

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ**

В.Н. Леонтьев

**Методы и средства совершенствования
печатных свойств бумаг в системе
«бумага – краска – оттиск»**

Учебное пособие

Рекомендовано Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный университет печати» к использованию в образовательных учреждениях, реализующих образовательные программы ВПО в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 261202.65 («Технология полиграфического производства»), 261201.65 («Технология и дизайн упаковочного производства»), 240406.65 («Технология химической переработки древесины») и для магистров по направлению 261100.68 «Полиграфия».

Регистрационный номер рецензии 367 от 16.06.2009.

Санкт-Петербург

2009

ББК 35.77
Л-478
УДК 676.017.6+655

Леонтьев В.Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаг в системе «бумага – краска – оттиск»: учебное пособие / ГОУВПО СПбГУРП. СПб., 2009.- 170 с.:ил.102.- ISBN 978-5-91646-011-7

Приводятся результаты анализа и исследования проблем оценки и получения печатных свойств бумаг, способных обеспечить требуемое качество печатной продукции.

Разрабатывается новый подход в рамках системы «бумагоделательная машина – бумага – краска – печатная машина – оттиск», основанный на использовании информации о показателях качества печати для управления параметрами процесса производства бумаги с целью получения ее печатных свойств, соответствующих видам печати и печатной продукции.

Предназначается для инженерно-технических работников целлюлозно-бумажной и полиграфической отраслей промышленности, может быть полезно студентам и аспирантам специальностей 261202.65 («Технология полиграфического производства»), 261201.65 («Технология и дизайн упаковочного производства»), 240406.65 («Технология химической переработки древесины»).

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры технологии полиграфических процессов Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна Северо-западного института печати Ю.В. Кузнецов;

доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента и систем качества Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ) В.С.Соболев.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета.

ISBN 978-5-91646-011-7

© Леонтьев В.Н.
© ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ БУМАГ И КАЧЕСТВА ПЕЧАТИ	10
1.1. Свойства бумаг для печати.....	-
1.1.1. Способность бумаги к проводке.....	-
1.1.2. Печатные свойства бумаг.....	12
1.2. Бумаги для цифровой печати.....	19
1.3. Проблемы создания бумаг с требуемыми печатными свойствами .	29
1.4. Обоснование необходимости применения системного подхода к задаче повышения качества печатной продукции	40
Обобщения и выводы	48
ГЛАВА 2. СТРУКТУРА БУМАГИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БУМАГИ И КРАСКИ	49
2.1. Проблемы формирования структуры бумажного полотна для печати.....	-
2.2. Методы описания неоднородной структуры бумажного полотна .	61
2.3. Определение неоднородности печати в полиграфии	73
2.4. Результаты исследования неоднородности бумаги	74
2.5. Влияние неоднородности структуры бумаги на пятнистость оттисков.....	78
2.6. Особенности механизма впитывания краски структурными элементами бумажного полотна	82
2.7. Повышение качества печати на основе информации о впитывании краски бумагой	87
2.8. Информационный подход к оценке печатных свойств бумаги	88
2.9. Применение информационного подхода к оценке влияния неоднородности бумаги на качество оттиска.....	96
Обобщения и выводы	103
ГЛАВА 3. ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА	109
3.1. Метод эквивалентных структур в задаче описания случайных полей.....	-
3.2. Функция рельефа как модель структуры бумаги	112
3.3. Алгоритм вычисления оценок неоднородности бумажного полотна	119
3.4. Определение неоднородности (пятнистости) оттисков	126
Обобщения и выводы	129

ГЛАВА 4. МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ «БУМАГА – КРАСКА – ОТТИСК»	131
4.1. Сравнительный анализ влияния технологических параметров производства бумаги на неоднородность бумаги и неоднородность оттисков.....	-
4.2. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на интервал оптических плотностей.....	140
4.3. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати.....	147
4.4. Комплексный подход к оценке и формированию печатных свойств бумаг.....	156
Обобщения и выводы.....	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	163
ПРИЛОЖЕНИЯ	167
Приложение 1	-
Приложение 2	168

Введение

В конце 80-х - первой половине 90-х годов XX в. отечественная полиграфия переживала экстенсивное развитие (15-18% прироста в год), обусловленное известными социально-экономическими причинами, что нашло соответствующий отклик и в повышенном спросе на бумагу.

На сегодня полиграфия страны производит продукции на сумму порядка 3 млрд. руб. в год. При этом, например, в 2004 г. в полиграфии было использовано 600 тыс. т. бумаги, причем более трети этого количества пришлось на цветную тоновую печать.

По мнению специалистов, в ближайшие 10 лет рынок печатной продукции удвоит свой объем, что скажется и на объеме потребляемой бумаги.

В то же время появился потребитель с повышенными требованиями к качеству печати, и уже сегодня примерно четверть объема полиграфических услуг выполняется за рубежом, а многие отечественные многокрасочные иллюстрированные издания печатаются на импортной бумаге (сказывается нехватка мелованной бумаги).

Как показывает сегодняшний опыт ведущих стран в области целлюлозно-бумажного и полиграфического производств, проблема получения бумаг надлежащего качества, создания новых видов бумаг и продвижения их как на внешний, так и на внутренний рынки должна рассматриваться комплексно, включая потребителя этих бумаг – полиграфию. Вопросы качества для западных производителей стали настолько важными, что рассматриваются на уровне вопросов национальной политики государств.

Так в Швеции, начиная с 1993 г. реализуется государственная программа «Бумага – краска – оттиск» с объемом финансирования 30 млн. крон в год (50% - правительство, 25% – бумажники, 25% - полиграфисты) и привлечением 75 ученых и специалистов.

В Финляндии на уровне крупных полиграфических фирм и предприятий целлюлозно-бумажной промышленности в рамках систем управления качеством устанавливается настолько тесная связь между поставщиком и потребителем (бумажником и полиграфистом), что полиграфисты, не ограничиваясь общепринятыми требованиями к качеству бумаг, диктуют бумажникам требования к ведению технологического процесса производства бумаги, высказывают и формулируют пожелания к качеству бумаг не только в отношении их печатных свойств, но и как к составляющей качества печатной продукции, способной придать ей привлекательность.

Указанная межотраслевая связь оказывается тем более актуальной, чем выше предполагаемый уровень качества конечной печатной продукции. Существенно возрастает сегодня доля бумаг, картонов, рассчитанных на многокрасочную тоновую печать, производство и контроль качества которой

относится сегодня к так называемым «наукоемким» технологиям, исключая во многом субъективные методы полиграфии прошлых лет.

Бумага – не конечный продукт, когда это касается бумаг для печати. Конечный продукт – тиражный оттиск, а бумага – один из его компонентов.

Качество оттиска определяется как параметрами технологического процесса печати, так и свойствами красок и свойствами бумаги. Последние, в свою очередь зависят от параметров целлюлозы, древесной массы, наполнителей и т.п., а также от технологического процесса производства бумаги на бумагоделательной машине.

Десятки лет исследований были посвящены взаимодействию бумаги и краски в традиционных способах печати. Однако на настоящее время вопросы прогнозирования качества печати для конкретной бумаги, для конкретного вида процесса печати и оборудования не решены.

Последние два десятилетия знаменуют собой революцию в печатных процессах. Появилось много новых печатных процессов, отличающихся от традиционных по физической природе и конструктивному исполнению печатных устройств. В большинстве своем это устройства цифровой печати: электрофотографические, струйные и т.д. В случае электрофотографических устройств это – электростатические взаимодействия, в случае струйной печати – печать без промежуточного вещественного носителя изображения, например, печатной формы, и в отсутствие какого-либо контакта между таким носителем и бумагой.

Изменилась и расширилась номенклатура запечатываемых материалов. Появились краски сублимационные, термопереводные краски, закрепляющиеся УФ излучением, жидкие и сухие тонеры и т.д.

Много нового появилось и в мире бумаг, особенно в отношении их покрытий, с заранее заданными свойствами.

Основное и главное отличие сегодняшней печатной продукции – резко увеличившаяся доля цветной иллюстративной компоненты.

Известны требования к печати текстовой информации, заключающиеся в основном в отсутствии непропечатки знаков. Вместе с тем, с медицинской точки зрения, для того, чтобы не уставали глаза, желательно также обеспечить по возможности большой контраст букв.

Требования к печати цветных иллюстраций много сложнее. Они определяются в основном необходимой степенью соответствия оттиска оригиналу.

Нежелательными дефектами при этом являются:

- пятнистость;
- искажения тона;
- потеря контраста;
- сужение динамического диапазона (цветового охвата печати);
- искажение геометрически мелких деталей и в том числе разорванность, растекание линий;
- пробивание изображения на обратную сторону и т.д.

В силу специфики преобладающего в иллюстративной печати автотипного способа передачи полутонов большинство этих дефектов обусловлено микронными, т.е. соизмеримыми со структурными элементами бумаги отклонениями формы и площади растровых точек и пробелов.

Уже одно сравнение по числу и виду дефектов при печати текста и цветных иллюстраций свидетельствует о существенно больших сложностях, возникающих при иллюстративной печати. При этом все еще более усложняется, когда приходится учитывать восприятие заказчика, которое является и будет всегда оставаться субъективным.

Сферы применения цветной печати весьма широки:

- книги и альбомы;
- реклама;
- упаковка;
- офисная печать, включающая графики, диаграммы, презентации;
- бытовая печать (цифровая фотография).

Если первые три области традиционны, пусть и не в таком значительном как сегодня объеме, то две последние появились лишь в эпоху компьютеризации. Рынок домашней «цифровой» фотография еще в начале своего пути, но уже сегодня впечатляет предполагаемый объем потребления им печатной бумаги.

Появление электронных видов печати (струйной, электрофотографической) подтолкнуло и традиционные виды печати к наращиванию иллюстративной компоненты. Однако ограниченная номенклатура использовавшихся ранее бумаг оказалась недостаточной. Новые виды печати потребовали иного качества бумаг, способных взаимодействовать как с жидкими красками, так и с тонером.

К такому резкому повороту событий бумажники оказались не готовы. Поиск возможностей удовлетворения требований цифровой печати привел к интенсификации работ по созданию бумаг с покрытиями как к одному из путей создания новых по свойствам носителей печатной информации. Существенно более пристальное внимание стало уделяться таким показателям качества бумаг как неоднородность их структурных свойств, шероховатость поверхности, глянец и т.п.

Повысившиеся требования к качеству бумаг требовали и новых объективных методов и средств контроля. Многие в этой связи стало возможным и в бумажном производстве, и в полиграфии благодаря появлению систем технического зрения, широкому использованию денситометров, спектрофотометров и им подобных средств контроля качества бумаг и печати.

Изменения в бумажном производстве и полиграфии происходили и происходят на фоне общих изменений в обществе, которое носит с недавнего времени название «потребительского общества». Его основной девиз – «высокое качество при низкой цене» касается и рассматриваемых отраслей. С позиции этого взгляда на товары и услуги задача выбора бумаги для конкретного вида печати и оборудования, позволяющей обеспечить

требуемое качество печатной продукции при наименьшей ее стоимости, является актуальной.

К сожалению, несмотря на многочисленные исследования печатных свойств бумаг для традиционных видов печати, даже для них итог нельзя считать удовлетворительным.

Прогнозировать качество печати на конкретной бумаге с требуемой точностью, ориентируясь на параметры, характеризующие ее свойства (толщину, массу m^2 , зольность, впитывающую способность и т.п.), не удается.

Поэтому полиграфисты не в состоянии четко сформулировать требования к бумагам, а бумажники, в свою очередь, - удовлетворить требования печатников.

На настоящее время невозможно с достаточной для практики полнотой охарактеризовать печатные свойства бумаги, предсказать ее взаимодействие с конкретной краской, влияние на качество печати параметров процесса печати, таких как давление, скорость печати.

Потребительскому рынку со своей стороны нужны не только бумаги с определенными для каждого печатного процесса свойствами, но и бумаги с такими свойствами, которые сами по себе придавали бы дополнительную ценность конечной печатной продукции.

Следует отметить, что в целом тираж изданий существенно уменьшился, в то время как их количество возросло. Это увеличило долю времени и средств, затрачиваемых на приладку печатного оборудования.

Подводя итог вышеизложенному, следует перечислить объективные причины, которые привели к проблемам качества полиграфической продукции, нуждающимся в решении. Такими причинами явились:

- появление новых видов цифровой печати (струйной, электрофотографической и т.п.);
- новые виды печатного оборудования при возросшей его производительности;
- новые виды бумаг, в том числе с разнообразными покрытиями;
- новые виды красок;
- резко увеличившаяся доля цветной иллюстративной компоненты в изданиях различного назначения;
- широкое использование цветной печати в офисной и бытовой сферах;
- необходимость уменьшения времени на приладку печатного оборудования, доля которого резко возросла из-за малых тиражей при увеличившемся количестве изданий;
- повысившиеся требования потребителя к качеству печатной продукции при желании низкой цены и оперативности выполнения заказов (точно в срок).

Всё перечисленное позволяет заключить, что решение проблем качества печати с использованием лишь традиционных методов исследования не перспективно.

Варка целлюлозы, размол, формование бумажного полотна, сушка, каландрирование – всё это различные физико-химические процессы, аналитически описать которые с достаточной для практики точностью вряд ли представится возможным.

Процессы печати не менее сложны в изучении и описании. Такой вывод можно сделать уже из одного знакомства с количеством и видом дефектов, причинами, их вызвавшими, и способами устранения.

Таким образом, актуальность вопросов, рассмотренных в пособии, обусловлена необходимостью нахождения новых подходов и методов исследования для получения бумаг с требуемыми печатными свойствами.

Глава 1. Проблемы печатных свойств бумаг и качества печати

1.1. Свойства бумаг для печати

Свойства бумаги для печати – это те ее свойства, которые *влияют на качество печати*. Свойства бумаг для печати отражают их потенциальную возможность достижения определенного качества оттисков. Однако это понятие следует уточнять, имея в виду разные по физико-механическим свойствам технологии печати. Иначе говоря, следует конкретизировать определение добавлением вида печати, например, «... на качество *струйной цифровой* печати или на качество *офсетной* печати».

При выборе бумаги для получения конкретного печатного продукта руководствуются несколькими критериями. Одним из главных является способность бумаги к проводке через печатную машину. Вторыми по важности являются ее печатные свойства, проявляющие себя в качестве печати.

1.1.1. Способность бумаги к проводке

Рассмотрим таблицу напряжений бумаги, возникающих в печати (табл.1.1).

Таблица 1.1.

Напряжения бумаги в печати [1]

Напряжения бумаги в печати	Причины
Механическое напряжение	Натяжение бумажного полотна Изгиб Захват и трение Давление при печати Натяжение при расщеплении краски
Физико-химическое напряжение	Сушка Насыщение влагой Ультрафиолетовая сушка Статическое электричество
Химическое напряжение	Связующие краски Водные добавки при увлажнении

Из табл.1.1 видно, что напряжения в бумаге происходят в процессе печати по всем трем направлениям в пространстве. Эти напряжения вызывают изменения в свойствах бумаг, что приводит, в свою очередь, к ряду проблем.

Среди них можно отметить три разновидности возмущений:

- случайные возмущения, которые приводят к обрыву полотна (например, реологические свойства бумаги);
- накапливающиеся возмущения, приводящие к остановке печати, такие как пыление;
- постоянные возмущения, приводящие к уменьшению производительности и ухудшению качества печати.

Поскольку динамическое натяжение зависит от скорости печати, все возмущения в основном уменьшаются при уменьшении скорости печати.

Типичные проблемы, зависящие от скорости, связаны с:

- ошибками приводки;
- образованием воздушных пузырей;
- закреплением краски;
- работой самонаклада.

Скручивание – один из дефектов, возникающих при проводке бумаги через печатную машину. Основная причина этого явления – анизотропия бумажного полотна, возникающая при производстве на бумагоделательной машине (БДМ).

Она связана с:

- различной ориентацией волокон в машинном и поперечном направлениях, приводящей к разным усилиям натяжения полотна;
- различной ориентацией волокон по толщине, приводящей, в том числе и к шероховатости бумажного листа;
- различием в удержании мелочи на разных сторонах бумажного листа.

Так, волокна более ориентированы в машинном направлении со стороны сетки, чем на верхней стороне, где они ориентированы более случайным образом. Такая пространственная неоднородность – причина неприводки.

Трение между поверхностями листов бумаги зависит от:

- действительных поверхностей контакта между скользящими друг относительно друга поверхностями;
- сил, возникающих в зонах контакта поверхностей.

Поверхность бумаги характеризуется таким свойством структуры поверхности как шероховатость. Она определяет и влияет на величину зон контакта, при этом трение скольжения зависит и от нагрузки. Здесь одними из важных сил являются силы Ван-дер-Ваальса.

Электризация поверхности бумажного листа обусловлена действием статического электричества. Увеличение напряженности его поля возникает при движении бумаги, при этом напряженность 3 кВ приводит к удержанию пыли на поверхности бумаги, а 12 кВ препятствует продвижению бумаги.

Заряды образуются также, когда два листа касаются друг друга и обмениваются ими или когда заряженные частицы появляются в зоне контакта извне. Если объекты изолированы, заряды не накапливаются. Контакт возможен или под давлением, или при скольжении одного листа относительно другого. Разница температуры между поверхностями вызывает

перетекание электронов с одной поверхности на другую, более холодную. Трение листов друг о друга также приводит к их электризации.

Электрическое поведение бумаги, как и других подобных материалов, определяется ее способностью накапливать заряды и свойствами электропроводности, т.е. электрической емкостью и сопротивлением. Они определяют собой время стекания зарядов с поверхности бумаги. Большая емкость соответствует большему времени зарядки и разрядки поверхности.

Электрическое сопротивление состоит из сопротивления поверхностного и объемного сопротивления, что соответственно выражается в единицах поверхностного сопротивления и сопротивления бумажного листа по толщине.

Накопление статического электричества приводит к ряду проблем, включая проблемы проводки через печатающую машину, прилипания листов друг к другу, накопления пыли. Последнее особенно свойственно бумагам без покрытий, газетным бумагам, а также электрографическим и флексографическим способам печати.

Заряды краски и бумаги одинакового знака могут замедлять впитывание краски.

В электрофотографической печати неоднородная структура бумаги способствует сосредоточению тонера как на впадинах, так и на вершинах шероховатой бумаги. Это приводит к искажениям тоно- и цветопередачи, а также точности передачи геометрии мелких деталей, например, тонких линий [2].

Для уменьшения указанных нежелательных эффектов применяют ионизацию и антистатики. Однако неоднородность структуры поверхности остается фактором, приводящим к ухудшению качества печати.

1.1.2. Печатные свойства бумаг

Известно, что качество оттиска зависит от процессов подготовки (pre-press), вида печати, параметров процесса печати, бумаги и краски.

К основным показателям печатных свойств бумаги относятся неоднородность структуры, гладкость (шероховатость), пористость, сжимаемость, белизна, непрозрачность, глянец. Требования к этим свойствам бумаг разнятся в зависимости от видов печати.

Так для высокой печати неоднородность и шероховатость не играют такой роли, как гладкость и сжимаемость. Для высокой печати хорошая гладкость не всегда обязательна, в то время как требования к однородности высоки.

Бумага для офсетной печати требует прочной внутренней структуры, хороших гидрофобных свойств поверхности.

Определить с достаточной для практики точностью влияние названных показателей качества бумаг на качество печати в настоящее время не представляется возможным, и потому для оценки свойств бумаги и отладки режимов печати проводится пробная печать на пробопечатных приборах или станках в режимах, близких к производственным условиям. От степени этой

близости зависит переносимость получаемых результатов на реальный печатный процесс.

Параметры, характеризующие печатные свойства бумаг, делят в полиграфии на [3]:

- механические,
- оптические,
- колориметрические,
- геометрические.

Результирующее качество печати зависит от взаимодействия

- бумаги и краски;
- бумаги и увлажняющего раствора;
- бумаги с теплом (ИК сушка, закрепление тонера) или другим излучением (УФ сушка);
- бумаги и печатной машины;
- бумаги и печатной формы (при наличии таковой);
- а также от освещения оттиска при его зрительном восприятии

или измерении.

Причина, по которой невозможно достаточно точно предсказать печатные свойства бумаг, кроется в множественности таких взаимодействий. Без печати практически невозможно систематизировать ситуации, где бы свойства бумаги одинаковым образом влияли на результат. Такие ситуации следует реализовать в процессе печати, чтобы сделать правильные выводы.

Рассмотрим кратко печатные свойства бумаг, влияющие на качество печати.

Шероховатость бумаги - одно из ее важнейших таких свойств.

