гнибеда А.Ю., Гурьянова О.А. Исследование возможности повышения резкости изобразительной информации, предназначенной для электронных публикаций. Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 2. С. 98-111.
11. Севрюгин В.Р. Система структурометрии процесса поэлементной записи. Пространственные характеристики воспроизведения // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. № 4. С. 46-59.
12. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing, 4rd edition. Pearson, 2018. PP. 1168
13. Волков В. А. Ряды Фурье. Интегральные преобразования Фурье и Радона: учебно-методическое пособие . Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. С. 32
14. Gonzalez R.C, Woods R.E., Eddins S.L. Digital Image Processing Using MATLAB, 3rd edition. Gatesmark Publishing, 2020. PP. 1009.
15. NumPy User Guide // NumPy documentation. [Электронный ресурс]: <https://numpy.org/doc/stable/> (дата обращения 01.03.2025).
16. The Python Standard Library // Python documentation. [Электронный ресурс]: <https://www.python.org/> (дата обращения 01.03.2025).
17. Кластеризация // Учебник по машинному обучению. [Электронный ресурс]: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/klasterizaciya> (дата обращения 01.03.2025).
18. Киппхан Г. Энциклопедия по Печатным Средствам Информации. Московский Государственный Университет Печати, 2003. 1260 С.
19. Resolution and MTF (modulation transfer function) // Quick MTF, an image quality testing application. [Электронный ресурс]: <https://quickmtf.com/about-resolution.html> (дата обращения 01.03.2025).
20. Business Process Model And Notation // Object Management Group Business Process Model and Notation. [Электронный ресурс]: <https://www.bpmn.org/> (дата обращения 01.03.2025).

21. **Ngo Thi Thu Giang.** Applying the Job Costing Method in Calculating Costs of Printing Enterprises N. T. T. Giang // International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies. 2024. Vol.4, № 1. PP. 1361-1363.
22. **Zafer Özomay.** Variable and fixed costs in the printing industry // Social, human and administrative sciences. 2023. Artikel Akademi. pp. 89-97.
23. **Герасимова Л.Н., Каце С.В.** Особенности калькулирования себестоимости продукции в полиграфическом производстве // Вестник ГУУ. 2014. № 11. С. 78-82.
24. Printing Industry Trends in Focus for 2024 // Printech. [Электронный ресурс]: <https://printech-expo.ru/en/media/news/2023/november/13/tendencii-v-poligrafii-rf-2023/> (дата обращения 01.03.2025).
25. Navigating the Future: Print Industry Trends for 2025// Kodak. [Электронный ресурс]: <https://www.kodak.com/en/print/blog-post/print-industry-trends-2025/> (дата обращения 01.03.2025).

UDC 004.932.2

EVALUATION OF PICTORIAL INFORMATION DETAILED PRECISION TO IMPROVE PRINTING PROCESS EFFICIENCY

A. Yu. Gnibeda, Lecturer, Department of «Infocognitive Technologies», Moscow Polytechnic University, Moscow Poly, Moscow, Russia;

orcid.org/0000-0003-2442-4951, e-mail: me@gnibeda.ru

E. A. Pukhova, Ph. D (in technical sciences), Associate Professor, Head of the Department of «Infocognitive Technologies», Moscow Polytechnic University, Moscow Poly, Moscow, Russia;

orcid.org/0000-0003-1808-9595, e-mail: ea.puhova@mail.ru

A. Yu. Gnibeda, Senior Development Engineer, Sberbank of Russia, Moscow, Russia;

orcid.org/0000-0003-1808-9595, e-mail: ea.puhova@mail.ru

A. A. Zakharova, Dr. in technical sciences, Associate Professor, Chief Scientific Officer, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

orcid.org/0000-0003-4221-7710, e-mail: zaa@ipu.ru

The efficiency of printing process is largely determined by the accuracy of setting the parameters of this process, as well as the ability to predict various undesirable phenomena at its intangible stage. The search and development of software solutions aimed at achieving these criteria is an urgent task. Currently, there are no solutions that could fully take into account the specifics of printing process, which consists in its multi-stage and non-linearity. Within the framework of this article, a software module is proposed for assessing the detailed precision of visual information reproduced using printing processes, which is based on modern approaches to assess the quality of printing products and takes into account the specifics of these processes. Software module to assess the detailed precision of visual information allows predicting various distortions and transformations at the intangible stage of printing process, which lead to increase in defects and costs. A comparative analysis of printing process conditions before and after the application of developed software module shows the reduction in material and labor costs which is evidence of higher efficiency of printing process.

Keywords: visual information; printing process; process management; software module development; process efficiency; detailed precision; algorithm; BPMN; autotype rasterization.

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-93-168-183

References

1. **Gnibeda A.Yu., Andreev Yu.S.** Razrabotka tekhnologii upravleniya i optimizacii processa vosproizvedeniya izobrazhenij v poligraficheskoj reprodukcionnoj sisteme. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2019, no. 3, pp. 77-87.
2. **Andreev Yu.S., Kanygin N.I., Sorokin V.A.** Vosproizvedenie periodicheskikh reshetok v rastrovnykh sistemakh poehlementnoj obrabotki izobrazhenij. *Zhurnal nauchnoj i prikladnoj fotografii i kinematografii*. 1995, no. 2, pp. 39-46.

