

И.Г. Громько, доц., канд. техн. наук,
А.Л. Яковлева, студент,
А.Н. Кудряшова, ассист.
(БГТУ, г. Минск);

Х.А. Бабаханова, проф., д-р техн. наук
(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан)

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПЕЧАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ОТТИСКОВ НА КАЧЕСТВО ПЕЧАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

Качество печатной продукции является ключевым показателем в полиграфической отрасли, определяющим точность воспроизведения оригиналов, эстетическую ценность и функциональность изделий.

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество печати, являются свойства запечатываемых материалов, в частности их микроструктура. В современной полиграфии для описания сложной и неоднородной поверхности материалов применяется фрактальный анализ, позволяющий количественно оценить степень шероховатости и нерегулярности структуры.

Одновременно с этим информационная емкость оттиска, характеризующая количество визуальной информации, передаваемой на единицу площади, служит важным критерием оценки эффективности печатного процесса.

Данная работа направлена на исследование взаимосвязи между фрактальными характеристиками запечатываемых материалов и информационной емкостью оттисков, а также их совместного влияния на качество печатной продукции.

Микроструктура поверхности бумаги формируется в результате множества факторов, включая размер, форму, распределение и физические характеристики компонентов бумажной массы. Эти параметры формируют на поверхности системы микровыступы и углубления. При наличии выраженной шероховатости часть растровых точек может попадать в углубления, не взаимодействуя с печатной формой, что вызывает искажения изображения и снижает общее качество оттиска.

В зависимости от микроструктуры бумаги делятся на четыре типа, каждый из которых по-разному влияет на качество печати.

1. Пористая волокнистая бумага имеет рыхлую, неоднородную поверхность с высоким влагопоглощением. Это может приводить к

снижению контрастности и четкости изображения, но обеспечивает хорошее сцепление с краской.

2. Среднепористая бумага с равномерной текстурой универсальна и обеспечивает баланс между впитыванием и удержанием краски, подходя для большинства печатных задач.

3. Покрытая (мелованная) бумага обладает гладкой, однородной поверхностью с низкой пористостью. Это обеспечивает высокую детализацию, насыщенность цвета и минимальные потери информации, что идеально для качественной графики.

4. Модифицированная бумага содержит минеральные наполнители (например, CaCO_3), что повышает ее белизну, снижает пористость и оптический потенциал, обеспечивая отличную четкость и устойчивость изображения.

Расчетные значения фрактальных размерностей исследуемых образцов бумаги представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фрактальная размерность и показатель фрактальной размерности микропрофиля бумаги

Образец	$D_{\text{пр}}$	D
Мелованная бумага	1,306441	2,306441
Офсетная бумага	1,916127	2,916127
Газетная бумага	1,767989	2,767989
Поликарбонатная бумага	1,870682	2,870682

Показатель фрактальной размерности микропрофиля бумаги $D_{\text{пр}}$ определялся по формуле [1]:

$$D_{\text{пр}} = \frac{\ln N}{\ln (L/r_0)},$$

где N – число отрезков, на которые разбивается профиль; L – длина профиля, измеренная при конкретной размерности отрезков; r_0 – минимальная длина измерительного отрезка (масштаб или шаг разбиения). Поликарбонатная бумага демонстрирует максимальную высоту профиля 14,81 мкм и среднюю высоту неровностей 12,88 мкм. Эти показатели указывают на умеренную шероховатость поверхности. Бумага сохраняет микрорельеф, необходимый для равномерного распределения краски, но при этом не имеет выраженных перепадов высоты. Такая структура способствует контролируемому взаимодействию краски с поверхностью, предотвращает ее чрезмерное растекание и обеспечивает устойчивую цветопередачу.

Мелованная бумага характеризуется максимальной высотой профиля 5,31 мкм и средней высотой неровностей 5,57 мкм. Эти значения свидетельствуют о крайне гладкой поверхности с минимальными микроскопическими отклонениями. Подобная структура обеспечи-

вает высокую детализацию при печати, стабильную плотность красочного слоя и низкую степень впитывания чернил, что напрямую влияет на яркость и насыщенность цвета.

Офсетная бумага имеет максимальную высоту профиля 16,11 мкм и среднюю высоту неровностей 10,80 мкм. Эти показатели указывают на значительную амплитуду микрорельефа, что типично для материалов с рыхлой и волокнистой структурой. Такая микрошероховатость обеспечивает хорошее сцепление бумаги с краской, однако требует дополнительных корректировок технологических параметров печати для достижения равномерности изображения. В противном случае возможны потери в четкости и контрастности, а также снижение общей информационной емкости оттиска.