Шероховатость бумаги связана с волокнами, находящимися на поверхности бумажного листа, и потому ее масштаб – это микромасштаб неровностей на уровне толщин волокон.

Шероховатость мелованных бумаг и бумаг с покрытием меньше, чем бумаг без покрытия. Однако далеко не всякую неровность можно исправить мелованием.

Поверхностные волокна не участвуют во впитывании краски шероховатой бумагой. Поэтому общее отражение бумагой представляет собой сумму света, отраженного от пигмента, проникшего в поры листа, и света, отраженного волокнами. Это приводит к тому, что, например, насыщенность и светлота заливок отличаются от насыщенности и светлоты, которые были бы при гладкой бумаге: оттиск становится светлее. В результате в процессе печати теряются перепады яркостей деталей, снижается насыщенность красочного слоя. А это значит, что уменьшается воспроизводимый интервал оптических плотностей оттисков и, как следствие, контраст изображения.

При традиционных видах печати на немелованных бумагах отрицательное влияние шероховатости несколько уменьшается за счет того,

что поверхность бумаги запечатывается слоем краски конечной толщины, причем особенно большой в трафаретной печати.

И, напротив, в некоторых видах печати, например, в струйной, слой краски слишком тонок, чтобы не сказались влияние шероховатости.

Здесь же следует отметить известный факт, что при офсетной печати при смачивании бумаги волокна на ее поверхности разбухают, и как следствие, ее шероховатость несколько увеличивается. Учитывая отмеченное ранее, можно еще раз заметить, что доля света, отраженного волокнами, при этом становится больше и оттиск бледнеет.

В отличие от шероховатости, неровность бумаги (облачность), связанная с неоднородностью распределения массы по бумажному листу в виде флокул и промоин, имеет масштаб неоднородности существенно больший.

Если микромасштаб определяется толщиной волокон (мкм), то макромасштаб во многом – их длиной. Пространственный размер макромасштабных неоднородностей составляет 2-6 мм. Неравномерное по плотности заполнение волоками бумажного листа является причиной появления такого серьезного дефекта печати как «пятнистость». Это результат различной впитывающей способности флокул и промоин.

Флокулы содержат в большей мере длинные волокна, в то время как в промоинах сосредоточена более плотно спрессованная “мелочь”. Поры промоин меньше пор флокул и поэтому, в соответствии с капиллярными законами, сильнее впитывают краску в тело бумаги. Это приводит к тому, что на поверхности бумаги в местах флокул остается большее количество пигмента, чем в местах промоин. Как следствие оптические плотности оттисков в местах флокул и промоин разнятся. Эта разница цветового различия и есть пятнистость.

В случае каландрированных и суперкаландрированных бумаг, обладающих глянцевой поверхностью, неоднородность бумаг приводит к неодинаковому сжатию флокул и промоин, к неравномерному распределению пор. Это в свою очередь приводит к неравномерному впитыванию и высыханию краски, к разной скорости отделения растворителей и связующих от пигмента. При медленном отделении большее количество краски будет оставаться на поверхности, создавая более высокую оптическую плотность оттиска. При быстром впитывании связующего и растворителя в поры оптическая плотность оттиска будет меньше. Результатом оказывается та же пятнистость, но в данном случае это - пятнистость глянца оттиска.

Из-за неровности бумаги возникает «непропечатка» растровых точек, обусловленная неодинаковым сжатием бумаги во флокулах и промоинах.

Для бумаги с неравномерным глянцем велика вероятность получить и неравномерность (пятнистость) глянца оттиска.

Микroneоднородность (шероховатость) и макroneоднородность, связанная с облачностью (неоднородным распределением массы), проявляют себя по-разному на глянцевой поверхности. Если первая приводит к

уменьшению глянца, а на сплошных цветных заливках может искажать цвет, то вторая приводит к пятнистости глянца и соответственно пятнистости оттисков.

У шероховатой и неровной бумаги пятнистость наблюдается при рассмотрении оттиска на листе в перпендикулярном к его плоскости направлении. У глянцевой (не шероховатой), но неровной бумаги пятнистость глянца наблюдается под углами 75, 60 или 20 градусов, при которых принято оценивать гладкость (глянец) бумаг.

В многокрасочной печати наблюдается пятнистость так называемого обратного переноса. Неравномерность высыхания первой из наносимых красок, связанная с неравномерностью впитывания, приводит к разной степени ее закрепления на поверхности бумажного листа и соответственно к различной остаточной вязкости и липкости. Пятнистость обратного переноса создается в результате перехода краски с разнящихся в указанном отношении участков бумажного листа на резиноканевые пластины следующих секций.

Иной, третий вид пятнистости связан у мелованных бумаг с неравномерностью мелования. Это – зернистая, более мелкая по масштабу пятнистость.

Насыщенность бумаги порами – пористость. Количество и размер пор во многом влияет на впитываемость краски.

В изучении структуры бумаг много внимания уделяется неоднородности распределения волокон, наполнителей и других компонентов в бумажном полотне. Однако не все исследователи понимают, что в печати, образно говоря, “важнее дырка от бублика”, чем сам бублик, т.е. главную роль во впитывании краски играют поры.

Так, например, исследование данной неоднородности с помощью β -излучения дает информацию именно о неоднородности распределения вещества. Однако данная информация для характеристики печатных свойств бумаг не столь важна, как информация о порах, которые β -излучением не определяются. Проведенные исследования [36] подтверждают сказанное, показывая гораздо худшую корреляцию показателей неоднородности оттисков с показателями неоднородности бумаги, полученными на основе β -излучения, чем при простом источнике освещения, что объясняется явлениями дифракции, рассеяния и диффузии света в бумажном листе, зависящими как от распределения массы, так и от распределения пор.

Таким образом, продолжающиеся до сих пор попытки исследовать структуру бумаг, а через нее их печатные свойства с помощью β -излучения следует признать неэффективными.

Краски – это типично многофазные системы, состоящие из пигмента, смол и растворителей. Было высказано предположение, что лучшие поры те, которые могут «высосать» растворитель из краски и таким образом растворить краску быстрее, чем большие поры. В этой связи было предположено также, что поверхностные поры важнее, чем находящиеся в толще листа. Однако пока эти положения не доказаны.

Одной из основных характеристик качества печати является контраст печати. Влияние бумаги на эту характеристику обусловлено ее белизной, глянецом, впитывающей способностью, гладкостью и однородностью как поверхности, так и тела. Чем больше белизна бумаги и плотность оттиска, тем больше контраст.

Контраст важен для иллюстраций с наличием деталей (ступеней) яркости. Чем он больше, тем четче и зримее становятся такие детали.

Еще одним из показателей печатных свойств бумаги является **непрозрачность бумажного листа**.

Когда краска оказывается видной с оборотной стороны листа, говорят о “пробивании” краски. Проникновение краски в бумагу определяется проникновением как самого пигмента, так и связующего. Даже когда краска не появляется на поверхности, это свойство характеризуют оптической плотностью пробивающегося изображения.

При неоднородной структуре бумаги в случае пробивания краски на оборотную сторону листа, а это имеет место в тонких участках бумажного полотна (промоинах), двусторонняя печать становится невозможной.

От непрозрачности зависит степень просвечивания оттисков на оборотную сторону листа. Падающий свет проходит бумажный лист, рассеиваясь бумагой, и вместе с тем часть его проходит параллельным пучком лучей сквозь бумажный лист. Облачная и однородная бумаги, будучи одинаковыми по массе, по-разному пропускают свет. Так, неоднородная бумага в местах скопления массы (во флокулах) больше рассеивает свет, а в промоинах преобладает прямое его прохождение. Последнее связано с тем, что в промоинах больше волоконной мелочи и отсюда большая их плотность. Сами волокна целлюлозы прозрачны.

Для увеличения непрозрачности в бумагу вводят наполнители, которые рассеивают свет. Известно, что высокой способностью рассеивать свет и повышать белизну бумаги обладает диоксид титана. Степень непрозрачности во многом определяется композицией бумаги, ее толщиной и степенью помола целлюлозных волокон.

Большое влияние на непрозрачность оказывает каландрирование, приводящее к большему сплочению волокон и следовательно к меньшему рассеиванию света, т.е. к меньшей непрозрачности.

Величины, характеризующие печатные свойства бумаг, могут иметь однозначно интерпретируемые значения лишь при получении оценок в строго оговоренных условиях.

Принцип автотипии, широко используемый при печати, заключается в получении так называемого растрового изображения тонового оригинала из дискретных элементов [34].

Если рассматривать основные конструктивные блоки, из которых складывается большинство сложных сюжетов, можно назвать точку, линии и участки сплошного красочного слоя (табл.1.2).

Характеристики элементов печатных изображений

Элементы изображения	Качественные показатели
Растровая точка (тоновое изображение)	<ul style="list-style-type: none"> • расположение • увеличение размера («растискивание») • минимальный устойчивый размер • форма • неравномерность края • сателлитные точки
Линия (штриховое изображение, текст)	<ul style="list-style-type: none"> • ширина • резкость края • искажение края • оптическая плотность
Участок сплошного красочного слоя (в этикетке, упаковке, рекламе...)	<ul style="list-style-type: none"> • оптическая плотность • цвет (яркость, цветовой тон) • шум (зернистость, пятнистость, фон, появление посторонних изображений на оттиске) <ul style="list-style-type: none"> ▪ глянец

При этом параметры формирования растровой точки наиболее важны, так как определяют большое количество показателей качества изображения на оттиске.

При растровой печати происходит увеличение относительной площади печатающих элементов - растискивание, которое приводит к уменьшению так называемого контраста печати (рис. 1.1, 1.2). Различают физическое и оптическое растискивания.

Физическое растискивание происходит из-за растекания краски и других причин, а оптическое – в результате поглощения краями печатных элементов диффузно рассеянного в толще бумаги света, вошедшего в нее через пробел.

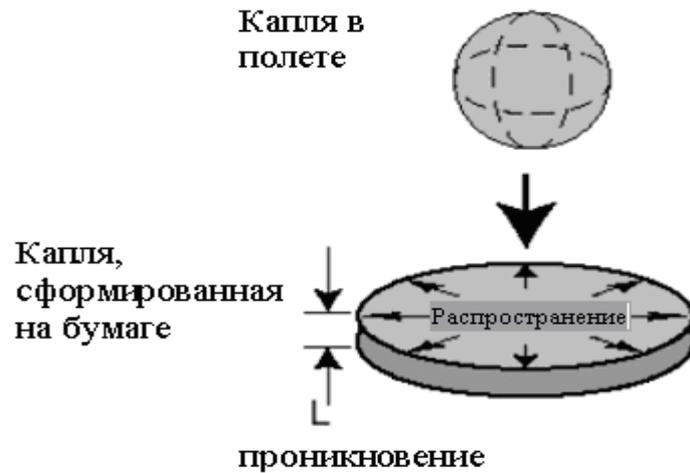
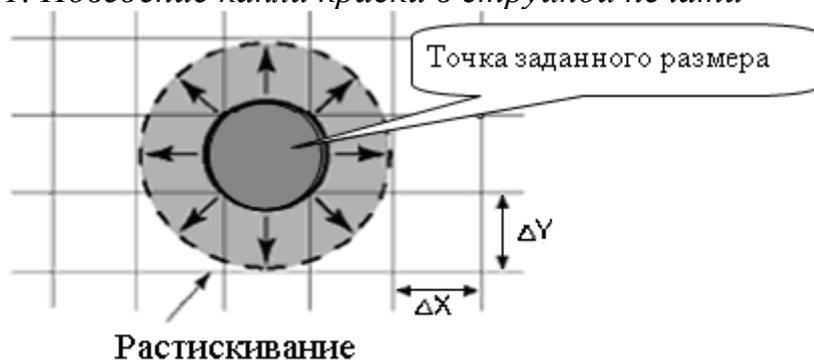


Рис. 1.1. Поведение капли краски в струйной печати



Растискивание = Физическое растискивание +
Оптическое растискивание

Рис. 1.2. Растискивание

На растискивание влияет структура бумаги, краска, диффузия света в толще бумаги. Идеальная точка имеет резкие края, а реальная может по-разному отличаться от идеальной, как показано на рис.1.3.

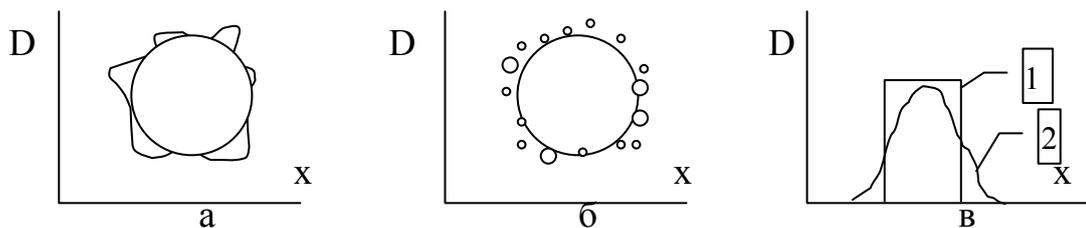


Рис. 1.3. Различные варианты растискивания точек:

а - искажение формы; б – сателлиты; в - денситограмма идеальной -1 и реальной -2 точек.

Точки могут не пропечатываться, иметь нерегулярную форму (а), чаще встречающуюся из-за шероховатости. В электрофотографии могут появляться мелкие сателлиты (б) вокруг точки.

Подобные искажения растровых точек – источник шумов, искажающих информацию о локальном значении тона. Оно определяется в автотипии исключительно площадью, запечатанной краской, а не, например, толщиной красочного слоя.

Рассматривая печатные свойства бумаг, кратко остановимся на краске.

Краска и бумага – это система взаимодействующих элементов, и результат их взаимодействия зависит от каждого из участников. Представление о влиянии каждого элемента на результат – качество печати – известно в виде закона капиллярного впитывания. Однако предсказать с достаточной для практики точностью показатели качества печати не представляется возможным.

В зависимости от вида печати, бумаги, требования к краске – это требования к ее структурно-механическим свойствам, определяющим взаимодействие краски с бумагой в печатном процессе.

Одним из требований к краске является требование к ее количеству для получения заданного уровня оптической плотности оттиска на бумаге. Величина оптической плотности, достигаемая при данном количестве краски – основной и важный фактор печати. Проникновение краски в бумагу и колебания ее толщины снижают оптическую эффективность данного количества краски, одновременно уменьшая цветовой охват (диапазон).

Влияние впитывания заключается в том, что краска, проникая в бумагу, становится частью бумаги, рассеивающей свет. При этом оттиск становится бледнее, т.е. меньшей оптической плотности, чем требовалось.

Известно, что в многоцветной офсетной печати слои краски накладываются один на другой. При этом предыдущий слой еще не высох, а новый слой попадает на неотвердевшую краску. В данном случае требования к впитываемости бумаги высоки.

В случае неоднородной структуры впитываемость краски различными участками бумаги различна. Результатом является искажение цвета оттисков.

О влиянии бумаги, краски, параметров процессов печати на качество печати имеются многочисленные исследования и обширная литература, особенно для традиционных видов печати. Несмотря на это, в данных видах печати остается много нерешенных проблем.

Серьезным конкурентом для традиционных видов печати стала цифровая печать. Следует остановиться на огромном, возрастающем в геометрической прогрессии, секторе цифровых видов печати и на их особенностях, приводящих к постановке новых требований к печатным свойствам бумаг.

1.2. Бумаги для цифровой печати

Особенности цифровой технологии – это то, что должны понять и осознать производители бумаг. Сегодня они только приходят к пониманию требований, выполнение которых позволит добиться требуемого качества цифровой печати.

Появление различных видов цифровых процессов за последние годы вошло в направление быстрой печати. Лазерные и струйные принтеры стали широко используемыми в малых и домашних офисах. Внедрение этих процессов различными фирмами расширило применение цифровых методов

в быстрой и средней по скорости выполнения сферах печати. Наступление этих технологий поставило производителей бумаги и покрытий перед повышенными требованиями потребителей, которые выразились в требованиях к свойствам бумаг, обеспечивающим их проводку через печатные машины и качество печати. Вероятно, что в ближайшие несколько лет хорошие сухой и жидкий тонер и чернила для струйных принтеров, станут так же важны для производителя бумаг, как и характеристики офсетной и глубокой печати сегодня.

На рис.1.4 показано поведение краски при различных видах печати. Различные способы печати требуют различного поведения бумаг. Поэтому, говоря о печатных свойствах бумаги, следует уточнять, для какого вида печати она предназначена.

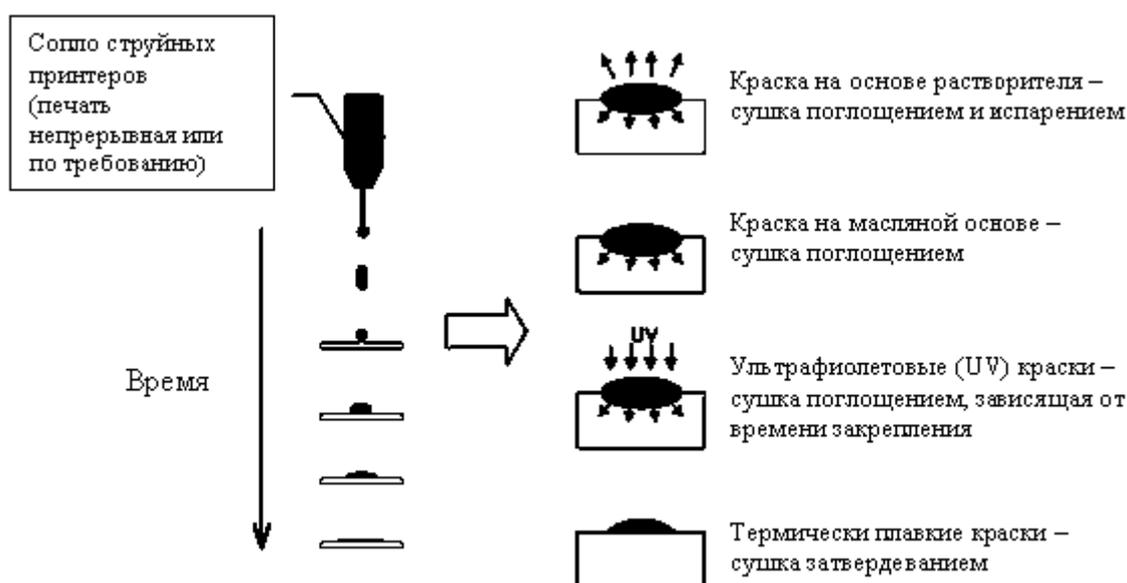


Рис. 1.4. Поведение краски при различных видах печати

Большие технические проблемы в этой области связаны с удовлетворительными видами покрытий, которые были бы эффективны по стоимости, эстетически приятны и могли быть использованы во всех видах печати (многофункциональны). Эта цель не может быть слишком отдаленной. Поэтому далее обсуждаются критерии печатных свойств бумаг, диктуемые цифровыми печатными процессами.

Как и в прошлом, когда покрытия должны были быть выполнены такими, чтобы удовлетворять требованиям печатных процессов (к поглощению чернил и поверхностной прочности), сегодня современные технологии цифровой печати устанавливают различные не удовлетворенные на текущий момент требования к физическим и химическим свойствам бумаг с покрытиями.

Цифровая печать может быть охарактеризована следующими особенностями: способностью запечатывать поверхность цифровыми данными, объединять образы в процессе печати, изменять содержимое части или всего оттиска каждой из печатаемых копий. Хотя это определение охватывает все формы цифровой печати, рассмотрим лишь системы

струйной и тонерной печати, которые завоевывают все больший рынок печати. Эти системы, отличные от цифровой литографии, устанавливают новые требования к поверхностным свойствам бумаги, иначе говоря - новые требования к производителям бумаги и производителям покрытий.

Существуют огромные возможности для производства бумаг с покрытием, которые бы удовлетворяли требованиям новых цифровых печатных технологий и конкурировали по цене с традиционными бумагами с покрытиями.

На настоящее время электрофотографические способы печати, основанные на сухом тонере, преобладают в неконтактных методах печати. Тонер передается на бумагу с помощью электростатических сил и в большинстве технологий термомеханически плавится в точках.

Различия появляются в подаче бумаг и укладке их в стопу. Некоторые лазерные принтеры имеют проблемы с проводкой бумаг.

Этими проблемами являются: пропуск подачи бумаги, подача слипшихся листов, появление складок.

Удельное электрическое сопротивление бумаги – один из важных параметров для производителя бумаг. Если оно слишком велико, листы под действием статического электричества будут слипаться, приводя либо к пропуску, либо к слипанию двух листов, либо к взаимодействию с управляющими сигналами принтера. Если же сопротивление бумаги слишком мало, передача тонера уменьшается. Результат – снижение оптической плотности оттиска.

