

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДОПЕЧАТНОГО ПРОЦЕССА**

MATHEMATICAL MODELING TO OPTIMIZE THE PREPRINTING PROCESS

*Х.А. БАБАХАНОВА¹, Ш.Б. ТАШМУХАМЕДОВА¹, Д.И. АБДИРАХМАНОВА¹, А.А. САДРИДДИНОВ²
KH.A. BABAKHANOVA¹, SH.B. TASHMUXAMEDOVA¹, D.I. ABDIRAXMANOVA¹, A.A. SADRIDDINOV²*

¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,
²Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан)

¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,
²Namangan Engineering and technology institute, Republic of Uzbekistan)

E-mail: halima300@inbox.ru

Стабильное качество многокрасочной печатной продукции обеспечивается при оптимизации параметров допечатного процесса, в число которых входят свойства растровых структур. Правильный алгоритм растривания обеспечивает точность воспроизведения мелких и малоконтрастных деталей изображения, стабильность печати, некоторое увеличение насыщенности цветных красок в средних тонах, большую разрешающую способность и меньший расход краски. С применением методов математической статистики получено математическое выражение, описывающее зависимость качества воспроизведения от скорости печати и массы бумаги. Установлено, что увеличение скорости способствует сокращению времени контакта и уменьшению величины растривания. При гибридном растривании степень влияния скорости печати и массы бумаги на качество воспроизведения сильнее, чем при регулярном и стохастическом.

Stable quality of multi-color printed products is ensured by optimizing the parameters of the prepress process, which include the properties of raster structures. The correct rastering algorithm ensures the accuracy of reproduction of small and low-contrast image details, printing stability, some increase in the saturation of color paints in midtones, greater resolution and lower paint consumption. Using the methods of mathematical statistics, a mathematical expression was obtained that describes the dependence of the reproduction quality on the print speed and paper weight. It was found that an increase in speed helps to reduce the contact time and decrease the amount of rastering. With hybrid rastering, the degree of influence of the print speed and paper weight on the reproduction quality is stronger than with regular and stochastic.

Ключевые слова: растривание, регулярный растр, стохастический растр, гибридный растр, растискивание.

Keywords: rasterization, regular raster, stochastic raster, hybrid raster, dot gain.

Введение

В современном деловом мире проблема повышения эффективности и снижения

расходов решается оптимизацией технологического процесса [1]. Правильное использование принципов организации про-

изводства способствует сокращению простоев оборудования и сроков выполнения продукции стабильного качества [2]. Предприятия используют новые направления оптимизации управления затратами для повышения эффективности предприятий, среди которых математическое моделирование [3, 4]. При его использовании параметры технологического процесса описываются в виде математической модели, нахождение значений переменных которой позволяет осуществлять поиск оптимального решения [5...8].

Один из способов сокращения нерациональных расходов полиграфических предприятий заключается в оптимизации процесса печати [9...11]. В работе [12] для снижения общих затрат при офсетной печати и улучшения качества печатной продукции использовано математическое моделирование для определения рациональных технологических параметров для «пухлой» бумаги малой плотности. Полученные результаты исследования способствовали оптимизации печатного процесса.

Стабильное качество многокрасочной печатной продукции обеспечивается при оптимизации параметров допечатного процесса, в число которых входят свойства растровых структур. В зависимости от структуры растра полутоновое изображение преобразуется в точки, размеры, формы и расположение которых различны [13]. Правильный алгоритм растрирования обеспечивает точность воспроизведения мелких и малоконтрастных деталей изображения, стабильность печати, некоторое увеличение насыщенности цветных красок в средних тонах, большую разрешающую способность и меньший расход краски.

Применение методов математической статистики способствует оптимизации цветовоспроизведения и выявлению рациональных параметров допечатного технологического процесса для обеспечения соответствия цвета на оттиске цвету, отображаемому на мониторе, за счет создания на оттиске растровой точки необходимого размера без искажения. Как правило, искажение заключается в увеличении размера растровой точки на оттиске

по сравнению с ее исходным размером, этот эффект изменения размеров точки называется в теории и технологии печатных процессов термином «растискивание» [14]. Причины, вызывающие растискивание, могут быть различными: настройка печатного оборудования, вязкость краски, структура поверхности бумаги, поглощение и рассеивание света в бумаге и краске, метод растрирования и др.