Газетная бумага демонстрирует наиболее выраженный микрорельеф: максимальная высота профиля составляет 23,50 мкм, а средняя высота неровностей – 18,21 мкм.

Значительная амплитуда отклонений профиля свидетельствует о высокой пористости и рыхлости материала. Эти свойства обеспечивают повышенную впитываемость краски, что снижает ее поверхностную концентрацию и приводит к потере яркости и контрастности изображения. В результате воспроизводимость мелких деталей оказывается ограниченной, а оптическая однородность изображения снижается.

С целью определения информационной емкости были измерены оптические плотности растровых элементов каждого вида бумаги. Результаты представлены в таблице 2.

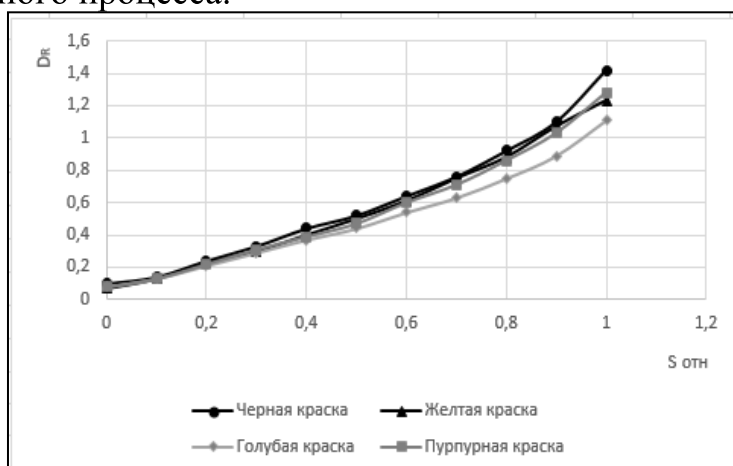
Таблица 2 – Оптическая плотность полей различных бумаг

Бумага	Оптическая плотность				S _{отн}	Бумага	Оптическая плотность			
	К	У	С	М			К	У	С	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мелованная бумага	0,1	0,07	0,08	0,08	0	Офсетная бумага	0,07	0,1	0,12	0,09
	0,14	0,13	0,13	0,13	0,1		0,14	0,18	0,2	0,18
	0,24	0,23	0,21	0,22	0,2		0,23	0,27	0,3	0,27
	0,33	0,3	0,29	0,31	0,3		0,34	0,4	0,41	0,38
	0,44	0,4	0,37	0,39	0,4		0,46	0,51	0,52	0,51
	0,52	0,5	0,44	0,47	0,5		0,64	0,62	0,72	0,66
	0,64	0,61	0,54	0,6	0,6		0,82	0,82	0,9	0,85
	0,76	0,75	0,63	0,71	0,7		1,05	1,04	1,11	1,08
	0,92	0,88	0,75	0,86	0,8		1,41	1,25	1,35	1,29
	1,1	1,07	0,89	1,03	0,9		1,62	1,35	1,48	1,34
	1,42	1,23	1,11	1,28	1		1,76	1,43	1,6	1,58

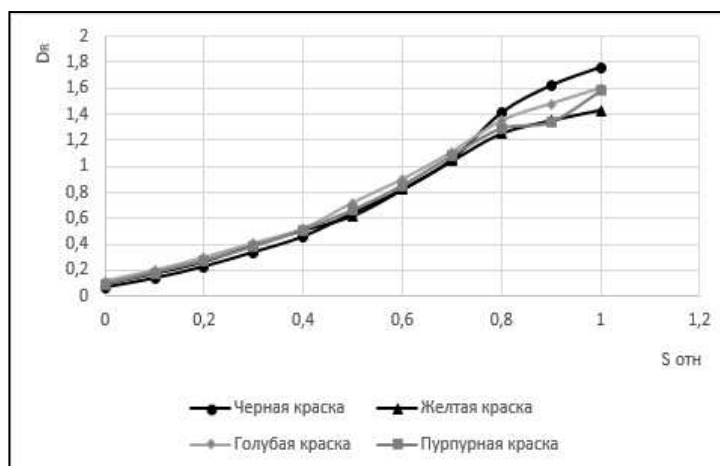
Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Экобумага	0,13	0,16	0,16	0,17	0	Газетная бумага	0,13	0,11	0,06	0,12
	0,23	0,18	0,21	0,21	0,1		0,22	0,17	0,12	0,18
	0,34	0,27	0,32	0,32	0,2		0,36	0,26	0,20	0,27
	0,46	0,37	0,44	0,42	0,3		0,49	0,34	0,29	0,37
	0,56	0,47	0,54	0,48	0,4		0,67	0,45	0,37	0,48
	0,66	0,55	0,64	0,54	0,5		0,86	0,57	0,50	0,62
	0,76	0,64	0,77	0,65	0,6		1,04	0,70	0,67	0,73
	0,88	0,73	0,89	0,77	0,7		1,19	0,84	0,85	0,86
	0,97	0,78	1,01	0,89	0,8		1,39	0,98	1,01	1,04
	1,05	0,92	1,09	1,02	0,9		1,54	1,19	1,19	1,23
	1,13	1	1,2	1,18	1		1,68	1,35	1,33	1,37