Производитель бумаги управляет электрическим сопротивлением, добавляя соли на поверхность бумаги. Но данное сопротивление сильно зависит от изменений влажности, и по этой причине бумаги для лазерной печати необходимо приводить в требуемое состояние так, чтобы их влажность была уменьшена.

Однородность содержания влаги и величина влажности критичны и по ряду других причин. Если бумага слишком сухая, при укладке в стопы ее края быстро набирают влагу и бумага оказывается неоднородной поперек листов. Противоположный эффект возникает, когда бумага очень влажная. Когда влажность велика, возникают водяные пузыри при плавке тонера. Неоднородность бумажного полотна по влажности вызывает проблемы для лазерных принтеров. Плохое формование бумажного листа, его локальная неоднородность по массе – причина неоднородности и по влажности. Отсюда – неоднородность прилипания тонера и как следствие – пятнистость оттиска.

Шероховатость бумаги – другая причина нежелательного влияния на качество печати.

Шероховатость бумаги приводит к тому, что в углублениях и на вершинах происходит сосредоточение тонера. Шероховатость может быть теоретически причиной локальной неоднородности бумаги по влажности.

Другая проблема – природа покрытия. При тесном прилегании покрытия на стадии плавки тонера наблюдаются пузыри и отслаивание покрытия из-за выпаривания воды, которой некуда деваться. Бумаги с

покрытием могут также обладать нежелательными свойствами аккумулировать слишком много тепла в бумаге после плавки тонера. Это может приводить к осыпанию тонера и попаданию его на части печатной машины.

Печать, например, на INDIGO, являясь другой цветной цифровой печатью, существенно отличается от печати сухим тонером. Будучи цифровой офсетной печатью, она диктует другие параметры печатных свойств и свойств проводки бумаг. Главные проблемы печати для Indigo - химические свойства чернил для бумаги. Если бумажная масса кислотная, бумага меньше подходит для Indigo. Это общее правило дает неверное представление о более сложном влиянии химии. Сходство чернил для бумаг зависит от кислотности или валентности бумажного полотна, его полярности и функции рассеивания энергии бумажной поверхностью.

Бумаги с покрытием обычно имеют поверхность, химически скорректированную под Indigo благодаря карбонату кальция. Бумаги без покрытия должны быть предварительно обработаны темно-синим покрытием (полиэтиленовым амином) для коррекции химических свойств поверхности. Проблемы печати обычно проявляют себя в хлопьях краски. Они появляются в процессе адгезии краски к бумаге из-за химической несовместимости.

Самые большие проблемы производителей бумаг для цифровой печати связаны со струйной цветной печатью. Использование цветных принтеров на рынке офисной и домашней печати увеличивается, если цена бумаг понижается. Бумаги, применяемые в офисной технике, требуют соответствия не только параметрам лазерной, но и струйной печати. Это существенно усложняет проблемы бумажников и производителей покрытий, поскольку при производстве бумажной продукции должен быть обеспечен целый спектр дополнительных параметров.

Жидкие чернила, используемые для струйной печати, должны быстро закрепляться на поверхности бумаги и легко покидать свой носитель. Если чернила будут поглощаться слишком быстро, это может привести к понижению оптической плотности оттисков, пробиванию краски на другую сторону бумаги. Если же чернила не будут абсорбироваться достаточно быстро, это может привести к растеканию чернил, снижению плотности цветного оттиска, искажению линий изображения, их уширению.

Достижение компромисса между этими двумя эффектами может быть достигнуто за счет управления пористостью и поглощающими способностями бумаги.

Проблема усложняется из-за разнообразия принтеров [35].

Струйные принтеры могут быть разделены на три группы:

- с пьезоэлектрической матрицей (капли чернил эжектируются из объема, выполненного из пьезоэлектрического материала, деформируемого в процессе эжекции);
- с использованием нагретого пигмента или цветных чернил;
- с использованием фазового перехода или термически плавких чернил.

Все эти принтеры ставят разные требования к бумагам. Одновременно удовлетворить эти требования, а также требования к бумагам при печати на лазерных принтерах – сложная задача для бумажников и производителей покрытий.

Струйный принтер накладывает отдельные точки чернил на поверхность бумаги. Размещение точек может меняться при создании полутонов или сплошной цветной заливки поверхности, линий и буквенно-цифровых знаков. Исходные цвета – голубой, пурпурный и желтый могут комбинироваться для получения промежуточных цветов (оттенков) как и в традиционных способах печати: флексографии, офсетной и высокой печати. Проблема с чернилами с точки зрения бумажника заключается в том, чтобы они имели низкую вязкость и малое поверхностное натяжение. Эти свойства – необходимое условие как для прохождения чернил через сопла, так и для нанесения на бумагу. Это значит, что чернила должны быть высоко поверхностно активны и обладать хорошими проникающими свойствами, не приводящими вместе с тем к пробиванию на обратную сторону бумажного листа.

В бумагах без покрытия пробиванием можно управлять добавками поверхностных проклеивающих добавок. Управляя гидрофобными свойствами поверхности бумаги, можно задерживать прохождение чернил через бумагу. Чернила могут быть сдержаны за счет свойств волокон впитывать жидкую фазу чернил, оставляя пигмент на поверхности бумажного листа, что приводит к ярким оттискам. Однако удержание чернил на поверхности бумаги может привести к нежелательному растеканию чернил по поверхности. Таким образом задача заключается в том, чтобы оставить пигмент на поверхности, а носитель (жидкую фазу чернил) впитать.

Растекание линий Идеальный случай Рваная линия



Рис.1.5. Типы линий, получающихся в зависимости от различного взаимодействия бумаги и краски

На рис 1.5. показаны результаты различных видов взаимодействия бумаги и краски в процессе печати.

Рассматривая впитывающую способность поверхности бумажного листа, можно высказать и концепцию химической неоднородности, приводящей к разорванности линии. Несомненно, техника профилометрии позволяет пользователям накапливать опыт о поверхностной шероховатости. Используя географическую аналогию, можно говорить о ровных поверхностях (равнинах), впадинах и горах или о горной поверхности с озерами и пиками. На языке бумажника – это участки с локальным скоплением волокон - флокулы и участки с уменьшенным содержанием волокон – промоины. Требования быстрого осаждения тонера и отделения его от связующего – ключ к пониманию того, какие параметры влияют на печатные свойства бумаг. В бумагах с покрытием для поглощения чернил не

доступны ни волокно, ни обычный покрывающий пигмент, имеющий сходство с печатающими красками и пигментом. Или краска целиком должна осуществить взаимодействие с силикатным десиккантом (высушивающим веществом) или в само покрытие должен быть введен химический фиксатор для краски, обладающий существенной проницаемостью, для быстрого отделения краски или пигмента от жидкой фазы.

Пятнистость печати – проблема, присущая не только традиционной, но и струйной печати.

На рис. 1.6 показано влияние запечатываемого материала на пятнистость оттиска.

Пятнистость – проявление изменений оптической плотности на сплошном окрашенном поле и наиболее отчетливо наблюдается на черных и синих заливках бумаг с покрытиями. Пятнистость появляется из-за вариаций плотности волокон в исходном бумажном листе. Такие процессы как покрытие и каландрирование могут усложнить проблему, но топография основы и ее структура являются все же определяющими факторами.

Вариации покрытия – сложная функция как внутренней структуры, так и топологии поверхности основы, и вариации поглощения чернил являются функцией неоднородности покрытия и проникновения в бумаги с покрытием. В некоторых бумагах с покрытием пятнистость более обусловлена внутренней структурой основы, а в некоторых – топологией поверхности.

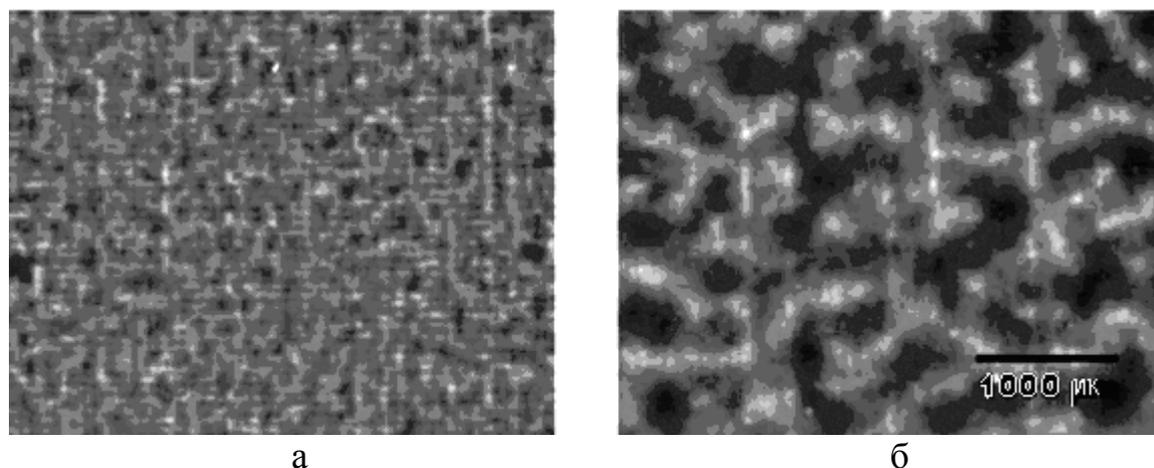


Рис. 1.6. Влияние запечатываемого материала на пятнистость оттиска:
а - малая пятнистость; б - большая пятнистость

Попытка повысить гладкость и глянец каландрированием связана со сложностью связей между топографией, структурой и сжимаемостью бумаги. Местные изменения толщины покрытия воспроизводят изменения основы (рис.1.7).

В некоторых случаях зернистая облачность очень хорошо видна. Это происходит, например, благодаря пористой структуре покрытия и свойствам чернил. Так, большие и нечастые поры в покрытии приводят к неровному распределению чернил.

Основой хорошего качества печати является хорошо управляемые форма, размер и однородность растровой точки.

Если носитель разрабатывают правильно, точки должны быть круглыми, с небольшим растискиванием и высоким уровнем однородности между ними. Для иллюстрации этого на рис.1.8 показан набор точек, напечатанных при помощи одного и того же струйного принтера на двух различных сортах бумаги: глянцевой бумаге с покрытием и бумаге без покрытия.

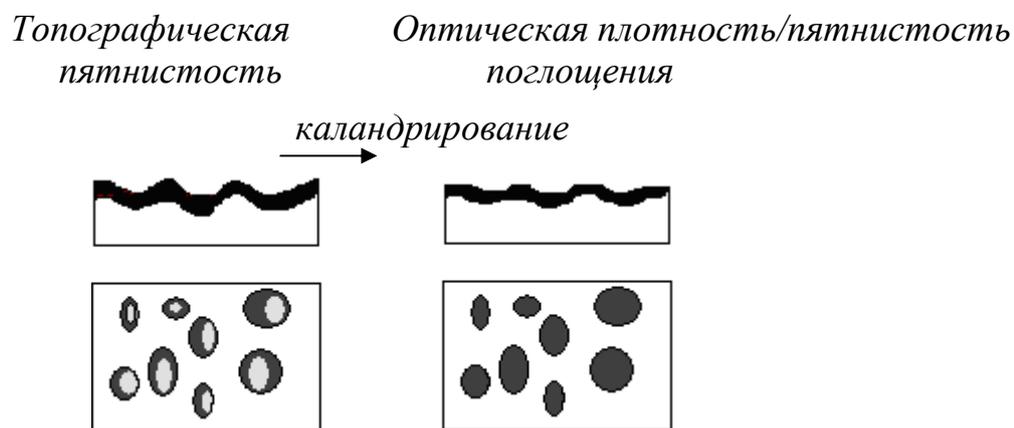


Рис.1.7. Преобразование топографических изменений в изменения оптической плотности оттисков

По этому рисунку ясно, что качество точки – это важный конструктивный блок, который определяет качество большого количества сложных геометрических элементов, таких как линии и участки сплошной заливки.

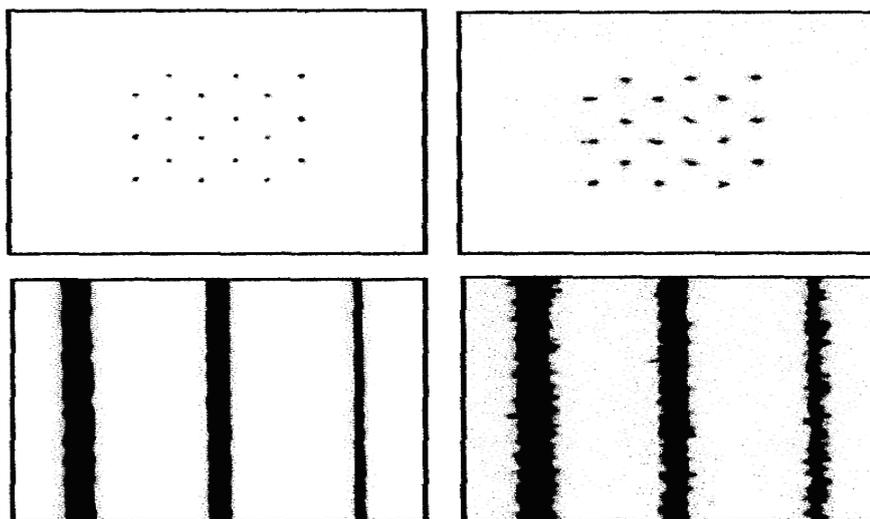


Рис. 1.8. Слева бумага с покрытием, справа – без покрытия

Влияние бумаги и принтеров на качество печати показано на рис.1.9 - 1.11.

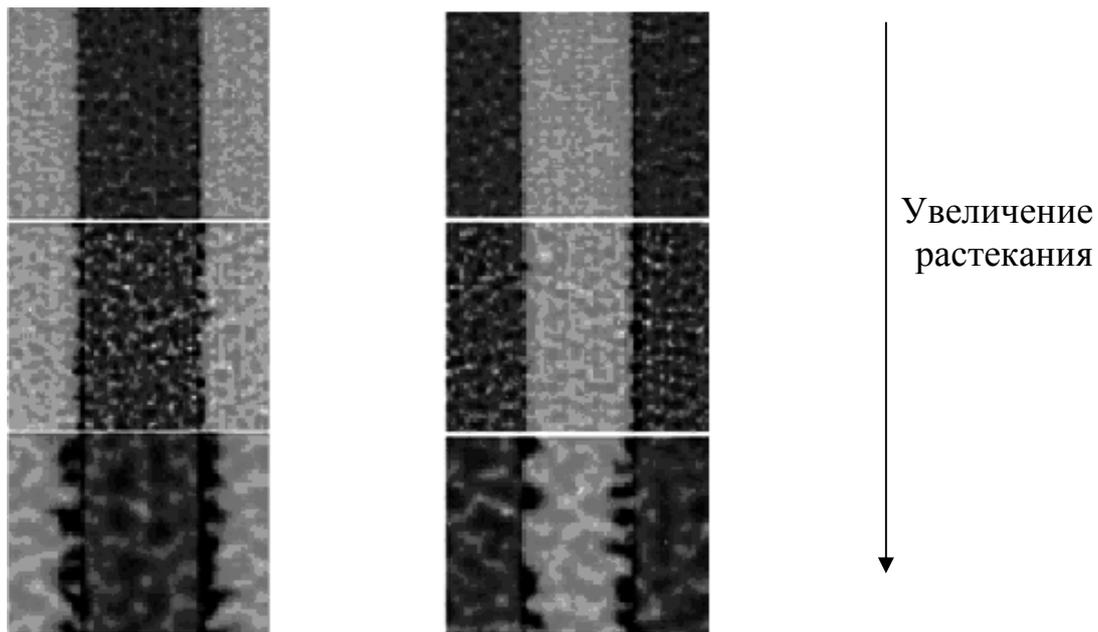


Рис. 1.9. Влияние запечатываемого материала на растекание краски

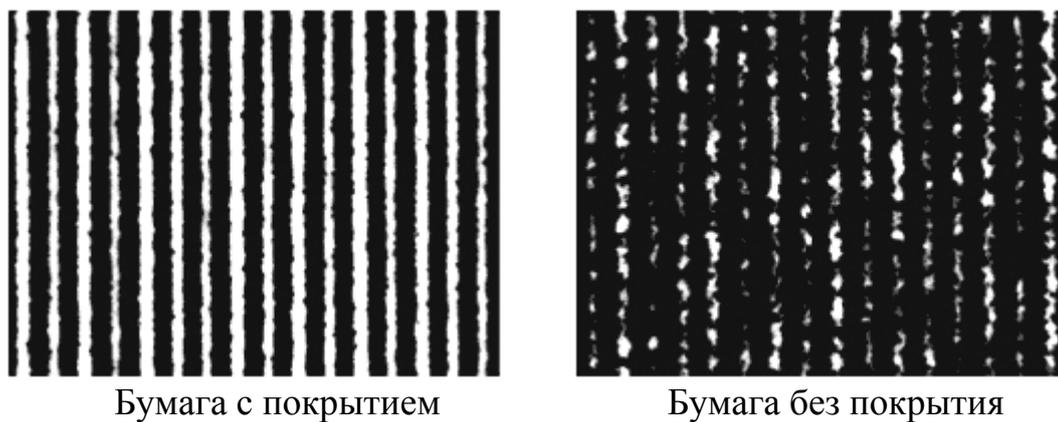


Рис. 1.10. Влияние бумаги на разрешение при струйной печати

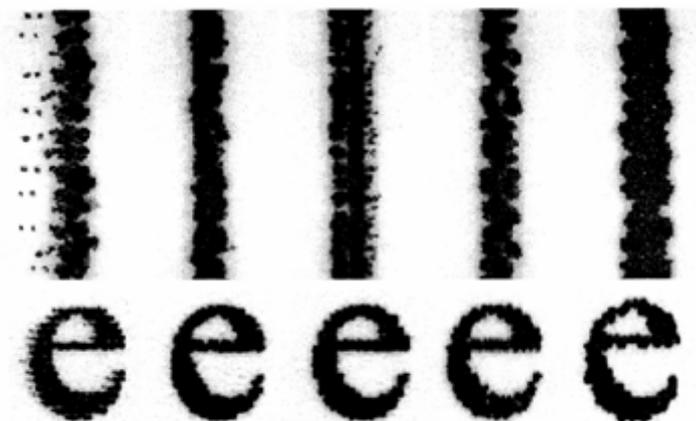


Рис. 1.11. Печать разными принтерами

На рис.1.12 – 1.15 даны зависимости качества печати от вида бумаг [51].