В [15] разработана методика расчета процесса оптической поэлементной записи растровых изображений на основе пространственной модели, учитывающая реальное распределение энергии в записываемом пятне в процессе записи. На основе исследования по разработанной модели изучена степень влияния разных факторов записи на параметры качества растровой структуры: оптическую плотность в центре растровых точек и на плашке, ореол размытия, точность воспроизведения размеров растровых точек.

В [16] разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для улучшения качества печатной продукции путем снижения и стабилизации величины растискивания на допечатной стадии. В данной работе исследован процесс растрирования, заключающийся в преобразовании полутонового изображения в штриховое. Предложена модель растискивания печатных элементов с использованием методов бинаризации двумерных сигналов, разработано соответствующее математическое, алгоритмическое обеспечение, позволяющее анализировать параметры растискивания на допечатной стадии.

Современные методы растрирования отличаются друг от друга, и нет таких растровых структур, которые были бы универсальными и могли одинаково решить все задачи репродуцирования изображения. Проблема поиска оптимального варианта в зависимости от сюжетного содержания оригинала, свойств запечатываемого материала, характеристик оборудования допечатного и печатного процессов остается актуальной. К относительно быстрому решению этой проблемы

относится применение средств математического программирования.

Экспериментальная часть

Объектом исследования и критерием оптимизации является растискивание растровых точек полутонового изображения, являющееся дефектом печатного процесса. Количественно растискивание измеряется в процентах от исходной площади растровых точек на оригинале. Используются три вида

растра: регулярный, стохастический и гибридный. Показатели процесса печати (давление печати, время контакта, вязкость краски) установлены равными среднепроизводственным показателям. Основными выявлены следующие варьируемые факторы: масса бумаги и скорость печатной машины (табл. 1).

Таблица 1

Наименование и обозначение факторов	Уровни варьирования			Интервалы варьирования Δ
	(-) X_{\min}	(+) X_{\max}	(0) X_0	
Масса $M - x_1, \text{ г/м}^2$	100	200	150	50
Скорость печатной машины $C - x_2, \text{ тыс. л. отт./ч}$	6,0	8,0	7,0	1,0

Выбраны основные факторы и их уровни варьирования и составлена рабочая матрица с использованием метода полного факторного эксперимента ПФЭ, представленная в табл. 2 (для стохастического расстригивания), табл. 3 (гибридного), табл. 4

(регулярного). В соответствии с матрицей планирования проведено 4 опыта в трехкратной повторности.

Полученные данные статистически обработаны.

Таблица 2

№	Начальные значения		Кодовые значения		Y: значения эксперимента			\bar{Y} сред. значения	S_i^2	S_i
	M, г/м ²	C, тыс. л. отт./ч	x ₁	x ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃			
1	100	6,0	-	-	0,82	0,83	0,81	0,82	0,0001	0,01
2	200	8,0	+	+	0,34	0,29	0,33	0,32	0,0007	0,03
3	200	6,0	+	-	0,69	0,68	0,74	0,7	0,0010	0,03
4	100	8,0	-	+				1,12	0,0002	0,02
								b ₀ =0,74	0,0021	0,08
										0,021

Таблица 3

№	Начальные значения		Кодовые значения		Y: значения эксперимента			\bar{Y} сред. значения	S_i^2	S_i
	M, г/м ²	C, тыс. л. отт./ч	x ₁	x ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃			
1	100	6,0	-	-	2,07	2,09	2,08	2,08	0,0001	0,01
2	200	8,0	+	+	0,033	0,029	0,027	0,03	0,0	0,0
3	200	6,0	+	-	0,26	0,24	0,25	0,25	0,0001	0,01
4	100	8,0	-	+	0,18	0,14	0,16	0,16	0,0004	0,02
								b ₀ =0,63	0,0006	0,04
										0,01