По результатам проведенных замеров был построен график зависимости D_R (оптическая плотность плашки) от $S_{отн}$ (относительная площадь растровых элементов). Данный график является ключевым инструментом анализа, так как он отражает градационную характеристику печатного процесса.



а



б

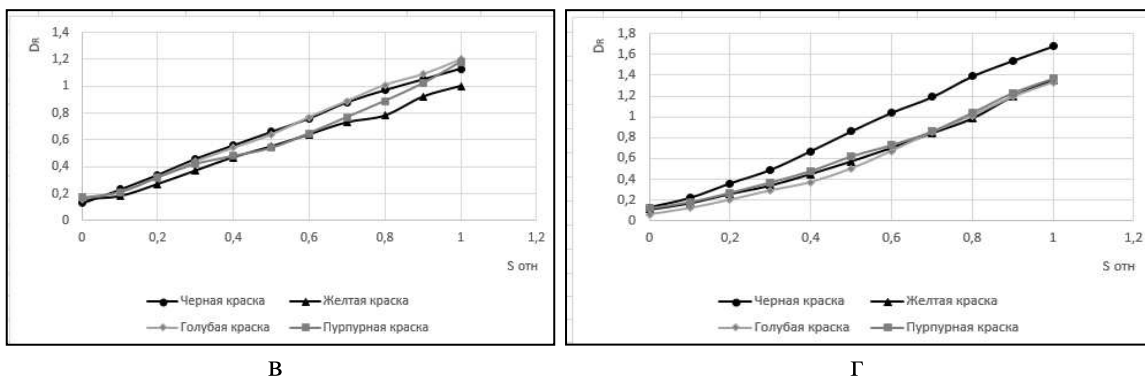


Рисунок 1 – Зависимость оптической плотности плашки от относительной площади растровых элементов для мелованной бумаги (а) и для офсетной бумаги (б), для поликарбонатной бумаги (в) и для газетной бумаги (г)

Анализ графиков показывает, что гладкие, малопористые поверхности (мелованная, поликарбонатная бумага) обеспечивают резкий рост оптической плотности и высокую насыщенность изображения.

Напротив, рыхлые, впитывающие материалы (офсетная, газетная бумага) приводят к медленному набору плотности, особенно в светлых тонах, что снижает контраст и детализацию. Черная краска демонстрирует максимальную и стабильную насыщенность на всех типах бумаги, а желтая – наименьшую, особенно на рыхлых подложках.

После измерения оптической плотности бумаг и плашек, определяли информационную емкость и величины ее потерь. Полученные данные представлены в таблице 3 [2].

Таблица 3 – Результаты вычислений

	Информационная емкость				$S_{отн}$
	Черный	Желтый	Голубой	Пурпурный	
1	2	3	4	5	6
Мелованная бумага	101 891,31	89 540,93	95 214,34	94 371,93	0
	66 271,82	63 297,11	64 485,17	62 896,38	0,1
	71 912,01	71 035,48	67 094,38	67 944,87	0,2
	71 203,43	67 456,92	67 069,81	68 843,02	0,3
	71 096,44	67 832,31	65 099,21	65 750,60	0,4
	65 494,03	65 587,21	60 287,85	61 442,83	0,5
	62 320,14	62 339,64	58 016,09	60 758,02	0,6
	57 147,92	59 153,47	52 953,24	55 828,22	0,7
	52 120,43	53 225,63	48 729,91	51 422,39	0,8
	45 484,56	47 681,64	43 612,02	45 471,52	0,9
	39 117,95	39 117,95	39 117,95	39 117,95	1