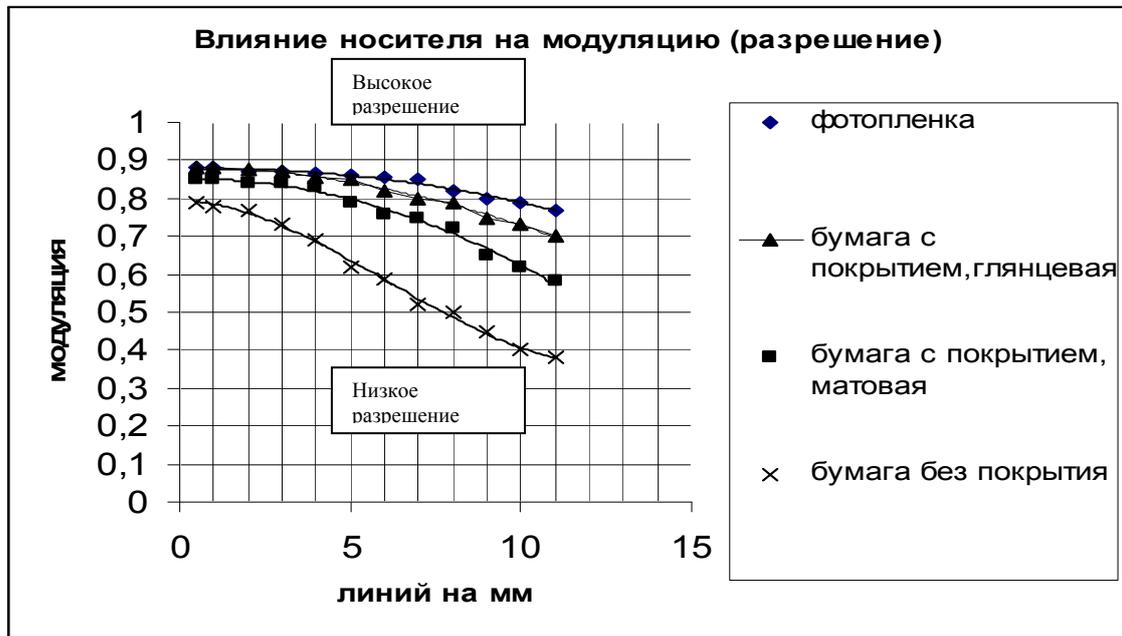


Рис. 1.12. Влияние вида бумаги на разрешение оттиска

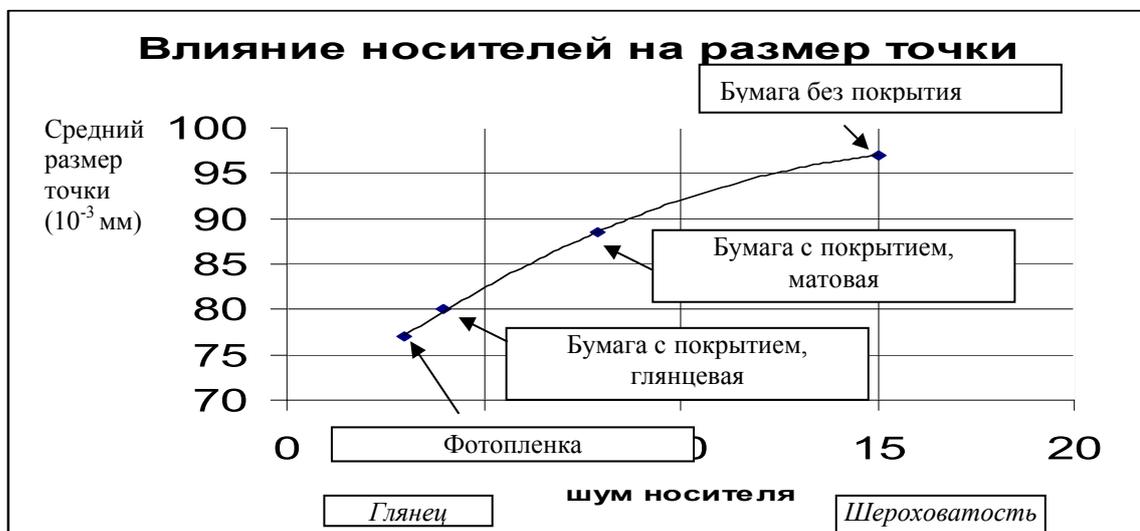


Рис. 1.13. Влияние вида бумаги на размер растровой точки

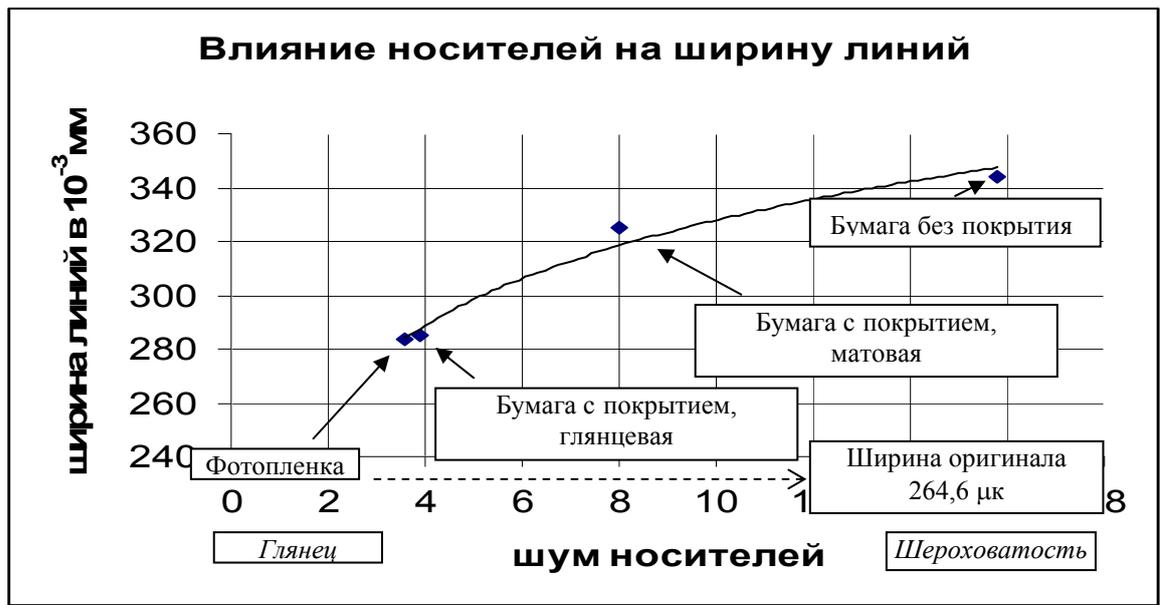


Рис. 1.14. Влияние вида бумаги на ширину линии

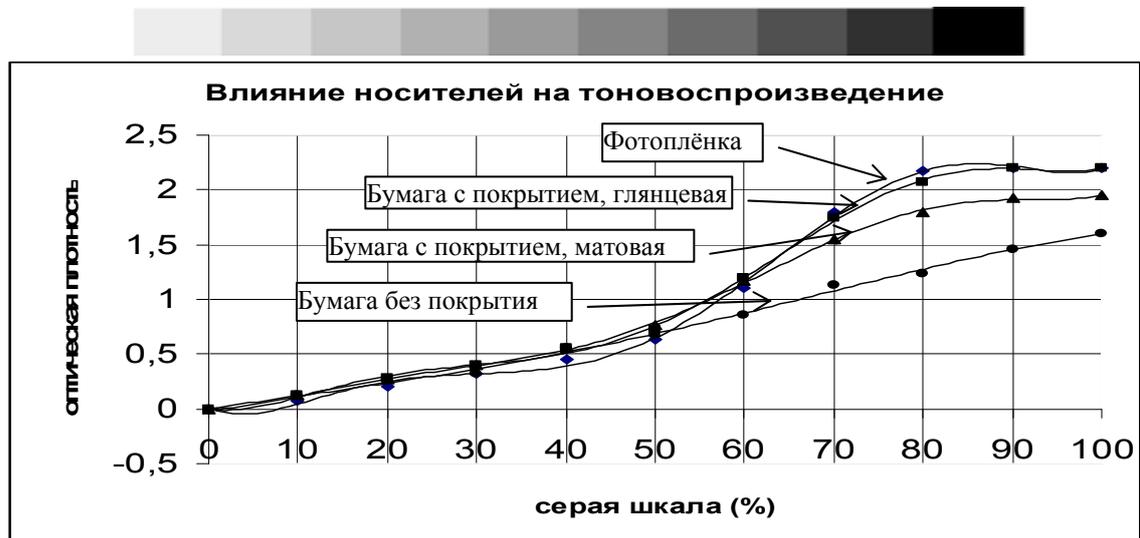


Рис. 1.15. Влияние вида бумаги на тоновоспроизведение

Как следует из приведенных графиков, качество оттисков у бумаг с покрытиями выше, чем у бумаг без покрытий. Однако нужно иметь в виду, что и стоимость бумаг с покрытием существенно выше.

Это ставит перед полиграфистами практическую задачу выбора конкретной бумаги под конкретный вид печатной продукции при минимальной цене бумаги, учитывая, что доля бумаги в себестоимости печатной продукции составляет 70 – 75%.

Чтобы сравнить печать разными принтерами и выяснить, как качество печати зависит от принтеров, можно рассмотреть одну из многочисленных работ, посвященных этому [36].

Сравнению подлежали:

- Херох DocuColor 40 (электрофотографический способ с сухим тонером);
- Хейкон DCP/32D (электрофотографический способ с сухим тонером);

- Indigo E-Print 1000 (электрофотографический способ с влажным тонером);
- Heidelberg Quickmaster DI (сухой офсет);
- Heidelberg GTO (офсет с увлажнением).

Рассмотрение 30% и 100% заливок черным показало, что при 30% заливка для Херох (электрофотографический с сухим тонером) сильно отличается от традиционной офсетной.

Это связано с невозможностью электрофотографическим способом передать ровно маленькие частицы сухого тонера.

При измеряемой площади поверхности 1 см^2 пятнистость глянца видима при коэффициенте вариации $> 20\%$, а пятнистость оттиска - при коэффициенте вариации $> 2\%$.

Более шероховатые бумаги имели большую пятнистость глянца. Причем при 400% черного (СМУК) пятнистость была больше, чем при 100% черного.

В офсетной печати даже при большой толщине слоя краски пятнистость глянца оказалась существенной, что можно объяснить различными впитываемостью связующего и удержанием пигмента на поверхности в разных участках бумажного полотна, имеющих различную поверхностную плотность в силу неоднородности распределения массы.

Растискивание точки оказалось меньшей как для сухого офсета, так и для электрофотографического способа печати ($< 10\%$), а для Indigo, Херох и GTO - $> 20\%$.

Все отмеченное подтверждает то, насколько качество печати зависит от способа печати и разного конструктивного выполнения печатных машин.

Еще один из выводов заключается в том, что для Indigo E-Print 1000 (электрофотографический способ с влажным тонером) зависимость качества печати от бумаги проявилась в большей степени, чем для других машин с электрофотографическим способом печати.

1.3. Проблемы создания бумаг с требуемыми печатными свойствами

Как отмечалось во введении, одними из особенностей современного состояния полиграфической отрасли являются новые виды печати, различные по физической природе процессов, по конструктивному выполнению печатных машин, новые виды красок, обилие иллюстративной компоненты и т.п. новшества.

В этих условиях бумаги, использовавшиеся в традиционных видах печати, оказались не способными обеспечить разнообразные и к тому же возросшие требования к качеству печатной продукции.

Появилось много новых видов бумаг, особенно бумаг с покрытиями, создатели которых постарались за счет покрытий добиться большей стабильности свойств поверхности бумаг, большей их приспособленности к жидким краскам струйной печати и тону электрографических видов печати

и т.п. Покрытие всегда более однородно и однообразно по структуре и свойствам, чем бумага, и это казалось бы упрощает понимание многих процессов печати. Однако это лишь кажущаяся простота. Так, однозначно ответить сегодня на вопрос, какой должна быть структура покрытия для конкретного вида печати, пока нельзя. С этим связан и другой вопрос: какие требования и как, в виде каких показателей каких свойств сформулировать и предъявить производителям бумаги.

Для ответа на такие вопросы требуется большая изученность процессов печати для таких бумаг. Однако новые виды бумаг еще нужно произвести, а требования к качеству даже традиционных видов бумаг нельзя признать удовлетворительными и четко сформулированными в связке «бумага – краска — оттиск».

Вместе с тем следует иметь в виду, что применение покрытий приводит к удорожанию бумаг, а стоимость бумаги – весомый фактор, касающийся конкурентоспособности не только бумаги, но и печатной продукции, а из практики известно, что чем хуже основа, тем больше средств необходимо затратить на ее улучшение.

В связи с отмеченным, задача создания конкретного вида бумаги под конкретный вид печати является актуальной.

Вместе с тем следует заметить, что попытка оценить какое-либо из качеств печати в зависимости от комплекса свойств бумаги автору не известна. В настоящее время многие свойства бумаг оцениваются не по единственной методике, не одними и теми же средствами измерений. Вместе с тем, многие из оценок малоинформативны.

На практике это значит, что настроить печатную машину, зная существующие показатели свойств бумаги и краски, так, чтобы получить желаемый результат невозможно. Принципиальных причин для этого несколько.

Одна из них – отсутствие адекватного описания сложных многокомпонентных технологических процессов производства бумаги и печати.

Вторая – недостаточная эффективность многих методов исследования свойств бумаг, приводящая к малой информативности получаемых с их помощью оценок этих свойств для прогнозирования качества печати и решения задачи выбора бумаги под конкретный вид печати, конкретное оборудование и конкретную печатную продукцию.

Бумага является сложным объектом, характеризуемым как прочностными, так и печатными свойствами.

Каждое печатное свойство бумаги порознь, например, шероховатость, неоднородность структуры, пористость, впитываемость, влажность, рН и т.п. не позволяет спрогнозировать качества печати, такие, например, как контраст, потеря тона, растискивание растровой точки и т.п. Любое из качеств печати зависит от совокупности свойств бумаги, некоторые из которых определяются лишь косвенно.

Всякий сложный процесс или объект всегда имеет достаточно широкий спектр составляющих. Выявление наиболее существенных из них, способных в совокупности объяснить с определенной долей уверенности состояние объекта или процесса, - задача любого исследования.

Свойства бумаг и картона характеризуют на настоящий момент такими их показателями как масса m^2 , толщина, белизна, непрозрачность (для бумаг), жесткость, гладкость и т.п. Математические модели, связывающие эти показатели с качеством печати на сегодня отсутствуют, поскольку они не являются достаточно информативными для его прогнозирования.

Из исследований печатных свойств бумаг следует, что одним из важнейших их свойств является пористость.

Что известно о пористости? Приведем общие положения. Утверждается, что есть поры поверхностные, есть поры внутренние. С этим сложно не согласиться. Однако, когда дело доходит до их количественной оценки, во-первых, пользуются косвенными методами измерения пор, основанными на продувании воздуха через бумагу (что дает именно косвенное, ничем не обоснованное представление о пористости), во-вторых, ограничиваются одной осредненной оценкой. Однако распределение пор по размерам случайно и для различных бумаг имеет различные функции распределения (рис.1.16).



Рис. 1.16. Зависимость объема пор от их радиуса при разном размере наполнителя – каолина (по два графика для каждого образца каолина)

А это значит, что процентное содержание крупных и мелких пор у них различно и следовательно различна впитывающая способность бумаг. Различна пористость у флокул и промоин, что находит проявление в пятнистости отрисков. Вместе с тем, существующее различие лицевой и сеточной поверхностей бумаг также проявляется в различии пористости этих

поверхностей, что существенно влияет на качество печати. Однако сам «воздушный» метод по своей природе дает одинаковые результаты независимо от того, с какой стороны продувать бумагу. Из всего отмеченного следует, что единственный осредненный показатель пористости, оцениваемый с помощью существующих методов, не может быть признан достаточно информативным.

В связи с обсуждаемым вопросом, рассмотрим результаты, полученные автором по данным с Сегежского целлюлозно-бумажного комбината. Здесь измеряется два параметра: воздухопроницаемость и пористость.

Как следует из приведенных данных статистической обработки (рис.1.17 -1.19), эти два параметра связаны фактически функциональной обратно-пропорциональной зависимостью.

Model is: $v2=a/v1$ (Spreadsheet3)
 Dep. Var. : Пористость
 Level of confidence: 95.0% (alpha=0.050)

	Estimate	Standard error	t-value df = 74	p-level	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
a	10223,38	97,13001	105,2546	0,00	10029,85	10416,92

Рис.1.17. Результаты регрессионного анализа, проведенного с помощью пакета Statistica

Здесь: Model – математическая модель; V2 – пористость (л/с); V1 – воздухопроницаемость (с); Level of confidence – уровень доверия; alpha – уровень значимости; Estimate - оценка (коэффициента a); Standart error – стандартная ошибка; t-value – t – критерий для коэффициента a; df – число степеней свободы; p-level – вероятность нулевой гипотезы для коэффициента a

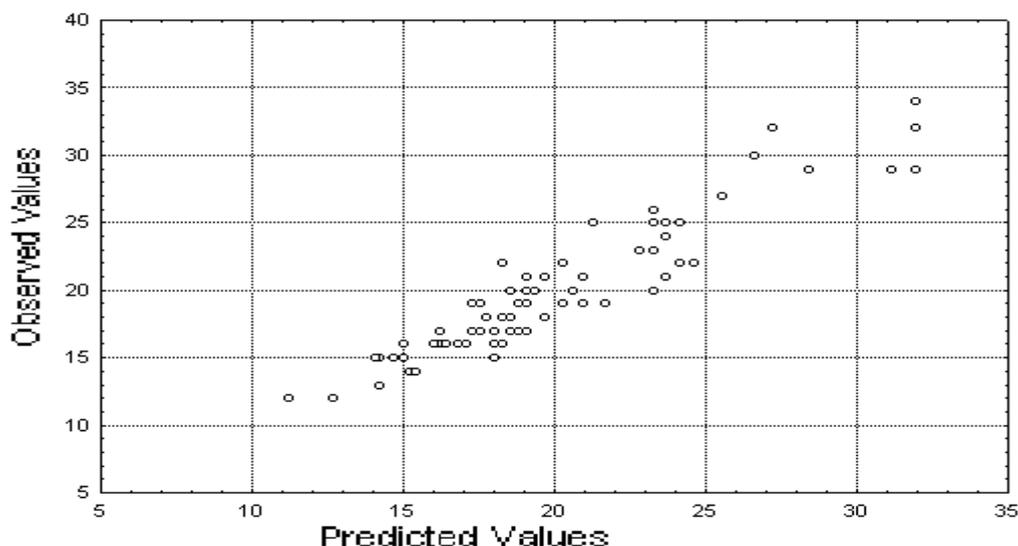


Рис.1.18. Предсказанные (Predicted Values) и наблюдаемые (Observed Values) значения пористости (л/с)

С практической точки зрения, это свидетельство отсутствия какой-либо необходимости иметь два прибора, поскольку по результатам одного можно вычислять значение другого параметра. С другой стороны, это говорит о плохой определенности понятия пористости, фактически подменяемого понятием воздухопроницаемости.

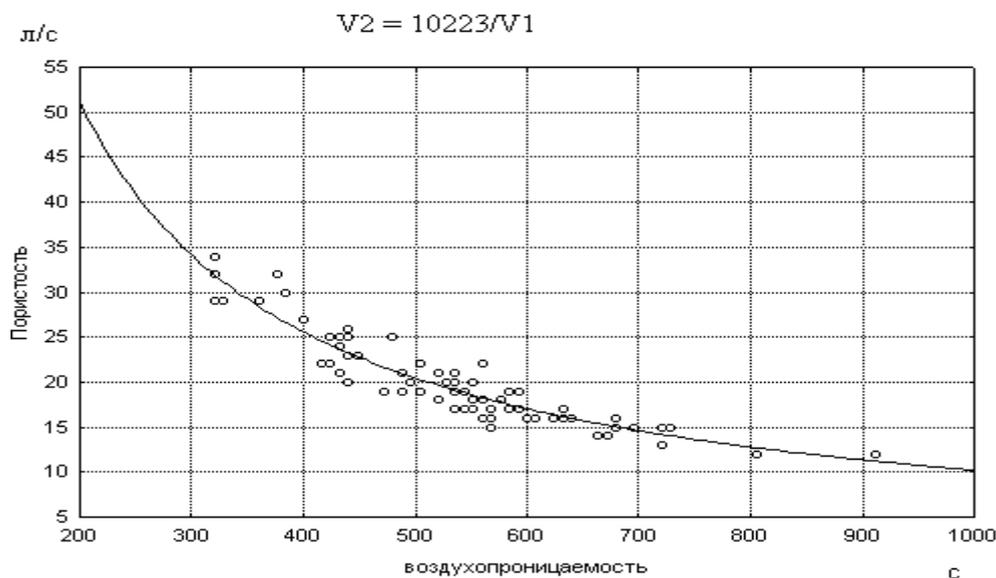


Рис.1.19. Регрессионная зависимость пористости ($V1$, л/с) от воздухопроницаемости ($V2$, с)

Рассмотрим далее такое качество наполнителей как размер их частиц.

На рис.1.20 даны гистограммы распределения различных образцов мела по размерам их частиц, полученные с помощью анализатора «Микросайзер 201». Понимая, что размер частиц мела влияет на размер пор, следует признать, что и в этом случае использование лишь среднего арифметического размера в качестве характеристики гранулометрического состава также некорректно.

Известно, что большое влияние на печатные свойства бумаг оказывает их композиция. Варьируя состав компонентов, их процентное содержание, добиваются изменения свойств бумаг. Существенное влияние на качество бумаг оказывают волокна. Они бывают двух типов: целлюлозные и из древесной массы. Механические волокна (древесная масса) короткие, объемные и жесткие (негибкие), а целлюлозные – длинные, плотные и прочные. Смешивая те и другие, можно оптимизировать свойства бумаг под конкретный вид печати.

Не останавливаясь подробно на вопросах применения различных компонентов для достижения определенных печатных свойств, следует, в связи с исследованием вопросов неоднородности структуры бумажного полотна, особо остановиться на выборе соотношения хвойной и лиственной составляющих в волоконной массе. Известно, что первая отличается от второй более длинными и гибкими волокнами. Этот факт следует учитывать, зная о противоречиях, которые существуют между прочностными

свойствами бумаг и их структурной неоднородностью. Так, увеличивая долю длинных волокон, можно повысить прочностные свойства бумаг. Однако, вместе с тем, бумаги становятся более неоднородными по массе, ухудшаются гладкость и ровность их поверхности, т.е. ухудшаются печатные свойства бумаг.