Таблица 4

№	Начальные значения		Кодовые значения		Y: значения эксперимента			\bar{Y} сред. значения	S_i^2	S_i
	M, г/м ²	C, тыс. л. отт./ч	x ₁	x ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃			
1	100	6,0	-	-	0,99	0,95	1,06	1,0	0,0031	0,06
2	200	8,0	+	+	0,08	0,02	0,12	0,07	0,0025	0,05
3	200	6,0	+	-	0,37	0,44	0,25	0,35	0,0092	0,10
4	100	8,0	-	+	0,01	0,06	0,038	0,036	0,0006	0,03
								b ₀ =0,37	0,0155	0,23
										0,06

Проверку однородности ряда дисперсий во всех вариантах эксперимента осуществляли с помощью G-критерия Кохрена. Получены следующие значения:

- для стохастического растривания

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{0,0010}{0,0021} = 0,47,$$

$$G=0,47 < 0,91 = G_{0,05},$$

- для гибридного растривания

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{0,0004}{0,0006} = 0,66,$$

$$G=0,66 < 0,91 = G_{0,05},$$

- для регулярного растривания

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{0,0092}{0,0155} = 0,59,$$

$$G=0,59 < 0,91 = G_{0,05}.$$

Сравнение с табличным $G_{0,05} \{f_N = N = 4, f_m = m - 1 = 2 - 1 = 1\} = 0,91$ показало, что расчетное значение критерия Кохрена меньше табличной величины, поэтому дисперсия считается однородной, а процесс воспроизводимым.

Коэффициенты регрессии представлены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Виды растривания	b0	b1	b2	b12
Стохастическое растривание	0,74	-0,23	-0,02	-0,17
Гибридное растривание	0,63	-0,49	-0,53	0,43
Регулярное растривание	0,37	-0,15	-0,31	0,17

С учетом значения дисперсии воспроизводимости $0S_i^2 = 0.1946$ с доверительной вероятностью $a=0,95$ нашли границы доверительных интервалов. Сравнивая значения коэффициентов регрессии с границами доверительных интервалов, установили, что все коэффициенты значимы. В результате получены математические модели:

- для стохастического растривания

$$y = 0,74 - 0,23x_1 - 0,002x_2 - 0,17x_1x_2,$$

- для гибридного растривания

$$y = 0,63 - 0,49x_1 - 0,53x_2 + 0,43x_1x_2,$$

- для регулярного растривания

$$y = 0,37 - 0,15x_1 - 0,31x_2 + 0,17x_1x_2.$$

На основании полученного уравнения регрессии можно сделать следующие выводы. С увеличением значений двух факторов, отрицательно влияющих на параметр оптимизации, уменьшаются значения растискивания. При гибридном и регулярном растриваниях влияние скорости печати, больше, чем массы бумаги. При использовании стохастического растривания влияние первого фактора больше, чем второго.

При всех видах растривания качество воспроизведения зависит от скорости печати, увеличение скорости способствует уменьшению времени контакта. При гибридном растривании степень влияния

сильнее, чем при регулярном и стохастическом, так как численные значения коэффициентов b_2 меньше.

Уравнение зависимости коэффициента растискивания от массы бумаги и скорости печати можно использовать как интерполяционную формулу для прогнозирования допечатного процесса: при использовании бумаги с определенной массой и заданной скорости печатной машины можно предопределить качество воспроизведения, характеризующее в данном случае через значения растискивания.

Графики зависимости растискивания от скорости печатной машины представлены на рис. 1: а – при стохастическом; б – гибридном; в – регулярном растривании, от массы бумаги – на рис. 2: а – при гибридном; б – регулярном растривании.

Как видно из рис. 1, увеличение скорости печатной машины, приводящее к уменьшению времени контакта печатной формы с запечатываемой поверхностью, способствует меньшему растискиванию при всех видах растривания в среднем в два раза. При печати на плотной бумаге растискивание увеличивается в среднем на 18 %.