3. **Andreev Yu.S., Makeeva T.A.** Ob ocenke kachestva vosпроизvedeniya shtrikhovykh detalej po tnosheniyu signal/shum. *Tekhnologiya i issledovanie poligraficheskikh processov*: Mezhd. sb. nauchn. tr. M.: MGUP im. Ivana Fedorova. 2014, pp. 106-111.
4. **Kuznecov Yu.V.** Osnovy tekhnologii illyustracionnoj pechati / YU. V. Kuznecov. SPb.: NP «Russkaya kul'tura», 2016, 440 p.
5. **Zheludev D.E.** Kolichestvennaya ocenka velichiny rastroykh iskazhenij i geometricheskoj tochnosti vosпроизvedeniya detalej originala. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya*. no. 2 (5), SPGUTD. SPb. 2008, pp. 24-27.
6. **Makeeva T.A., Gnibeda A.Yu.** Sravnitel'nyj analiz metodov ocenki strukturnykh svoystv cifrovyykh izobrazhenij. *Izvestiya VUZov. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*. 2014, no. 5, pp. 65-70.
7. **Gnibeda A.Yu., Andreev Yu.S.** Razrabotka metoda ocenki vizual'nogo vospriyatiya odnorodnosti pechatnogo izobrazheniya. *Izvestiya VUZov. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*. 2016, no. 4, pp. 63-70.
8. **Andreev Yu.S., Gnibeda A.Yu.** Detal'naya tochnost' pri poligraficheskom vosпроизvedenii izobrazitel'noj informacii – ocenka rezkosti. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2017, no. 12 (2), pp. 139-150.
9. **Andreev Yu.S., Gnibeda A.Yu.** Detal'naya tochnost' pri poligraficheskom vosпроизvedenii izobrazitel'noj informacii – ocenka shumov. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2017, no. 12 (2), pp. 245-253.
10. **Gnibeda A.Yu., Gur'yanova O.A.** Issledovanie vozmozhnosti povysheniya rezkosti izobrazitel'noj informacii, prednaznachennoj dlya ehlektronnykh publikacij. *Prikladnaya informatika*. 2020, vol. 15, no. 2, pp. 98-111.
11. **Sevryugin V.R.** Sistema strukturometrii processa poehlementnoj zapisi. Prostranstvennye kharakteristiki vosпроизvedeniya. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*. 2012, no. 4, pp. 46-59.
12. **Gonzalez R.C., Woods R.E.** Digital Image Processing, 4rd edition. Pearson, 2018, pp. 1168.
13. **Volkov V. A.** Ryady Fur'e. Integral'nye preobrazovaniya Fur'e i Radona : uchebno-metodicheskoe posobie. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2014, p. 32
14. **Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L.** Digital Image Processing Using MATLAB, 3rd edition. Gatesmark Publishing, 2020, pp. 1009.
15. NumPy User Guide. NumPy documentation. [Ehlektronnyj resurs]: <https://numpy.org/doc/stable/> (data obrashcheniya 01.03.2025).
16. The Python Standard Library. Python documentation. [Ehlektronnyj resurs]: <https://www.python.org/> (data obrashcheniya 01.03.2025).
17. Klasterizaciya. *Uchebnik po mashinnomu obucheniyu*. [Ehlektronnyj resurs]: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/klasterizaciya> (data obrashcheniya 01.03.2025).
18. **Kippkhan G.** *Ehnciklopediya po Pечатnym Sredstvam Informacii*. Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet Pechati, 2003, 1260 p.
19. *Resolution and MTF (modulation transfer function)*. Quick MTF, an image quality testing application. [Ehlektronnyj resurs]: <https://quickmtf.com/about-resolution.html> (data obrashcheniya 01.03.2025).
20. Business Process Model And Notation. Object Management Group Business Process Model and Notation. [Ehlektronnyj resurs]: <https://www.bpmn.org/> (data obrashcheniya 01.03.2025).
21. Ngo Thi Thu Giang. Applying the Job Costing Method in Calculating Costs of Printing Enterprises N. T. T. Giang. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*. 2024, vol. 4, no. 1, pp. 1361-1363.
22. **Zafer Özomay.** Variable and fixed costs in the printing industry. Social, human and administrative sciences. 2023, *Artikel Akademi*, pp. 89-97.
23. **Gerasimova L.N., Kace S.V.** Osobennosti kal'kulirovaniya sebestoimosti produkcii v poligraficheskom proizvodstve. *Vestnik GUU*. 2014, no. 11, pp. 78-82.
24. Printing Industry Trends in Focus for 2024. *Printech*. [Ehlektronnyj resurs]: <https://printech-expo.ru/en/media/news/2023/november/13/tendencii-v-poligrafii-rf-2023/> (data obrashcheniya 01.03.2025).
25. *Navigating the Future: Print Industry Trends for 2025*. Kodak. [Ehlektronnyj resurs]: <https://www.kodak.com/en/print/blog-post/print-industry-trends-2025/> (data obrashcheniya 01.03.2025).