Laser particle analyzer
VA Instruments

Micro Sizer 201

St.-Petersburg
Russia

Пример измерения гранулометрического состава различных образцов мела

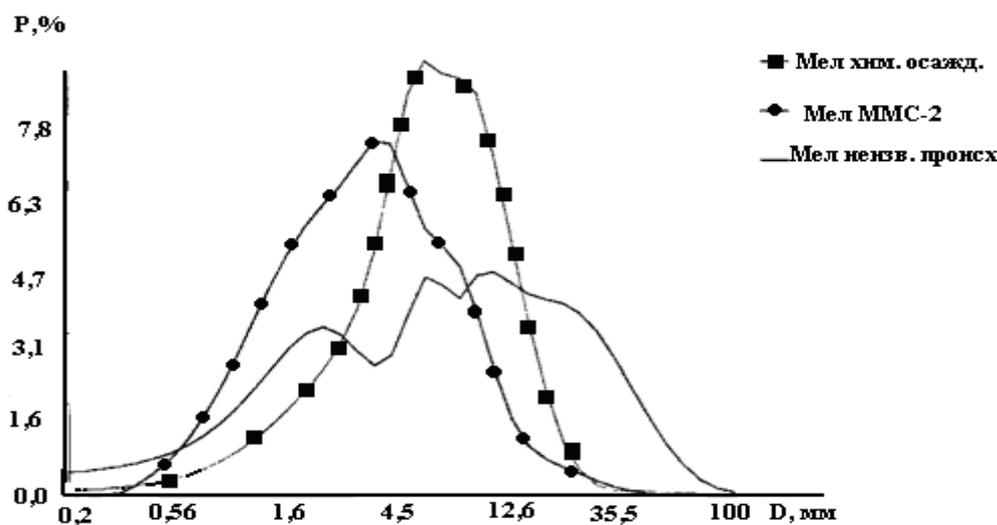


Таблица зависимости размера частиц от их весовой доли (D, мкм)

Мел хим. осажд.	1,9	3,1	4,2	5,0	5,9	7,0	8,3	10,0	12,6	100
Мел ММС-2	1,1	1,6	2,1	2,6	3,3	4	5	6,5	8,9	100
Мел неизв. происх.	1,1	1,8	2,9	4,8	6,7	9,5	13,1	18,8	28,1	100
P, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Мел хим. осажд.	1,9	3,1	4,2	5,0	5,9	7,0	8,3	10,0	12,6	100
Мел ММС-2	1,1	1,6	2,1	2,6	3,3	4	5	6,5	8,9	100
Мел неизв. происх.	1,1	1,8	2,9	4,8	6,7	9,5	13,1	18,8	28,1	100
P, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Рис. 1.20. Гранулометрический состав различных образцов мела

Понимая, что первыми по важности являются прочностные свойства бумаг, необходимо прежде всего обеспечить их требуемые, минимально необходимые значения, которые позволили бы обеспечить как проводку бумаги через печатную машину, так и послепечатные процессы. Следующий по важности шаг заключается в достижении необходимых печатных свойств при указанных выше ограничениях на прочностные свойства.

Здесь же следует заметить, что рулонная и листовая печать ставят различные требования к прочностным свойствам бумаг. Вместе с тем следует

учитывать и те требования к данным свойствам, выполнение которых позволяет обеспечить отсутствие обрывов бумажного полотна в процессе производства бумаги на бумагоделательной машине.

Рассмотрим далее вопросы, связанные с качеством размола волокон. По мнению бумажников, «бумага делается в роллах». Этим высказыванием подчеркивается роль помола в получении желаемых свойств бумаг.

Несмотря на многочисленные исследования влияния помола на свойства бумаг, следует отметить, что многое в этом вопросе еще недостаточно изучено.

В работе [5] автор, технолог-исследователь с большим стажем и многими работами по созданию приборов для исследования свойств бумаг - замечает, что он «не только не принимал участия в развитии какого-либо метода определения степени помола и использования его в практике в течение второй половины века, но его постоянно смущали и разочаровывали появляющиеся сообщения о множестве превосходных экспериментальных работ, основанных на таких условных и ненаучных измерениях, как степень помола, что затрудняет и иногда даже делает невозможным удовлетворительное объяснение полученных результатов». Это важное замечание технолога-исследователя с большим стажем до их пор не принято во внимание. Показатель степени помола продолжает использоваться.

Здесь стоит привести еще ряд высказываний данного автора:

1. «Обширная литература по химическому анализу сырья мало помогает в его оценке для производства бумаги».
2. «... химические анализы не имеют большого практического значения для оценки бумагообразующих свойств сырья».
3. «Грубости волокон сырья, особенно древесины, ... уделяется недостаточное внимание».
4. «Несмотря на многочисленность публикаций, представленные в них данные по оценке сырья недостаточны, причем создается впечатление, что много времени и усилий было затрачено на лишнюю работу».
5. «Колебания в размерах волокон растений одного и того же вида неизбежны. Зависимость их от условий произрастания и возраста значительна...мы к сожалению еще не достигли того уровня знаний, который позволил бы предсказывать различия в свойствах двух видов бумаги, полученных с разной среднemasсовой длиной».
6. «Длинные тонкие и гибкие волокна придают бумаге гладкость, прочность и высокое сопротивление изгибу, но для большинства видов бумаги для печати более пригодными могут оказаться короткие, тонкие и гибкие волокна».

Для пояснения картины, связанной с размолом, можно привести еще ряд высказываний из работы [11]:

1. «...еще не найдена прямая количественная связь между фибрилляцией волокон и механической прочностью бумаги...».
2. «Точного определения, что такое бумагообразующие свойства пока не нашли..» и тем не менее в этой же работе утверждается, что

«бумагообразующие свойства волокон возрастают по мере уменьшения содержания лигнина».

3. «Чем больше число методик по оценке свойств массы, бумаги и их взаимосвязи, тем меньше бумажник может прогнозировать получение готовой продукции с заранее заданными свойствами».

4. «Единого комплексного показателя по взаимосвязи массы и бумаги на сегодняшний день не существует».

На сегодня, кроме косвенной характеристики помола – градуса помола Шоппера – Риглера, появились системы технического зрения для непосредственного контроля параметров волокон, таких как длина и толщина волокон, их скручиваемость. Каждая из данных характеристик имеет для разных бумажных масс свои функции распределения, однако для анализа берут лишь их средние значения, не учитывая разброс параметров относительно среднего значения. Знание геометрических параметров волокон не исчерпывает знания их свойств, проявляющихся в печати. Свойства волокон сильно варьируются в зависимости от исходного сырья, процессов варки и отбеливания. В бумаге волокна выступают как система, как единое целое и могут по-разному, в зависимости от процесса производства бумаги, организовываться в теле бумажного листа, т.е. при одних и тех же размерах, но разных условиях формования получим разный результат. Вместе с тем, добавка наполнителей существенно меняет структуру тела бумажного листа.

Пока, комментируя приведенные высказывания, можно сделать заключение, что сведения о помоле бумажной массы нельзя признать удовлетворительными и достаточно информативными (исчерпывающими) для того, чтобы на их основе можно бы было прогнозировать не только прочностные свойства бумаг, но и их печатные свойства.

И тем не менее следует привести данные, накопленные и производственниками, и исследователями [9,10,13].

Из опыта известно, что увеличение степени помола приводит к уменьшению размера пор и следовательно к увеличению влияния капиллярных сил, приводящему к повышению впитывающей способности бумаги. Однако общая пористость бумаги, т.е. число пор, уменьшается, что приводит к малой впитываемости печатных красок. Гладкость поверхности бумаги при этом улучшается, а структура бумаги становится более однородной. Вместе с тем более плотная упаковка волокон приводит к снижению непрозрачности бумаги, т.е. к большей светопрозрачности. Падающий свет больше проникает в бумагу, чем рассеивается. Отсюда снижается яркость бумаги, что приводит к ухудшению контраста печати. Более плотная упаковка волокон увеличивает и число межволоконных связей. Это приводит к нестабильности размеров бумажного полотна. Так, в офсетной печати при смачивании бумаги разбухающие волокна воздействуют друг на друга, что вызывает изменение размеров бумаги и, как следствие, происходит неприводка печатного изображения. Для компенсации подобного рода нежелательных изменений структурных, оптических,

механических и поверхностных свойств, имеющих место в процессе производства бумаги, в нее добавляют наполнители. Основное их назначение – улучшить печатные свойства, повысить яркость и непрозрачность бумаг.

Различные типы используемых наполнителей способствуют снижению шероховатости поверхности. Большинство наполнителей инертны к влаге, поэтому увеличение их процентного содержания в бумаге приводит к повышению стабильности ее размеров. Однако прочностные характеристики бумаги при введении наполнителей снижаются.

Вместе с тем следует учитывать, что присутствие наполнителей меняет структуру тела бумажного листа и существенно влияет на впитывание краски и следовательно качество печати. Существенное влияние на печатные свойства оказывает и каландрирование, приводящее к уменьшению размеров пор, и другие параметры процесса производства бумаги.

Рассмотрим далее шероховатость бумаги как одно из существенных свойств бумаги, влияющих на качество печати, методы ее измерения и оценки.

Следует заметить, что по любому из методов, основанных на измерении времени прохождения воздуха между поверхностью бумажного листа и цилиндра, поставленного на эту поверхность, (например, метод Бека) не делается различия между измерением неровности бумаги и шероховатости. Вместе с тем, результаты таких измерений далеки от реальности: ни время контакта с формой, ни давление печати при этом не воспроизводятся. Тем более, например, для офсетной печати не учитывается факт набухания поверхностных волокон в процессе печати после смачивания, когда шероховатость бумаги увеличивается.

На сегодня имеется ряд приборов для ее измерения: по Беку, по Бендстону, по Паркеру [6]. Все они связаны с продуванием воздуха между по-разному выполненными измерительными головками и листом бумаги.

По физическому принципу измерения их следует отнести к косвенным измерениям.

Несмотря на то, что метод Паркера считается «наиболее точно характеризующим влияние шероховатости бумаги в условиях печати», следует задаться вопросом: «А макронеоднородность структуры бумаги (облачность) при этом удастся исключить?».

Ответ однозначен – нет. Тогда на каком основании разработчики прибора берутся утверждать, что они измеряют только шероховатость?

Стоит привести ряд результатов исследований, подтверждающих ненадежность информации о шероховатости, измеренной с помощью «воздушных методов».

«Из повседневной практики измерений стандартным методом на приборе Бека известны случаи, когда бумага с гладкой (т. е. с отсутствием микрошероховатостей), но неровной поверхностью (т. е. с неоднородной макроструктурой, неодинаковой толщиной смежных участков) может оказаться равной или даже меньшей по гладкости в сравнении с бумагой, имеющей матовую, но ровную поверхность...

Анализ сущности этих методов показывает, что авторы их при определении понятия качества поверхности и назначения методов исходили часто из совершенно различных позиций, поэтому свойства поверхности, определяемые этими методами, не однозначны, а получаемые результаты несопоставимы» [7].

Следует заметить, что метод Бека давно принят в качестве стандартного (ГОСТ 8048-56) и до сих пор используется.

В той же работе отмечается: «было обнаружено, что показатели прибора во многих случаях не соответствовали ожидаемым результатам по качеству оттиска. Это приписывалось погрешности в оценке шероховатости самой поверхности, т. е. тому, что не все факторы, влияющие на оценку качества, в методе и приборе учитывались... Кроме того, размерность времени при характеристике емкости или объема неровностей делает мало-понятным физическую сущность измеряемой величины... Сопоставление данных о восприятии краски бумагой и гладкостью ее поверхности, полученных в этих исследованиях, показало, что установить связь между способностью бумаги «удерживать» краску, характеризуемой по методу Бека, и гладкостью, измеренной по стандартному методу, т. е. под давлением 1 кгс/см^2 , не удастся».

Тем не менее, в оценке шероховатости продолжают пользоваться данными методами и пытаться прогнозировать влияние шероховатости на качество печати.

Любое содержательное понятие отражает суть того, что оно обозначает. Верное понятие настолько верно, насколько оно ближе к характеристике определяемого объекта.

Если наряду с понятием “шероховатость” рассмотреть другое понятие: микрорельеф поверхности, - то второе представляется более объективным в силу того, что за ним стоит конкретный, прямой метод измерения.

Сведения о микрорельефе позволили бы, зная величину слоя краски, оценить, какая часть целлюлозных волокон останется над поверхностью и таким образом повлияет на снижение оптической плотности оттиска. Таких выводов при знании расхода воздуха, проходящего между измерительной головкой и поверхностью бумаги, сделать невозможно, как и отделить при измерении шероховатость от неровности поверхности. Отсюда следует вывод о необходимости идти по пути создания средств измерения рельефа, а не шероховатости, т.е. по пути реализации прямого, а не косвенного метода измерения. В настоящее время возможности для этого, по сравнению с теми, которые имелись 30-40 лет назад, существенно возросли.

Неравномерность на просвет (облачность).

Здесь количество оценок подходит к десятку: индекс формования, удельный периметр, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, средний размер неоднородности, корреляционная функция, частотные оценки типа Lin-C. Каждый занят исследованиями облачности, основываясь на своей оценке. Однако при сравнении оказывается (п.2.5), что индекс формования дает ту же информацию, что и среднеквадратичное

отклонение (с.к.о.), а удельный периметр – ту же, что и средний размер неоднородности. Разница лишь в том, что основанные на использовании более дорогих средств измерения (систем технического зрения) индекс и удельный периметр сложнее в реализации, а индекс неэффективен в диапазоне измеряемых значений из-за нелинейности характеристики измерения.

Вместе с тем, сведения о неоднородности не способны в одиночку предсказать влияние неоднородности бумаги на качество печати, поскольку многое определяется и размерами пор, и используемым наполнителем и абсорбционными свойствами волокон.

Использование пробопечатного оборудования также не способно решить всех проблем, поскольку условия печати на таком оборудовании далеко не полностью соответствуют условиям печати в реальных условиях.

Вместе с тем при использовании пробопечатных устройств (ИГТ) получают лишь сплошной красочный слой. Но по нему можно судить лишь об ограниченном числе показателей качества печати (однородности оттиска и оптической плотности).

Анализируя проблемы создания бумаг с заданными свойствами, следует остановиться и на самих методах проведения исследований. К сожалению, они часто локальны, т.е. касаются частных вопросов, и не имеют практических рекомендаций.

В работе [52], посвященной проблемам метрологии, отмечается, что «Измерения не являются самоцелью, а имеют определенную область использования, то есть проводятся для достижения некоторого конечного результата...В любом случае исследователь обязан сообщить достаточно информации в ясном виде для практического использования результата измерения и его возможного уточнения в будущем».

Рассмотрим с этой позиции работу [7], в которой целая глава «Восприятие краски бумагой и впитывание» посвящена в вопросам впитывания краски бумагой.

Здесь в экспериментах вместо краски применяются скипидар, вазелиновое масло и т.п.

Приведем выдержки из этой главы:

1. При исследовании влияния пористости бумаги на впитываемость, где рассматриваются и методы оценки размера пор, полученный результат формулируется следующим образом: «*Несоответствие* между данными об общей пористости бумаги и ее впитывающей способности видно из рис.» (с.277).

2. «Сравнение данных... *фильтровальных* бумаг и бумаг для глубокой печати» (с.279).

3. «Из шести приведенных образцов четыре показывают существенное различие в скорости пропитки между лицевой и сеточной стороной. В одном образце *различия практически нет*, а у образца №9 *скорость впитывания лицевой стороны даже выше, чем у сеточной*» (с.280).

4. «Поэтому для исследования впитывающей способности печатных бумаг представляет интерес применение производственных печатных красок и приближение условий опыта к условиям печатания» (с.282).

5. «Данные о скорости, количестве и общей глубине проникания краски в бумагу сами по себе недостаточны для суждения об интенсивности оттиска» (с.287).

6. «Высокая поглощающая способность бумаги в зависимости от размера пор ее поверхности, состава и дисперсности краски может привести к *повышению или понижению* оптической плотности оттиска, *способствовать или противодействовать* закреплению краски» (с.288).

7. В выводах главы подводятся итоги проведенным исследованиям: «Суждение о впитывающей способности бумаги вообще, безотносительно к типу краски, не имеет практического смысла». И здесь же высказывается мысль общего характера: «от характера распределения компонентов краски в бумаге существенно зависят качество оттиска, оптическая плотность его, а также однородность тона поверхности» (с.293).

Подведем итоги:

1. п.4 говорит о ненужности использования скипидара и т.п. веществ вместо краски;
2. п.1, п.4 говорят об отсутствии практического результата;
3. п.2 непонятен по цели сравнения печатной бумаги с фильтровальной бумагой;
4. п.5 подводит итог бесполезности предыдущих исследований;
5. п.6 говорит об отсутствии результата предыдущих исследований;
6. п.7 не позволяет сделать никаких практических выводов из результатов исследований.

Итак, в главе присутствует много полезных рассуждений, однако никаких практических рекомендаций не дается, кроме мысли о том, что нужно проводить исследования ближе к реальным условиям и изучать распределение всех компонентов в теле бумажного листа.

Отсутствие в данном случае конкретных результатов можно объяснить уходом от конечной цели - непосредственного исследования влияния бумаги на качество оттиска.

1.4. Обоснование необходимости применения системного подхода к задаче повышения качества печатной продукции

Краска и бумага – это взаимодействующие в конкретном печатном процессе элементы. Результат их взаимодействия зависит от каждого из участников.

Объектом управления в печатном процессе является оттиск, представляющий собой пространственно располагаемое определенное количество краски на поверхности и в теле бумажного листа, дающее вместе с бумагой при взаимодействии со светом конкретный зрительный образ.

Процесс печати – есть процесс взаимодействия бумаги и краски при определенных параметрах печати: скорости печати, расходе краски, давлении печати.

Регулируемые параметры печатного процесса – показатели качества оттисков.

От простого процесса смешивания каких-либо компонентов, характеризуемого, например, их концентрацией, он отличается тем, что результат взаимодействия бумаги и краски зависит, кроме параметров печатного процесса, от их свойств.

Бумаги как многокомпонентные дисперсные системы обладают различными свойствами. Однако в каждом конкретном виде печати проявляет себя лишь часть из них.

Так, например, в струйной печати жидкими красками важно такое свойство бумаг как впитываемость, а в электрофотографической оно себя никак не проявляет, а проявляет себя иное свойство – адгезионная способность к тонеру.

К особенностям бумаг как дисперсных систем следует отнести:

- их многокомпонентный состав;
- физическую и химическую неоднородность дисперсных фаз;
- высокую анизотричность частиц основных компонентов – целлюлозных волокон;
- анизотропию бумажного листа;
- широкое распределение шероховатых частиц дисперсных фаз по размерам и форме.

Учесть все перечисленные особенности в описании печатных свойств бумаг не представляется возможным.

Отсюда и попытки получить аналитические модели процесса взаимодействия бумаги и краски следует признать бесперспективными, как и модели сопутствующих процессов, например, процессов пыления или отмарывания краски и т.п.

Одна из серьезных проблем в изучении производственных процессов связана с тем, что их “поведение” невозможно предсказать со 100%-й уверенностью, так как параметры процессов имеют стохастичную, вероятностную природу. Отсюда возникает необходимость использования методов математической статистики.

Другой из проблем является проблема эксперимента, которая связана со значительными потерями информации из-за использования косвенных методов измерения.

Когда многие стороны процессов до конца не изучены, а полученные сведения о параметрах этих процессов недостаточно информативны, не приходится надеяться на высокий процент достоверности полученных в результате исследования данных.

Тот или иной известный закон природы, как например закон капиллярного впитывания жидкости, позволяет лишь качественно рассуждать о впитывании краски бумагой.

Поэтому приходится прибегать к методу “черного ящика”, предполагая причинно-следственную статистическую связь между исследуемыми параметрами.

Современные методы математической статистики позволяют не только установить существование подобных связей, но и оценить количественно степень доверия получаемым регрессионным уравнениям [31,32].

Завершающей стадией исследований, следующей за описанием процессов, является выбор управляющих параметров и разработка алгоритма управления процессами с целью достижения их наибольшей эффективности.

Учитывая, что результаты статистических анализов почти всегда не полностью достоверны, привлечение опыта и интуиции технологов-бумажников и технологов-печатников – необходимое условие успешного решения задач.