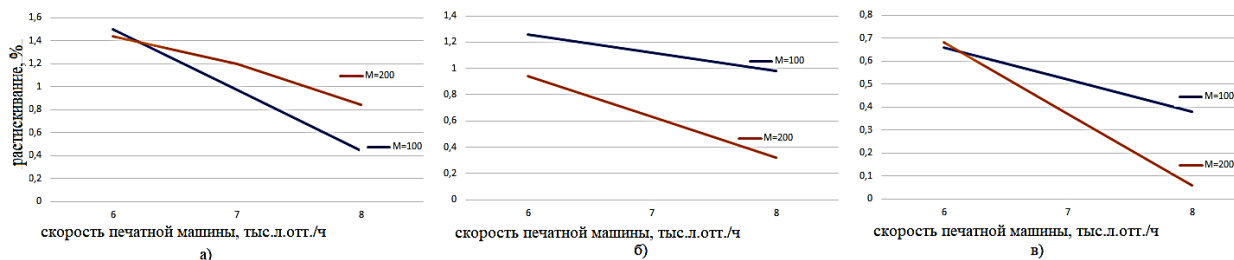


Рис. 1

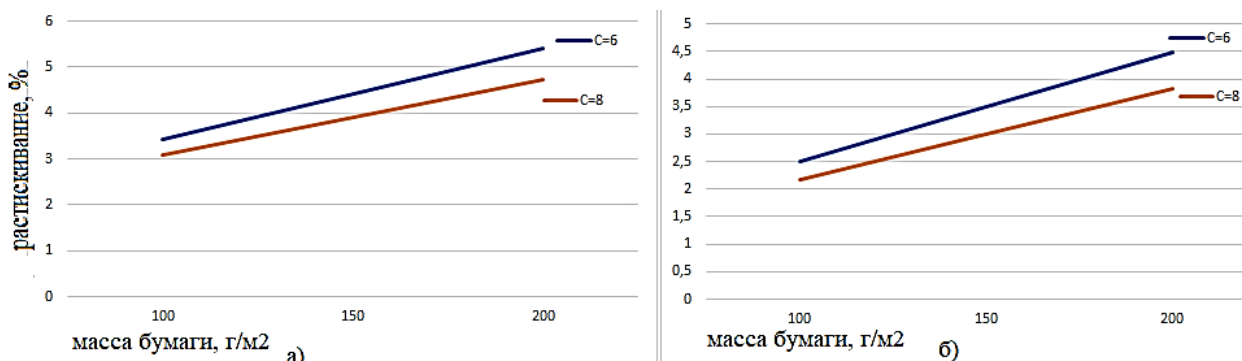


Рис. 2

Заключение

Применение методов математической статистики способствовало математическому описанию влияния скорости печати и массы бумаги на качество печати. Увеличение скорости способствует уменьшению растискивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.suncopy.ru/news/effektivnye-sposoby-optimizatsii-pechati-v-ofise/>
2. Сысеев И.А., Шипов Е.В., Вдовин В.М. Оптимизация тоновоспроизведения цифровых фотографий в оперативной полиграфии // Омский научный вестник. 2011. №3 (103). С. 326...329.
3. Герасимова Л.Н., Поленова С.Н., Миславская Н.А. Оптимизация методологии учета затрат в сукожно-прядельном производстве // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. №1 (385) С. 61...66.
4. Герасимова Л.Н., Силка Д.Н., Парасоцкая Н.Н. Пути оптимизации учета кассовых операций и денежных документов на предприятиях текстильной отрасли // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. №1 (385). С. 67...72.
5. <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/682670/>
6. Мартынов В.Г. Применение математического моделирования для оптимизации производственных процессов // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 2. С. 326...327.
7. Сергеева Е.А. Оптимизация режимов низкотемпературной плазменной обработки высокомо-

дульных полиэтиленовых волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2010. №7. С. 94...98.

8. Илюшина С.В. Оптимизация параметров плазменной обработки полиэфирных тканей // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №5. С. 278...279.