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Экобумага	111 916,23	119 323,85	118 008,12	119 921,59	0
	93 621,60	83 575,25	88 798,23	88 975,99	0,1
	92 174,53	82 939,88	88 614,72	88 826,07	0,2
	90 534,02	82 573,19	87 723,45	85 859,50	0,3
	85 720,30	80 263,70	83 200,52	78 099,23	0,4
	80 118,72	74 800,19	77 774,78	70 342,16	0,5
	73 714,36	69 426,02	72 994,42	66 236,04	0,6
	67 317,60	63 151,10	66 373,93	61 189,32	0,7
	58 836,84	53 788,63	58 672,23	54 647,06	0,8
	49 332,72	48 442,81	48 882,06	47 156,96	0,9
	39 117,95	39 117,95	39 117,95	39 117,95	1
Офсетная бумага	88 224,91	101 862,55	107 630,03	97 796,58	0
	65 023,76	79 724,32	84 239,18	79 082,72	0,1
	67 946,42	78 295,38	82 831,18	77 517,55	0,2
	71 153,62	81 217,18	81 446,78	77 794,74	0,3
	71 519,90	78 329,54	78 149,13	77 361,89	0,4
	73 275,18	73 851,47	78 664,20	75 419,83	0,5
	70 367,17	72 464,87	74 232,56	72 537,20	0,6
	66 045,60	68 068,97	68 341,83	67 802,34	0,7
	60 599,59	60 859,12	60 831,04	60 125,55	0,8
	50 650,79	50 501,61	50 447,82	48 814,35	0,9
	39 117,95	39 117,95	39 117,95	39 117,95	1
Газетная бумага	110 096,05	105 380,28	83 080,82	108 218,19	0
	88 500,28	77 235,78	57 781,40	80 052,33	0,1
	91 038,05	76 826,54	61 688,25	78 692,58	0,2
	89 027,84	73 424,54	64 336,82	77 761,66	0,3
	87 923,28	72 890,72	62 044,59	75 949,60	0,4
	84 050,60	70 775,05	64 307,80	74 397,22	0,5
	77 724,66	67 142,50	65 445,10	68 675,44	0,6
	69 425,43	62 061,23	62 760,79	62 697,43	0,7
	60 804,60	55 248,95	56 512,08	56 878,28	0,8
	50 459,52	48 685,24	48 989,54	49 230,84	0,9
	39 117,95	39 117,95	39 117,95	39 117,95	1
Примечания: теоретический предел				214932,02	

Экспериментальные данные показывают, что качество печати напрямую зависит от структуры бумаги: гладкие и малопористые материалы (мелованная и поликарбонатная бумага) обеспечивают минимальные потери информационной емкости, высокую насыщенность и контрастность изображения, особенно при использовании черной и пурпурной красок [3].

Офсетная бумага с более рыхлой структурой демонстрирует умеренные потери и снижение визуальной плотности, особенно у

светлых тонов, но остается универсальным материалом. Газетная бумага, как наиболее рыхлая и впитывающая, приводит к максимальным потерям информации, выраженному снижению четкости и контраста, что делает ее наименее подходящей для задач, требующих точной цветопередачи и детализации.

Установлена прямая зависимость между фрактальной размерностью поверхности материала и величиной потерь информационной емкости. Офсетная, газетная бумаги демонстрируют большие потери, особенно при печати светлыми красками (желтая, голубая).

Это связано с тем, что сложная микроструктура поверхности приводит к неравномерному распределению краски, ее частичному впитыванию и рассеиванию света.

Установлено, что материалы с низкой фрактальной размерностью и гладкой поверхностью (мелованная, поликарбонатная бумага) обеспечивают минимальные потери информационной емкости, высокую контрастность и детализацию изображения. Напротив, материалы с высокой фрактальной размерностью и выраженной шероховатостью (офсетная, газетная бумага) приводят к значительным потерям информации, особенно при использовании светлых красок и в условиях искусственного освещения.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации выбора материалов и параметров печати в полиграфическом производстве, а также для разработки новых методов контроля качества печатной продукции на основе фрактального анализа и оценки информационной емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медяк Д. М., Старченко О. П. Фрактальные структуры поверхности офсетного полотна. // Вестник издат.-полиграф. комплекса Беларуси. – 2003. – № 1. – С. 97–102.

2. Громыко И.Г., Боровец Т.А. Технология печатных процессов: лабораторные работы для студентов специальности «Технология полиграфических производств». – Минск: БГТУ, 2011. – 47 с.

3. Громыко И. Г. Сравнительная характеристика потерь информационной емкости оттисков листовой и рулонной офсетной печати // Труды БГТУ. №IX, Издат. дело и полиграфия. – 2016. – С. 5–10.