Области известных на сегодня исследований, обсуждаемых в работе, можно разделить на две, связанные с качеством бумаг и качеством печати.

По бумаге

- исследование влияния технологических параметров производства бумаги на прочностные, оптические и другие свойства бумаг.

По печати

- исследование влияния свойств бумаги (шероховатости, глянца, неоднородности, физико-химических свойств) на качество печати;
- исследование влияния различных способов печати (офсетной, высокой, глубокой, флексографской, электрофотографической, струйной и т.д.) на качество оттисков;
- исследование влияния краски, тонера на качество печати;
- исследование влияния оборудования различных производителей на качество печати;
- оценка качества различных фрагментов оттиска (заливки, точки, линии).

Данные исследования связаны с решением конкретных практических задач и достижением конкретных целей. Для бумажников - это задача производить конкурентную, желательную многофункциональную бумагу, удовлетворяющую потребителя-печатника по качеству и цене. Для печатника - это задача выбора бумаги, способной обеспечить требуемое заказчиком качество при минимальной себестоимости продукции, где доля бумаги существенна и достигает 70-75%.

От выбора типа бумаги зависит время приладки печатного оборудования, которое сегодня может составлять существенную часть рабочего времени из-за возросшего числа малотиражных заказов. Неправильный выбор бумаги – причина брака и невозможность удовлетворить требования заказчика.

Выбор бумаги на рынке лишь по меньшей стоимости не эффективен, поскольку дешевая, но не подходящая для конкретного заказа бумага ведет к росту совокупных затрат на производство печатной продукции, к неудовлетворенности заказчика. Удовлетворяющая требованиям, но излишне дорогая бумага снижает конкурентоспособность печатной продукции.

Те параметры бумаги, кроме прочностных, которые указываются производителем, не позволяют предсказать качество печати. Недостаток информации о печатных свойствах бумаг приводит к тому, что бумаги, удовлетворительные по таким известным свойствам, как влажность, белизна, толщина, масса m^2 , шероховатость и т.п., оказываются далеко не удовлетворительными и не стабильными по качеству оттисков даже у одного и того же производителя.

Более сложной по сравнению с задачей выбора является задача создания бумаги под конкретный вид печати. Так, затратив время и средства и напечатав на бумаге тест-объекты, по ним можно оценить пригодность бумаги к тому или иному виду печатной продукции. Определить же, какой по свойствам должна быть бумага для реализации в конкретном виде печати требуемого качества печати, опираясь на имеющиеся результаты проведенных исследований, не представляется возможным. Иначе говоря, целенаправленного подхода к формированию печатных свойств бумаг в настоящее время не существует.

На рис.1.21 представлена укрупненная схема получения оттиска.

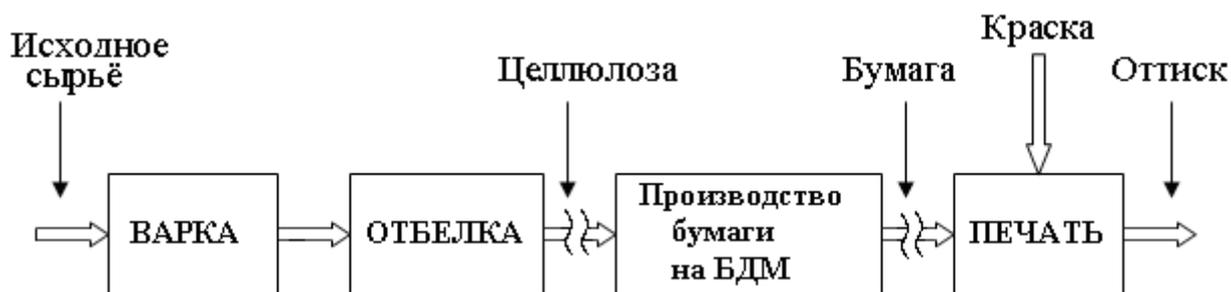


Рис.1.21. Существующая последовательность этапов получения оттиска

В общем случае, имеем пространственные и временные разрывы, указанные на рис.1.21.

Первый разрыв свойственен бумажным фабрикам, работающим на привозной целлюлозе, второй - связан с расположением типографий, как правило, вне фабрик по производству бумаги.

На этих разрывах сосредоточены усилия по разработке показателей качества целлюлозы и бумаги, а также по исследованию влияния этих промежуточных показателей в одном случае на качество бумаги, в другом – на качество оттиска.

Временной и пространственный разрывы между получением бумаги и тиражного оттиска обусловлен исторически и организационно сложившимся положением (в свое время и процесс получения бумаги представлял собой ряд разнесенных во времени и пространстве процессов). По внутренней же

взаимосвязи свойств исходных компонентов, технологических параметров их получения и параметров получения оттисков – это единый процесс, определяющий качество печати.

Современная целлюлозно-бумажная промышленность выпускает большое количество разных видов бумаг для печати, а полиграфическая – оперирует разными видами печати, красками и т.д. Ставить задачу изучения механизмов протекания всех этих процессов нереально, между тем как задачу управления этими процессами необходимо решать.

Управление любым технологическим процессом, особенно такими сложными, как процесс производства бумаги и печать, приводит к необходимости контролировать, наряду с результирующими факторами, входные параметры.

В ряде далеко не единичных случаев контролю и управлению подлежат и промежуточные параметры. Под промежуточными следует понимать те параметры, которые позволяют контролировать такой, например, непрерывный, многостадийный процесс, как процесс производства бумаги, включающий процессы получения бумажной массы, обезвоживания и формования бумажного полотна на сеточном столе, механического обезвоживания, сушки.

Из теории информации известно, что добавление любого промежуточного звена в канал передачи информации приводит к неизбежным ее потерям и искажениям. Следует осознавать, что в случае, когда эти промежуточные переменные являются еще и косвенно измеряемыми величинами, потери оказываются весьма ощутимыми.

С этой точки зрения можно понять причину недостаточной эффективности традиционного подхода при исследовании влияния показателей качества бумаги на качество печати для решения задач получения бумаг с требуемыми печатными свойствами.

Такое понимание позволяет исключить показатели качества бумаг из рассмотрения и обратить внимание непосредственно на исследование влияния параметров процесса производства бумаги на качество печати. Это, в свою очередь, приводит к необходимости нового, более масштабного рассмотрения проблемы печатных свойств бумаг в системе «Бумагоделательная машина – Бумага – Краска – Печатная машина – Оттиск» (рис.1.22).

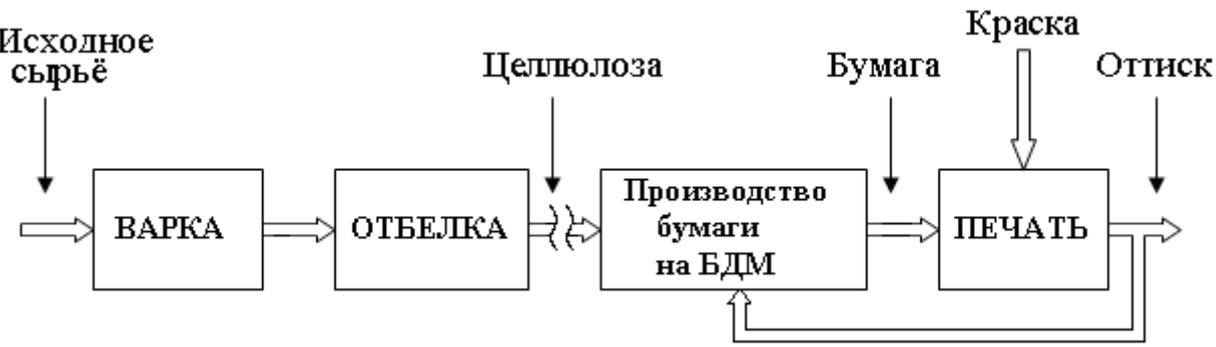


Рис.1.22. Системный подход к управлению печатными свойствами бумаг

Предлагаемый подход оправдан тем, что несмотря на недостаточную изученность механизмов протекающих в такой системе процессов, к ним могут быть применены экспериментально-статистические методы исследования для получения моделей, которые могут послужить целенаправленному решению задачи формирования требуемых печатных свойств бумажного полотна в процессе его производства.

Существенным отличием предлагаемого системного анализа взаимосвязанных по внутренней сути процессов, таких как процесс производства бумаги и печать, является то, что большинство параметров процесса производства бумаги подлежит непосредственному (не косвенному) контролю с достаточной для практики точностью. Это и расходы компонентов бумажной массы и их концентрации, скорость БДМ, соотношение скорости напуска к скорости сетки, параметры удержания массы на сеточном столе и т.п.

Однако, следует иметь в виду, что при этом остается неопределенность в таких немаловажных вопросах, как характеристики свойств волокон, в том числе после размола, характеристики неодинаковых по размерам частиц дисперсных фаз и т.п.

«Нельзя объять необъятное». Учесть все факторы, влияющие на конечный результат – качество печати, невозможно. Неопределенность всегда останется, но в предлагаемом подходе присутствует больше определенности, обусловленной прямыми методами измерения большинства из входных параметров процесса производства бумаги, чем в случае оперирования с показателями качества бумаг. Это позволяет надеяться на возможность получения таких моделей влияния указанных параметров на качество печати, которые окажутся достаточно компетентными для решения задачи совершенствования печатных свойств бумаг.

В предлагаемой для исследования системе «Бумагоделательная машина – Бумага – Краска – Печатная машина – Оттиск» выходными, результирующими параметрами являются показатели качества оттисков, а входными (факторными) – параметры производства бумаги.

Исключение из рассмотрения показателей качества бумаги приводит к необходимости по-иному определить печатные свойства бумаг через их проявление в результате – качестве печати.

Рассмотрим с этой точки зрения одно из свойств бумаги реализовывать определенную оптическую плотность оттиска.

Данное свойство - комплексное, зависящее от ряда простых свойств бумаги (белизны, влажности, шероховатости, пористости и т.п.).

Шероховатость, например, проявляет себя на оттиске не окрашиваемыми (белесыми) ворсинками, возвышающимися над поверхностью и тем самым снижающими оптическую плотность оттиска. Это снижение может быть также вызвано излишней пористостью, благодаря которой краска уходит в тело бумаги. Таким образом, при различных сочетаниях шероховатости и пористости разные бумаги дадут разную плотность оттисков.

Вместе с тем, оптическая плотность оттиска зависит от композиции краски, ее вязкости, дисперсности пигмента, а также от параметров печатного процесса: скорости печати, подачи краски, натиска. Таким образом, при разном сочетании значений этих многочисленных параметров оптическая плотность может существенно отличаться. Ее величина в большой степени зависит от бумаги.

Ряд свойств бумаги, такие как шероховатость, неоднородность, пористость и т.п. измеряются косвенно, и это одна из принципиальных причин невозможности получения аналитических моделей. Ни одна из косвенно измеряемых величин не может быть основой для аналитической модели, а может лишь присутствовать как параметр в экспериментальных моделях.

Определение и исследование печатных свойств бумаг предлагается осуществлять непосредственно на основе соответствующих оценок качества печати, полученных в процессе конкретного печатного процесса с использованием конкретного вида краски.

Для этого, например, в офсетной печати, после получения в результате настройки режимов печати наилучшего возможного качества тестовых объектов производится измерение оптической плотности плашек 4-цветной печати. Данные плотности и будет являться оценкой возможностей бумаги с точки зрения реализации возможного наилучшего значения этого показателя.

Такой подход дает возможность рассматривать “потенциальные” свойства бумаги как ряд потенциальных качеств, “привязанных” к конкретным показателям качества конкретного вида печати.

Элементами такого ряда будет потенциал бумаги в реализации

- оптической плотности оттисков;
- разрешающей способности;
- цветового охвата оттисков;
- градационной характеристики и т.д.

Такая детализация свойств бумаги объективно связана с требованиями к качествам цветной иллюстративной печати, которые во многом зависят от бумаги.

По-разному проявят себя в различных видах печати бумаги различного типа (немелованные, матовые мелованные, матовые мягкого каландрирования, суперкаландрированные глянцевые мелованные) в отношении разрешающей способности и градационной передачи, цветового охвата и т.д.

Бумага, лучше проявившая себя по одному из показателей качества печати, может оказаться далеко не лучшей из бумаг по другим показателям.

И тем не менее, имея подобную информацию, можно объективно подойти к решению того, какая из бумаг способна обеспечить требуемое качество конкретной печатной продукции.

По мнению В.Валенски [9], ”нет лучшего и более надёжного прибора для испытания бумаги, нежели печатная машина. Она лучше всего воспроизводит то, что происходит на практике”. Немецкая бумажная

фабрика «Цандерс», известная качеством своих бумаг, где В.Валенски руководит исследовательской лабораторией печати, оснащена печатными машинами Heidelberg, MAN Roland, Planeta и т.п. По его мнению, «вся эта техника служит тому, чтобы переводить тонны высококачественной бумаги в макулатуру. На самом деле, именно здесь происходит проверка и оптимизация печатных свойств бумаг. Именно здесь рождались требования полиграфистов к бумагам».

К сожалению, судя по результатам, автор не ставит своей целью применение научных методов к изучению рассматриваемых процессов, ограничиваясь лишь рекомендациями по устранению различных дефектов печати.

В отличие от подобного рода работ, предлагаемый подход к оценке печатных свойств бумаг основан на методе “черного ящика” для исследования и получения моделей влияния параметров процесса производства бумаги на показатели качества печати. К этому имеются все возможности.

Бумагоделание является высокоавтоматизированным производством, основанном на эффективном использовании информационных систем получения и обработки информации о параметрах процессов. Это позволяет сопровождать каждый рулон бумаги не только принятыми оценками основных показателей ее качества, но и данными о технологических параметрах, сопутствующими выработке рулона.

Решение обсуждаемой задачи сводится к установлению связи оценок качества печати не с промежуточными показателями ее качества, как ранее, а непосредственно со значениями технологических параметров при ее получении.

При использовании предлагаемого системного подхода возможно применение не только пассивного, но и активного эксперимента, с помощью которого можно изучать и математически описывать процессы и явления при неполном знании их механизма. Область применения планируемых экспериментов распространяется на все явления, которые зависят от управляющих факторов, т.е. таких факторов, которые можно изменять и поддерживать на определенном уровне.

Пользуясь методами планирования экспериментов, можно реализовать эффективные алгоритмы поиска экстремума целевой функции, используя метод «черного ящика». Получаемые в результате активного эксперимента модели могут быть использованы для оптимизации печатных свойств бумаги.

Предлагая иной, системный подход к совершенствованию печатных свойств бумаг, автор понимает, что данный подход не может решить все вопросы, связанные, например, с измерением и оценкой свойств целлюлозы или показателями качества ее помола. Однако данный подход может служить хорошим дополнением к имеющимся методам исследования печатных свойств бумаг и их влияния на качество печати.

Обобщения и выводы

Сложившееся положение в целлюлозно-бумажной промышленности и полиграфии характеризуется объективными, возникшими в последние годы условиями, связанными с появлением новых, разнообразных по физической природе и аппаратному воплощению процессов печати, существенному увеличению цветной иллюстративной компоненты.

Цветное телевидение и особенно компьютерные средства обработки информации, обладающие большими возможностями с точки зрения качества и разнообразия цветной графики, стали серьезными конкурентами печатной продукции. В этих условиях требования к качеству печати естественно возросли.

К таким произошедшим изменениям оказались не готовы ни бумажники, ни полиграфисты, ни науки о бумаге, краске и печати.

Появлению электронных технологий в печати сопутствовал прогресс в области новых компьютеризированных средств измерений оптических параметров оттисков. Денситометры, спектрофотометры, системы технического зрения позволяют осуществить переход от многих субъективных оценок качества печати к объективным показателям.

Автоматизация процессов производства бумаг привела к повышению качества управления данными процессами, повысив стабильность таких показателей качества бумаг, как толщина, влажность, масса m^2 , зольность.

Однако ряд параметров и свойств бумаг, проявляющих себя в процессе печати и влияющих на ее качество, таких как пористость, шероховатость, впитываемость краски и т.п. остаются недостаточно изученными, что не позволяет целенаправленно разрабатывать и производить бумаги под конкретный вид печати и печатной продукции.

Таким образом, с учетом новых возможностей появилась настоятельная необходимость по-новому подойти ко многим вопросам исследования печатных свойств бумаги и краски и их взаимодействия в различных видах печати.

Предлагаемый выход из создавшегося положения заключается в системном решении, когда процессы производства бумаги и печати не расчленяются, а рассматриваются воедино, имея общим результатом качество печати. При этом параметры бумаги исключаются из рассмотрения как промежуточные и недостаточно информативные. Основным акцент делается в таком подходе на параметры самого процесса производства бумаги, большинство из которых контролируются и регулируются с достаточно высокой точностью, а также на объективный контроль качества печати.

Глава 2. Структура бумаги. Взаимодействие бумаги и краски

Сегодня многие свойства бумаги изучены, пусть и в недостаточной мере, с точки зрения их влияния на качество печати. Одним из этих свойств является неоднородность структуры бумаги, приводящая к такому серьезному и часто встречающемуся дефекту цветной печати как пятнистость оттисков. На примере этого сложного в изучении свойства в работе рассмотрено применение основных идей и методов нового подхода к исследованию и совершенствованию печатных свойств бумаг.

2.1. Проблемы формирования структуры бумажного полотна для печати

Процесс формования и обезвоживания бумажного полотна на сеточном столе - один из важнейших в производстве бумаги. Современная теория отлива бумаги на сеточном столе бумагоделательной машины представляет собой совокупность ряда установленных к настоящему времени закономерностей, которые требуют уточнения, а в ряде случаев и пересмотра.

В последние годы наблюдается существенно возросший интерес к изучению вопросов формования бумажного полотна, его структуры, что диктуется повысившимися требованиями к качеству печати. Вместе с тем появились и совершенствуются объективные методы контроля свойств бумаги, без которых эффективное управление этими свойствами невозможно.

Одной из основных задач, связанных с процессом формования бумажного полотна, является получение по возможности его более однородной структуры. О неоднородности структуры бумаги ранее судили субъективно «на просвет». Согласно уточненной терминологии международной организации ИСО под термином «просвет» понимают вид внутренней структуры листа бумаги при рассмотрении его в проходящем свете. Другой термин, принятый для характеристики данной неоднородности структуры бумаги – «облачность».

Неравномерный просвет бумаги обусловлен неравномерным распределением бумажной массы по площади бумажного листа. Эта неравномерность - следствие хлопьеобразования (флокуляции) волокон в процессе формования.

Неоднородность структуры (облачность) может быть охарактеризована двумя качествами: интенсивностью и масштабом.

Интенсивность характеризуется величиной изменения локальной массы бумаги, а масштаб - размерами зон повышенной (флокулы) и пониженной (промоины) концентрации массы.

Следует отметить, что до сих пор стандарта на облачность не существует, что само по себе говорит о сложности в объективном описании и измерении данного свойства бумаги.

Облачность бумажного полотна зависит от параметров технологического процесса его производства и, как установлено многочисленными исследованиями [8,10,12-16,18,21,22,50], такими параметрами являются:

- степень помола бумажной массы;
- композиция бумажной массы (хвоя, лиственные, древмасса, оборотный брак);
- концентрация бумажной массы;
- скорость бумагоделательной машины (БДМ);
- параметры режима сушки,
- отношение «скорость напуска - скорость сетки»;
- наклон гидропланок (обезвоживание);
- вакуум отсасывающих ящиков;
- рН.

Существенное влияние на облачность также оказывают вид волокнистого полуфабриката, наличие флокулирующих и дефлокулирующих добавок; процессы отделки бумаги (каландрирование, мелование и т.п.).

При рассмотрении печатных свойств бумаг неоднородность структуры бумаги занимает одно из первых мест как причина неудовлетворительного качества печати.

В табл.2.1 приведены основные факторы, определяющие потенциал печатных свойств бумаг [3].

Из таблицы следует, что общее внимание во всех рассмотренных видах печати обращается на неоднородность структуры бумаги, контраст и растискивание растровой точки, глянец и его неоднородность, пробивание краски и стойкость красочного слоя к истиранию.

Процессы флокуляции и их влияние на структурные свойства бумаги и качество печати

Неоднородность структуры бумаги – результат флокуляции (хлопьеобразования) волокон. Размеры целлюлозных волокон больше, чем коллоидные размеры. Однако волокно содержит поры, фибриллы и внутренние фибриллы коллоидных размеров. Наибольшее число таких частиц находится в бумажной массе, покрытиях, чернилах для печати. Таким образом, диапазон размеров частиц достаточно широк.