9. <https://printroom.ru/blog/vso-ob-optimizatsii-pechati>.

10. <https://alfacomputer.ru/services/process-optimisation/>

11. Бабаханова Х.А., Хакназарова О.Д., Таимухамедова Ш.Б. Статистическая характеристика для оценки тесноты зависимости между качеством флексопечати и свойствами запечатываемого материала // Universum: технические науки. 2019. №11 (68).

12. Абдуназаров М.М., Бабаханова Х.А., Саодатов А.А. Оптимизация офсетного печатного процесса на основе математического моделирования // Universum: технические науки. 2023. №4 (109). – DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15266

13. Медяк Д.М. Структурная модель оптического растискивания растровых точек. – <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnaya-model-opticheskogo-rastiskivaniya-rastrovyyh-tochek>

14. Кулак М.И., Медяк Д.М., Старченко О.П. Закономерности влияния давления печатного контакта на изменение размера растровых точек // Вести НАН Белоруссии. Сер. физико-технических наук. 2007. №1. С. 61...67.

15. Севрюгин В.Р. Разработка методов исследования и оптимизации процессов оптической поэлементной записи растровых изображений: автореф. ... канд. техн. наук. М., 2007. 22 с.

16. Шефер Е.А. Повышение эффективности работы полиграфического оборудования путем совершенствования методов обработки информации на допечатной стадии: автореф. ... канд. техн. наук. 2018. М., 24 с.

REFERENCES

1. <https://www.suncopy.ru/news/effektivnye-sposoby-optimizatsii-pechati-v-ofise/>

2. Sisoev I.A., Shipov E.V., Vdovin V.M. Optimization of tone reproduction of digital photographs in operational printing // Omskiy nauchnyy vestnik. 2011. №3 (103). P.326...329.

3. Gerasimova L.N., Polenova S.N., Mislavskaya N.A. Optimization of the methodology of cost accounting in wool-spinning manufacture // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. №1 (385) P. 61...66.

4. Gerasimova L.N., Silka D.N., Papasotsaya N.N. Optimization of the account of cash operations and monetary documents in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. №1 (385). P. 67...72.

5. <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/682670/>

6. Martinov V.G. Application of mathematical modeling to optimize production processes // Dinamika sistem, mexanizmov i mashin. 2014. № 2. P. 326...327.

7. Sergeeva E.A. Optimization of low-temperature plasma treatment modes for high-modulus polyethylene fibers // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2010. №7. P. 94...98.

8. Ilyushina S.V. Optimization of plasma processing parameters for polyester fabrics // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. №5. P. 278...279.

9. <https://printroom.ru/blog/vso-ob-optimizatsii-pechati>.

10. <https://alfacomputer.ru/services/process-optimisation/>

11. Babakhanova Kh.A., Xaknazarova O.D., Tashmuxeimedova Sh.B. Statistical characteristic for assessing the closeness of the relationship between the quality of flexo printing and the properties of the printed material // Universum: tekhnicheskie nauki. 2019. №11 (68).

12. Abdunazarov M.M., Babakhanova Kh.A., Saodatov A.A. Optimization of the offset printing process based on mathematical modeling // Universum: tekhnicheskie nauki. 2023. №4 (109). – DOI: 10.32743/UniTech.2023.109.4.15266

13. Medyak D.M. Structural model of optical dot gain of raster dots. – <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnaya-model-opticheskogo-rastiskivaniya-rastrovyh-tochek>

14. Kulak M.I., Medyak D.M., Starchenko O.P. Patterns of influence of printed contact pressure on changes in the size of raster dots // Vesti NAN Belorussii. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. 2007. №1. P. 61...67.

15. Sevryugin V.R. Development of methods for research and optimization of optical element-by-element recording of raster images: avtoref. ... kand. texn. nauk. M., 2007. 22 p.

16. Shefer E.A. Increasing the efficiency of printing equipment by improving methods of information processing at the pre-pressstage: avtoref. ... kand. texn. nauk. M., 2018. 24 p.

Рекомендована кафедрой технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Поступила 28.06.24.