Красящие пигменты имеют размер частиц 0,3-3 мкм, латекс – 0,3-0,6мкм, крахмал и наполнители для удержания волокна 0,05-0,5мкм, гемицеллюлоза 0,01мкм, волокна по диаметру - <30 мкм.

Флокуляция возникает при наличии крупных волокон (0,3-3 мм). Остальные компоненты: латекс, красители, наполнители, удерживающие добавки и крахмал, гемицеллюлоза, другие растворенные вещества (0,001мкм) слишком малы, чтобы удержаться сеткой с ячейкой порядка 0,2 мм. В идеале желательно, чтобы сами волокна не сбивались во флокулы, а указанная мелочь удерживалась бы ими. Это дало бы лучшее удержание и

обезвоживание, большую однородность бумажного полотна и лучшие его оптические и печатные свойства.

Таблица 2.1

Потенциал печатных свойств бумаг

Потенциал печатных свойств	Газет., офсетная печать	Офсетная печать с сушкой	Листовой офсет	Глубокая печать	Электрофотографическая печать	Струйная печать
Частота обрывов бумажного полотна	•	•		•		
Пыление	•				•	
Отмарывание	•		•			
Морщинистость	•					
Чувствительность к приводке	•	•	•	•		
Концентрация пигмента (требования к краске)	•	•	•	•		•
Неоднородность заливки и растровых областей	•	•	•	•	•	•
Контраст и растискивание точки	•	•	•	•		•
Цветовое пространство	•		•		•	•
Стойкость к истиранию	•	•	•	•	•	•
Пробивание краски	•	•	•	•		•

Окончание табл.2.1

Потенциал печатных свойств	Газет., офсетная печать	Офсетная печать с сушкой	Листовой офсет	Глубокая печать	Электрофотографическая печать	Струйная печать
Неоднородность глянца		•	•	•	•	•
Треппинг	•	•	•			
Резкость		•	•	•		•
Волнистость		•			•	•
Разбухание волокон		•				•
Меление		•				
Стабильность размеров		•			•	•
Скручиваемость			•		•	•
Проблемы трения			•		•	
Непропечатка растровых точек			•	•		
Удержание растворителя				•		•

Флокуляцию волокон принято называть макрофлокуляцией. Она ведет к локальным колебаниям веса m^2 , видимым глазом на просвет. Флокуляцию частиц микронного масштаба называют микрофлокуляцией. С ней связаны оптические свойства бумаги и образование пор. Если не ставится цель использовать много наполнителей, микрофлокуляция нежелательна, так как снижает рассеяние света. Для того, чтобы получить максимальную пользу от химических добавок и наполнителей, необходимо равномерно распределить волокна в пространстве бумажного листа, ограничив макрофлокуляцию.

Скорость осаждения мелочи и наполнителей на волокне определяется балансом между коллоидными и гидродинамическими силами. Усилия

сдвига, возникающие при турбулизации потока, стремятся разорвать связи между волокнами, а соединение волокон и мелочи происходит легче.

Плотность флокул и их прочность уменьшаются при увеличении их размеров. Флокулы делят на две категории: мягкие и твердые, в зависимости от их возможности противостоять турбулентностям на БДМ.

Мягкие флокулы обладают ограниченным сопротивлением усилиям сдвига и рефлокуируют.

Твердые флокулы обеспечивают хорошее удержание. Они типичны для высокомолекулярных полимеров и дуальных полимерных систем.

Основными типами взаимодействия, которые вызывают флокуляцию на бумагоделательной машине, считаются:

- электростатическое или кулоновское;
- водородные связи;
- гидрофобия;
- ковалентные связи;
- силы Ван-дер-Ваальса.

Факторы, влияющие на удаление воды, следующие:

- температура бумажной массы;
- поверхностно-активные вещества;
- воздух в бумажной массе ;
- влажность бумажной массы
- химическое содержание поверхности волокна;
- мелочь и коллоидальные составляющие;
- высокомолекулярные полимеры;
- флокуляция;
- рН бумажной массы.

Увеличение температуры бумажной массы уменьшает ее вязкость и облегчает дренаж. Поверхностно-активные вещества также увеличивают дренаж, но могут привести к проблемам со вспениванием, удержанием и прочностью на разрыв.

Сильное обезвоживание может привести к проблемам, таким как:

- высокая пористость;
- дырки;
- плохое формование;
- повышение неоднородности распределения волокон по толщине бумажного полотна;
- уменьшение способности к обезвоживанию после отсасывающих ящиков.

Наполнители и мелочь вымываются больше со стороны сетки, что приводит к различию свойств разных сторон бумаги.

Формование улучшается, когда это вымывание уменьшается.

Немаловажным является и условие стабильности бумажного полотна по влажности.

Как показывают исследования [13], число обрывов возрастает при увеличении удержания. Объясняется это тем, что относительно большее

количество мелочи, наполнителей и коллоидных компонентов остаются в бумажном полотне, что приводит к уменьшению в нем средней длины волокна.

На указанные взаимодействия при флокуляции влияют физические и химические свойства химикатов, добавляемых для удержания компонентов, рН и электропроводность, а также режимные параметры БДМ, такие как время удержания и силы взаимодействия. Время взаимодействия при больших скоростях БДМ достигает секунд и миллисекунд, а усилия сдвига возникают как в насосах, так и в напорном ящике, на сетке и т.п.

К основным физическим свойствам добавок, применяемых для удержания, которые влияют на механизмы флокуляции, относят:

- молекулярный вес;
- совместимость;
- плотность заряда (q/г);
- потенциал (mV);
- размер.

Важнейшие химические свойства добавок:

- структура молекул;
- сила связи;
- функциональные группы;
- равновесие кислота/основа.

Большинство бумаг содержит наполнители. Цели их использования следующие:

- Заполнить пространство между волокнами и таким образом повысить гладкость бумаг, улучшить их однородность, печатные свойства, непрозрачность, стабильность размеров и глянец. Обычно при этом повышается и белизна.
- Уменьшить стоимость бумаг, поскольку наполнители дешевле волокна. Исключение составляют лишь специальные пигменты, которые дороги и добавляются лишь в малых количествах для достижения специальных свойств бумаг.

Наполнители, однако, влияют и нежелательным образом на бумагу и процесс ее получения. Это проявляется в потере межволоконных связей, уменьшении прочности на разрыв, уменьшении жесткости, пылении при печати и т.п. При плохом удержании это вызывает различие свойств двух сторон бумаги. Повышается абразивность бумаг, что ускоряет износ элементов печатных машин.

Оптическое взаимодействие между волокнами и наполнителями

Для бумаг с наполнителями рассеяние света состоит из трех компонентов:

- рассеяние от областей с несвязанными волокнами;
- рассеяние от волокон, мелочи и фибрилл, которое зависит от вида волокон, размола;

- рассеяние от наполнителя. Скопление наполнителя уменьшает рассеивание из-за его больших размеров. Однако на практике такой эффект редок.

Влияние наполнителей на пористость бумаги весьма существенно. Свойства поверхности бумаги важны в печати и в процессах создания покрытий. В основном наполнители улучшают гладкость бумаг, особенно каландрированных. Поглощение воды и чернил происходит более равномерно в присутствии наполнителей. Влияние наполнителей на пористость зависит от размеров и формы частиц наполнителей. Так, карбонат кальция, средне-крупный тальк увеличивают, а каолин уменьшает размер пор. Определенная плотность бумажного полотна желательна для бумаг для печати и может регулироваться добавками наполнителя или каландрированием. Поглощение чернил, красок не должно быть чрезмерным, поскольку это приводит к их пробиванию на обратную сторону бумаги. Введение ряда наполнителей позволяет уменьшить вероятность этого за счет поглощения ими краски.

Проникновение или абсорбция жидкости в бумагу может происходить различными путями:

- заполнением пор и шероховатостей на поверхности;
- проникновением жидкости через капилляры, поры и трещины в бумажном листе;
- миграцией через поверхность волокон, т.е. через контакт волокно-волокно (межволоконное проникновение);
- абсорбцией и диффузией внутри волокон (внутриволоконное проникновение);
- миграцией в газовой фазе, т.е. в процессах испарения-конденсации;
- процессами сорбции-десорбции. Возможно также и химическое сорбирование.

Рассмотренные процессы не разделить строго один от другого, но можно в каждом конкретном случае говорить о преобладании какого-нибудь из перечисленных процессов. То, какой из процессов будет преобладать, зависит от многих факторов: от свойств жидкости, структуры бумаги, давления, температуры, времени пропитывания, гидрофобности компонентов (первичных волокон).

Кроме того, следует иметь в виду, что в динамике структура бумаги претерпевает изменения: меняются поры и капилляры, разрываются водородные связи, ослабляются волокна, разбухают связки.

Все отмеченное позволяет понять, почему оценить явление впитывания – трудная задача.

Когда жидкость встречается с пористой поверхностью, такой которой обладает бумага, мениск жидкости над порой или капилляром искривляется из-за внутримолекулярных сил между жидкостью и подложкой. Поверхностное натяжение создает разницу давлений ΔP , величина которой выражается уравнением Янга-Лапласа

$$\Delta P = 2\gamma \cos \theta / r, \quad (2.1.1)$$

где r – радиус капилляра; γ – поверхностное натяжение жидкости; θ – угол контакта жидкости с поверхностью. Оно представляет собой описание идеального процесса, чего никогда не бывает на практике. Однако качественно уравнение выражает то, что жидкость проникает в поры до тех пор, пока ΔP положительна. Несмотря на то, что и γ и r влияют на ΔP , лишь $\cos \theta$ может менять знак. Когда угол контакта становится больше 90° , $\cos \theta < 0$ и $\Delta P < 0$ и соответственно жидкость перестает впитываться порами.

Давление жидкости уравнивается сопротивлением потоку жидкости P_p , которое согласно уравнению Пойсевилья равно

$$P_p = 8\eta v l / r^2, \quad (2.1.2)$$

где l – глубина проникновения жидкости, $v = dl/dt$ – скорость проникновения и η – вязкость жидкости.

Учитывая внешнее давление P_e , можно записать уравнение равновесия сил

$$P_e + 2\gamma \cos \theta / r = 8\eta l (dl / dt) / r^2, \quad (2.1.3)$$

решая которое получим

$$l^2 = t(2r\gamma \cos \theta + P_e r^2) / 4\eta. \quad (2.1.4)$$

Это уравнение справедливо для единственного, изолированного капилляра в идеализированной среде. Вместе с тем, оно применимо к незаполненному капилляру и не применимо, когда капилляр заполнен жидкостью.

Поскольку в бумаге имеем множество различных по размерам капилляров, можно говорить лишь о качественном применении уравнения к анализу процессов впитывания жидкости порами бумаги.

Согласно уравнению (2.1.4) глубина проникновения жидкости:

- прямо пропорциональна корню квадратному из времени проникновения и корню квадратному из силы поверхностного натяжения жидкости;
- обратно пропорциональна вязкости жидкости.

Чтобы уменьшить проникновение жидкости, можно применять добавки с меньшими силами поверхностного натяжения или уменьшать размер пор. Однако при этом следует учитывать, что по мере набухания волокон размеры пор будут увеличиваться.

На проникновение жидкости в бумагу влияют также:

- степень гидрофобности волокон;
- структура поверхности;
- внутренняя структура бумажного полотна, т.е. поры и полости.

Чем меньше размер пор в бумаге, тем меньше должно быть поверхностное натяжение краски, чтобы она проникла в бумагу. Вместе с тем, поверхностное натяжение краски не только определяет скорость

заполнения пор, но и ее проникновение по путям волокно-волоконно. При малых порах эти пути позволяют краске проникать в бумагу, но больше в плоскости листа, чем вглубь.

Поверхностные свойства бумаги могут быть изменены несколькими способами, наиболее важными из которых являются каландрирование, покрытие и применение гидрофобных добавок.

Результаты исследований, приводимые разными авторами, порой существенно разнятся, поскольку процессы проникновения и абсорбции краски могут быть весьма сложными, включая в себя разбухание волокон, диффузию, химические превращения, а также структурные, топографические и поверхностно-химические эффекты.

Впитывание бумаги краски

Скорость, с которой краска проникает в бумагу, управляется пухлостью бумаги, зависит от энергии ее поверхности и поверхностного натяжения краски и ее вязкости.

Пухлость бумаги в контексте абсорбционной способности определяется числом и размерами пор. Пухлая бумага, обладая большими порами, абсорбирует пигмент из краски особенно, если краска обладает малой вязкостью, такой как краска для гравюр и флексографии. Каландрированная бумага имеет очень маленькие поры и способна абсорбировать лишь связующее краски. Пигмент при этом остается на поверхности.

Степень абсорбции краски подложкой крайне важна в печати, так как от нее зависит контраст между бумагой и краской, будь это простой текст или цветной оттиск. Краска эффективно поглощает свет только, если она находится на поверхности бумаги. Чем больше краска впитывается в бумагу, тем меньше ее остается на поверхности и, следовательно, тем меньше происходит поглощение света и больше информации оказывается потерянной.

Таким образом, черная краска, впитавшаяся вглубь белого бумажного листа, может лечь на поверхности бумаги очень тонким слоем и привести к малому поглощению света. Результатом будет то, что вместо черного оттиска получим серый.

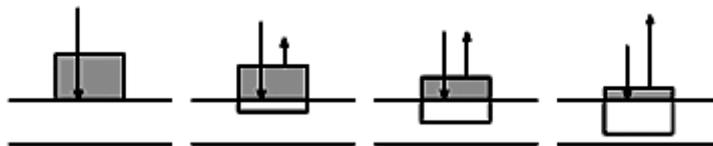


Рис. 2.1. Потеря качества печати из-за различного впитывания краски: уменьшение оптической плотности с увеличением впитывания краски

Подобным образом цветные краски впитываются в бумагу, теряя насыщенность и претерпевая изменение цвета. Точно так же краска, наложенная на бумаги одной и той же белизны, но с различной впитывающей способностью, приобретет разный цветовой оттенок.

Отсюда следует, что способность бумаг удерживать краску является очень важным их свойством.

В печати это свойство проявляет себя в растискивании растровых точек. Чем более жидкой является краска, чем больше впитывающая способность бумаги, тем больше растискивание точки.

Механизм закрепления краски любого типа неотделим от характера подложки – бумаги. Бумага – неоднородный по своим свойствам материал, характеризующийся гладкостью поверхности, обусловленной составом и характером отделки, различной впитывающей способностью, зависящей от диаметра, объема и вида пор и капилляров, а также степени уплотнения внутренней структуры. Данные характеристики бумаги играют роль как в восприятии краски с печатной формы или промежуточной передаточной поверхности, так и в ее распределении на поверхности и в толще бумажного листа.

Достижимая плотность краски и, следовательно, качество печати определяются качеством бумаги. Бумаги без покрытий дают всегда меньшую плотность оттисков, чем бумаги с покрытиями из-за большего впитывания красок, что происходит с потерей глянца, насыщенности и яркости.

Скорость впитывания краски в бумагу зависит от композиции, размола, наполнителей, степени каландрирования, плотности бумажного полотна, от покрытия, от способности сдерживать впитывание краски. Разнообразие видов бумаг для печати требует подбора краски, бумаги и параметров процесса печати, чтобы обеспечить нужную скорость и характер впитывания.

Кроющая способность краски и ее высокая оптическая плотность важны для оптимизации качества печати. Компромисс может быть достигнут подбором параметров процесса печати.

Бумаги, имеющие низкую поглощающую способность, как бумаги с покрытием для иллюстраций, имеют поверхность с малыми порами и медленно абсорбируют жидкое связующее краски. Глубина проникновения связующего уменьшается при использовании поверхностной проклейки, которая уменьшает впитывание краски.

Краска при этом медленно закрепляется, и оттиск достигает стопы еще влажным, при этом следующий лист своей нижней стороной отмарывается первым. В случае менее вязких красок, используемых для гравюр и флексографии, связующее имеет большую подвижность и проникает в тело листа очень быстро, оставляя пигмент на поверхности. Это приводит часто к пылению краски.

Бумагам без покрытия свойственен другой дефект: пробивание краски на обратную сторону листа.

Как ведет себя неоднородная бумага при впитывании краски? Как ведут себя флокулы и промоины? Ответы на эти вопросы далеко не однозначны.

Флокулы, как элементы структуры бумаги, образованы более длинными волокнами, в то время как промоины – мелочью. Более плотная упаковка мелочи приводит не только к меньшим по сравнению с флокулами порам у промоин, но и к большей прозрачности бумаги. Вместе с тем, в силу капиллярных эффектов, впитывание краски промоинами оказывается сильнее. Размер пигмента и его соизмеримость с размерами пор также

является фактором влияния на колебания оптической плотности оттиска. Пигмент, меньший по размерам, чем поры бумаги, при впитывании проникает внутрь листа бумаги, вызывая меньшую оптическую плотность оттиска.

Влияние помола на структуру бумаги.

Изменение степени помола бумажной массы существенно сказывается на неоднородности бумажного полотна. Влияние степени помола не носит линейного характера.

Как показано в работе [37], в рабочем диапазоне значений с увеличением степени помола массы просвет получаемых образцов бумаги сначала становится более равномерным, но, начиная с некоторого значения, получаемые образцы бумаги обнаруживают все большую неравномерность просвета.

В работе [23] приводятся зависимости влияния степени помола, а также композиционного состава и происхождения волокон на облачность бумаг (рис.2.2). Здесь облачность бумаг характеризуется показателем Lin-C [45], меньшая величина которого соответствует большей однородности бумаги.

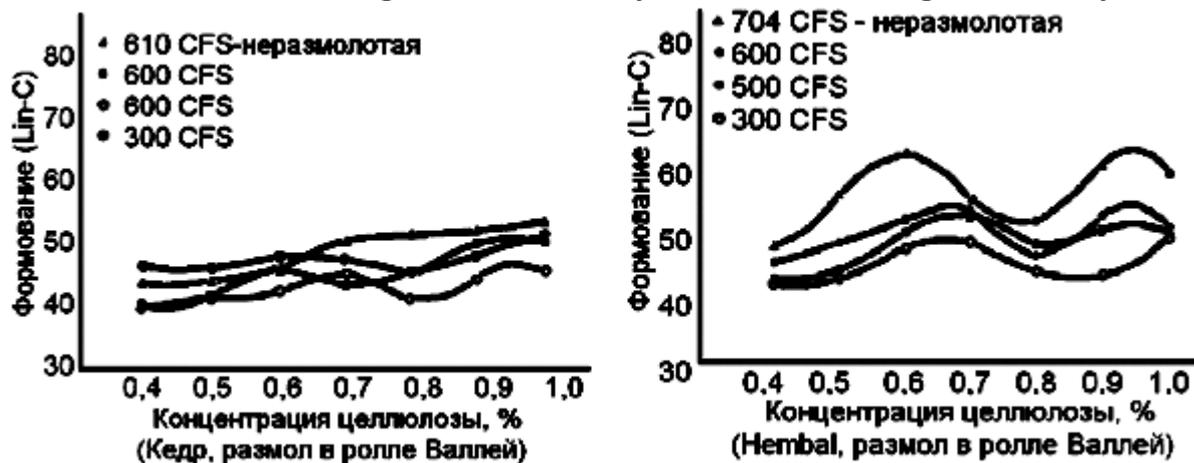


Рис. 2.2. Изменение качества формования бумаги в зависимости от концентрации при размоле в ролле Валлей

Как следует из графиков, эти зависимости нелинейны. Понимание этого факта очень важно в управлении, поскольку незнание, что такая зависимость существует, может приводить к нежелательным результатам. Так, находясь на левом спуске к локальному минимуму показателя Lin-C и увеличивая степень помола, будем иметь улучшение облачности, а находясь на правом спуске – ее ухудшение при увеличении степени помола. Наилучший вариант при этом находится на минимуме названного показателя.

Композиционный состав бумажной массы. Конфликт прочностных и печатных свойств

Волокна хвойной древесины имеют большую склонность к хлопьеобразованию по сравнению с волокнами лиственных пород, так как с увеличением длины волокон тенденция к хлопьеобразованию возрастает. Данный факт объясняется увеличением вероятности столкновений и

сцеплений волокон при увеличении их длины, что подтверждается исследованиями многих авторов [23,38,39].

Именно поэтому добавка в композицию бумаги коротких волокон из лиственной древесины и соломы, а также волокон древесной массы способствует уменьшению хлопьеобразования и облегчает возможности изготовления бумаги с равномерным просветом.

Большинство бумаг содержат как длинные волокна, так и короткие. Первые служат для создания требуемой прочности бумажного полотна, а вторые - для улучшения печатных свойств бумаги.

Увеличение содержания длинных волокон приводит не только к повышению прочности бумаги, но и к увеличению неоднородности бумажного полотна. При этом ухудшаются ровность и гладкость его поверхности.

Таким образом, имеем конфликт при стремлении одновременно удовлетворить требования к прочностным и печатным свойствам, который необходимо учитывать при производстве печатных видов бумаг.

Влияние концентрации бумажной массы на структуру бумаги

Еще одним из существенных факторов, влияющих на однородность структуры бумаги, является концентрация массы в напорном ящике.

Принято считать, что чем больше разбавлена бумажная масса, т.е. чем меньше концентрация, тем количество контактов волокон меньше и, следовательно, меньше вероятность образования сгустков и хлопьев. Из этих рассуждений следует, что бумажное полотно, полученное при низких концентрациях, должно иметь более равномерный просвет.

Однако в работе [23] показано, что влияние концентрации массы на неоднородность бумажного полотна имеет нелинейный характер (рис.2.3).

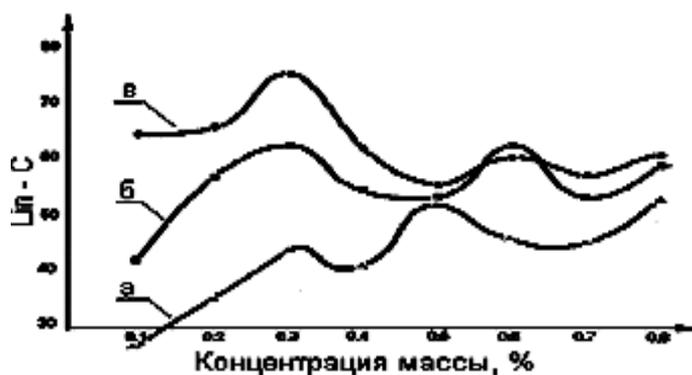


Рис. 2.3. Изменение качества формования с изменением концентрации для бумаг из целлюлозы различного происхождения: а - берёза (Скандинавия); б - хвоя (Скандинавия); в - Nembal

Из результатов этих исследований следует вывод о том, что для каждого сорта выпускаемой бумаги существует, по крайней мере, одна величина концентрации, при которой формование является оптимальным.

Здесь же следует заметить, что уточнение характера влияния как концентрации, так и степени помола на однородность бумажного полотна меняет принятые представления о линейности названных зависимостей. На самом деле реальные процессы редко бывают линейны, особенно в широком диапазоне изменения параметров.

Понимание нелинейного характера зависимостей и наличия оптимумов по облачности заставляет по-иному подойти к проблеме управления процессами формования бумажного полотна.

2.2. Методы описания неоднородной структуры бумажного полотна

Задача математического описания неоднородной структуры бумажного полотна как случайного поля возникла сразу после применения средств объективного контроля этой структуры. Переход от субъективной оценки облачности бумаги «на глаз» к объективным оценкам позволил перейти к количественным характеристикам влияния параметров производства на облачность бумаги.

Методы описания случайных полей достаточно хорошо известны. Такие характеристики как математическое ожидание, с.к.о., корреляционная функция, коэффициент корреляции и т.п., приняты для характеристики случайных полей [17]. Однако, рассматривая существующие иные многочисленные оценки неоднородности бумажного полотна, следует задаться вопросом: являются ли они теми оценками, которые несут в себе что-то качественно новое по сравнению с существующими? На практике наличие разнообразных оценок во многом помеха, поскольку не позволяет разным исследователям воспользоваться результатами друг друга, делая результаты работ несопоставимыми. Отсюда в целом имеем неоправданное расходование сил и средств на проводимые исследования.

Выявить особенности предлагаемых оценок, их отличие от существующих, выбрать наиболее информативные для описания неоднородности бумажного полотна – одна из задач проведенного автором исследования.

Рассмотрим бесконечное бумажное полотно. Пусть $\Phi(x, y)$ - величина яркости бумаги в проходящем свете в точке (x, y) . Исходное допущение состоит в том, что функция $\Phi(x, y)$ является реализацией некоторого случайного поля. Если это допущение верно, то изучение свойств бумаги сводится к изучению определенных характеристик данного поля. Для того, чтобы по одной реализации поля оценить его характеристики, нужны дополнительные допущения относительно исходного случайного поля.

Поле должно быть стационарным, хотя бы в широком смысле:

1. его математическое ожидание μ и среднеквадратичное отклонение σ не должны зависеть от (x, y) ;
2. автоковариационная функция $C(\Delta x, \Delta y)$ должна убывать достаточно быстро при увеличении $r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ - расстояния

между двумя точками. Здесь $\Delta x, \Delta y$ - разности координат любых двух точек.

Свойства 1 и 2 обеспечивают эргодичность поля. На практике допущение 1 справедливо лишь частично, так как обычно имеет место зависимость характеристик поля от поперечной координаты y в связи с разнящимися условиями напуска массы из напорного ящика, особенно по краям и в центре бумажного полотна. В этом случае стационарным может быть лишь продольное сечение случайного поля (в машинном направлении), причем μ и σ являются функциями координаты y , определяющей положение продольного сечения поля.

Пусть Ω - прямоугольный образец бумаги площадью $S = L_x \times L_y$, где и L_y - размеры сторон образца.

Определим средние для образца величины

$$\Phi_{cp} = \frac{1}{S} \iint_{\Omega} \Phi(x, y) dx dy, \quad (2.2.1)$$

$$\sigma_{cp}^2 = \frac{1}{S} \iint_{\Omega} |\Phi(x, y) - \Phi_{cp}|^2 dx dy, \quad (2.2.2)$$

где Φ_{cp} и σ_{cp} - средние значения яркости и с.к.о. бумаги в проходящем свете.

Если поле эргодическое, то $\Phi_{cp} \rightarrow \mu$ и $\sigma_{cp} \rightarrow \sigma$ при $L_x \rightarrow \infty$. Если же эргодичность имеет место только в продольном направлении, то при $L_x \rightarrow \infty$ выполняются соотношения

$$\Phi_{cp} \rightarrow \frac{1}{L_y} \int_0^{L_y} \mu(y) dy \quad (2.2.3)$$

$$\sigma_{cp}^2 \rightarrow \frac{1}{L_y} \int_0^{L_y} \sigma^2(y) dy \quad (2.2.4)$$

Следовательно, при условии эргодичности величины Φ_{cp} и σ_{cp} являются оценками для μ и σ . При неполной же эргодичности эти величины оценивают средние интегральные значения соответствующих характеристик (формулы (2.2.3) и (2.2.4)).

Формулы (2.2.1) - (2.2.4) использовать непосредственно невозможно, так как значения функции $\Phi(x, y)$ определяются только на конечном множестве точек. Поэтому на практике вместо величин Φ_{cp} и σ_{cp} используются их дискретные аналоги, которые можно определить следующим образом.

Пусть $\Phi_{ij} = \Phi(x_i, y_j)$; $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$, - значения функции в узлах прямоугольной сетки, покрывающей образец.

Определим величины

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{mn} \sum_{i,j} \Phi_{ij} \quad (2.2.5)$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{mn} \sum_{i,j} (\Phi_{ij} - \bar{\Phi})^2 \quad (2.2.6)$$

Эти величины близки к соответственно Φ_{cp} и σ_{cp}^2 , если δ_x и δ_y (шаги сетки) малы.

Выделим на изучаемом образце множество точек, в которых значение $\Phi(x,y)$ не больше своего среднего значения, т.е. выполняется неравенство $\Phi(x,y) \leq \bar{\Phi}$. Это множество состоит из связанных подмножеств, называемых флокулами. При $\Phi(x,y) \geq \bar{\Phi}$ имеем промоины. Формы флокул и промоин и их количество определяют свойство бумаги, называемое неоднородностью структуры бумаги.

Данная неоднородность связана со скоростью убывания автоковариационной функции $C(\Delta x, \Delta y)$. Действительно, если $C(\Delta x, \Delta y)$ близка к нулю вне малой окрестности точки $(0,0)$, то значения $\Phi(x,y)$ в точках, удаленных друг от друга более, чем на диаметр этой окрестности, практически некоррелированы. Это проявляется, в частности, в значительном изменении градиента $\Phi(x,y)$ на малом расстоянии. В то же время, $C(\Delta x, \Delta y)$ всегда имеет максимум в точке $(0,0)$ и, значит, ее первые производные равны нулю. Поэтому поведение функции $C(\Delta x, \Delta y)$ в окрестности точки $(0,0)$ определяется ее вторыми производными.

Следовательно, любая количественная оценка неоднородности может быть связана со вторыми производными от автоковариационной функции.

Существуют различные способы количественной оценки неоднородности, которая характеризуется интенсивностью и масштабом.

В качестве одной из оценок масштаба неоднородности используется так называемый удельный периметр. Изображение, полученное со сканера или с помощью ПЗС (прибор зарядовой связи) камеры при просвечивании листа бумаги, можно оценить, если его бинаризовать по пороговому значению, т.е. присвоить градации яркости, меньшие порогового значения градациям яркости черного цвета, а большим порогового значения – градациям, соответствующим белому цвету (рис. 2.4).

За величину порогового значения, как правило, принимают среднее арифметическое значение яркостей образца бумаги в проходящем свете. Таким образом можно получить изображение, которое косвенно будет характеризовать неоднородность распределения массы в бумажном листе, а темные пятна на нём - флокулы волокон, сформировавшиеся при отливе.

Масштаб неоднородности такого бинаризованного изображения оценивается удельным периметром и удельной площадью. Удельный

периметр \bar{d} (используется фирмой Ambertec) рассчитывается как отношение суммарного периметра всех флокул в бумажном листе к площади обрабатываемого изображения [19].

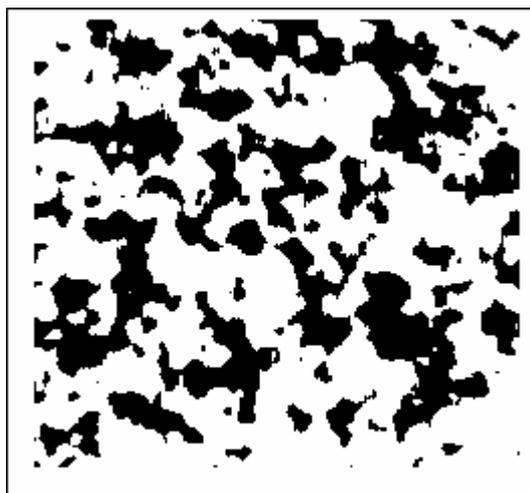


Рис. 2.4. Бинарный срез функции яркости $\Phi(x)$ на уровне её среднеарифметического значения для образца бумаги

Пусть p - суммарный периметр флокул на данном образце. Определим величину \bar{d} , называемую удельным периметром, формулой

$$\bar{d} = p / S, \tag{2.2.7}$$

где S – площадь образца.

Характеристика \bar{d} , очевидно, меняется случайным образом от образца к образцу, однако, если поле эргодическое, то можно *предположить*, что \bar{d} стремится к своему математическому ожиданию при $L_x, L_y \rightarrow \infty$.

Значение \bar{d} было предложено в качестве характеристики неоднородности бумаги в [19].

Большому количеству мелких флокул соответствует большее значение \bar{d} , а меньшему количеству флокул (пусть даже занимающих значительную долю площади листа) - меньшее значение \bar{d} .

Замечание. В определении \bar{d} используется $\bar{\Phi}$ - среднее значение яркости образца бумаги на просвет, определяемое формулой (2.2.1). Однако вместо $\bar{\Phi}$ можно использовать и другие характеристики, например, медиану значений Φ_i (как это делается в предлагаемом алгоритме расчета показателей облачности), или полусумму квантилей.

Характеристика \bar{d} не имеет теоретического обоснования. На практике по существу вместо нее используется другая, аналогичная \bar{d} , характеристика. Обозначим ее через \tilde{N} . Ее можно определить следующим образом.

Зададим малое число $\varepsilon > 0$. Пусть M - число тех значений Φ_{ij} , которые отличаются от $\bar{\Phi}$ не более, чем на ε . Если величины ε , а также δ_x и δ_y (шаги сетки), достаточно малы, то эти значения достигаются в точках, близких к границам флокул. Характеристику \tilde{N} определим формулой

$$\tilde{N} = M / S. \quad (2.2.8)$$

\tilde{N} можно рассматривать как дискретный аналог \bar{d} . Очевидно, \tilde{N} является случайной величиной.

Замечание. Выбирать значение ε нужно с учетом шагов сетки δ_x и δ_y . Если ε слишком мало, то будут пропущены многие точки, близкие к границе флокулы. При слишком же большом ε будут учитываться и точки, отстоящие далеко от границы флокулы.

Учитывая это замечание, целесообразно определить \tilde{N} несколько иначе – так, чтобы устранить зависимость от ε . Пусть линия сканирования совпадает с i -й горизонтальной линией сетки, и N_i - число точек пересечения вдоль этой линии графика функции $\Phi(x, y)$ со средним уровнем $\bar{\Phi}$. При малом шаге δ_x число N_i равно числу перемен знака разности $\Phi_{ij} - \bar{\Phi}$. Положим по определению

$$\tilde{N} = \sum_i N_i / S. \quad (2.2.9)$$

При выборе ε , δ_x и δ_y формулы (2.2.8) и (2.2.9) должны давать близкие значения, но (2.2.9) предпочтительней, так как проще для подсчета и, кроме того, как видно из дальнейшего, позволяет установить связь с другими характеристиками. Далее будем пользоваться только формулой (2.2.9).

Выясним связь \tilde{N} с характеристикой \bar{N} - числом точек пересечения среднего уровня яркости проходящего через бумагу света, которое приходится на единицу длины линии сканирования.

Дадим точное определение \bar{N} . Рассмотрим сечение случайного поля $\Phi(x, y)$ вдоль некоторой прямой (линии сканирования). Пусть N - число точек, в которых график сечения пересекается со средним уровнем (рис.2.5). Тогда по определению

$$\bar{N} = N / L, \quad (2.2.10)$$

где L - длина линии сканирования.

Предполагая, что поле эргодическое, положим

$$\bar{N} \rightarrow N_0 \text{ при } L \rightarrow \infty.$$

Рассмотрим сечение вдоль i -й горизонтальной линии сетки. Пусть \bar{N}_i - значение характеристики \bar{N} для этой линии. Тогда из (2.2.10) получаем

$$\bar{N}_i = N_i / L_x. \quad (2.2.11)$$

Отсюда

$$\tilde{N} = \frac{1}{L_y} \sum_i \bar{N}_i. \quad (2.2.12)$$

Заметим, что число горизонтальных линий сетки равно $L_y / \delta_y + 1$. Если поле эргодическое, то N_0 не зависит от положения линии сканирования и при большом L_x имеем $\bar{N}_i \cong N_0$. В этом случае из (2.2.12) получаем

$$\tilde{N} \cong N_0 / \delta_y. \quad (2.2.13)$$

Отсюда видно, что для эргодического поля характеристика \tilde{N} практически эквивалентна N_0 .

При частичной (в продольном направлении) эргодичности имеем $N_0 = N_0(y)$ и вместо (2.2.12) получаем формулу

$$\tilde{N} \cong \frac{1}{L_y} \sum_i N_0(y_i). \quad (2.2.14)$$

В этом случае использование \tilde{N} не позволяет выявить имеющуюся зависимость свойств от поперечной координаты.

Выясним связь \bar{N} с другой характеристикой - средним линейным размером неоднородности бумаги \bar{l} .

Параметр \bar{l} предложен в [24] и определяется формулой

$$\bar{l} = 2 L / N \quad (2.2.15)$$

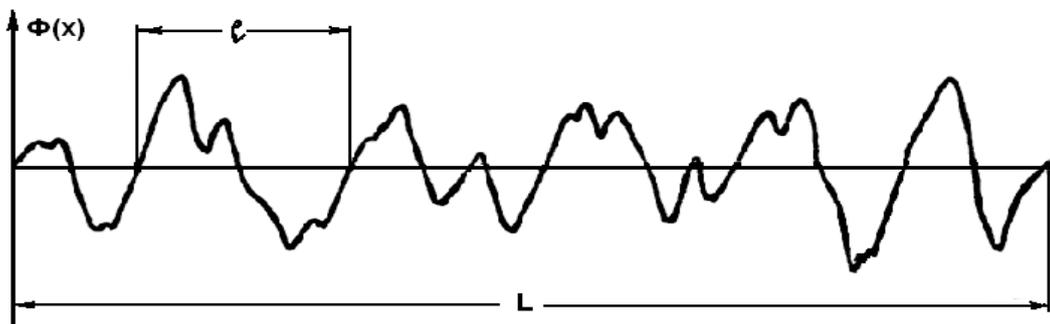


Рис. 2.5. Функция яркости бумажного полотна в проходящем свете при сканировании в произвольном направлении

или

$$\bar{l} = 2 / \bar{N}, \quad (2.2.16)$$

где \bar{N} - то же, что и в (2.2.10).

Величины \bar{N} и \bar{l} хорошо изучены [17]. В частности, известно, что математическое ожидание \bar{N} равно

$$N_0 = \sqrt{-\rho''(0)} / \pi, \quad (2.2.17)$$

где $\rho''(r) = C(r) / \sigma^2$ - автокорреляционная функция сечения поля вдоль линии сканирования.

При обычных предположениях относительно $\Phi(x, y)$ получаем, что

$$\bar{l} \rightarrow 2 / N_0 = 2\pi / \sqrt{-\rho''(0)} \quad \text{при } L \rightarrow \infty. \quad (2.2.18)$$

Формула (2.2.17) имеет следующий геометрический смысл. Учитывая, что кривизна к графика функции $\rho(r)$ при $r=0$ равна $-\rho'(0)$, получаем, что при большом L имеет место

$$N_0 \cong \sqrt{k} / \pi \quad (2.2.19)$$

и
$$\bar{l} \cong 2\pi / \sqrt{k} . \quad (2.2.20)$$

Сравнивая (2.2.13) и (2.2.18), получаем

$$\bar{l} \cong \frac{2}{\delta_y \tilde{N}} . \quad (2.2.21)$$

Отсюда следует, что для эргодического изотропного поля характеристики \tilde{N} и \bar{l} эквивалентны, разница - лишь в способе их измерения.

При выводе формулы (2.2.13) предполагалось, что поле не только эргодическое, но и изотропное.

В этом случае $C(\Delta x, \Delta y) = C(r)$, $r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$.

Если же имеет место анизотропия, то автокорреляции зависят не только от r , но и от φ и, кроме того, $N_0 = N_0(\varphi)$, $\bar{l} = \bar{l}(\varphi)$, где φ - угол наклона линии сканирования. Формулы (2.2.13 и (2.2.18) в этом случае принимают вид

$$\tilde{N} \cong N_0(\varphi) / \delta_y , \quad (2.2.22)$$

$$\bar{l}(\varphi) \cong 2 / N_0(\varphi) . \quad (2.2.23)$$

Например, $\bar{l}(0)$ и $\bar{l}(\pi/2)$ - это значения характеристики \bar{l} для поперечной и продольной линий сканирования. Отношение этих значений может служить мерой анизотропности бумаги.

Определение \tilde{N} непосредственно связано с тем, как определено понятие флокулы.

Более естественным с практической точки зрения является следующее определение.

Зададим два положительных числа ε_n и ε_e . Рассмотрим три множества точек, удовлетворяющих соответственно неравенствам

$$\Phi(x, y) \geq \bar{\Phi} + \varepsilon_n , \quad (2.2.24)$$

$$\bar{\Phi} - \varepsilon_n < \Phi(x, y) < \bar{\Phi} + \varepsilon_e , \quad (2.2.25)$$

$$\Phi(x, y) \leq \bar{\Phi} + \varepsilon_n . \quad (2.2.26)$$

Таким образом весь образец разбивается на 3 части - флокулы (индекс n), промоины (индекс e) и промежуточная область, определяемая неравенством (2.2.25). Для этих множеств можно определить величины \tilde{N}_e и

\tilde{N}_n аналогично \tilde{N} (см. (2.2.9), вместо $\bar{\Phi}$ нужно будет использовать $\bar{\Phi} + \varepsilon_e$ и $\bar{\Phi} - \varepsilon_n$).

Эти величины являются обобщением характеристики \bar{N} . Если исследуемый образец достаточно велик, то справедливы формулы

$$\bar{N}_g \cong \bar{N} \exp(-\varepsilon_g^2 / 2\sigma^2), \quad (2.2.27)$$

$$\bar{N}_n \cong \bar{N} \exp(-\varepsilon_n^2 / 2\sigma^2), \quad (2.2.28)$$

где σ^2 – дисперсия поля (она оценивается по формуле (2.2.6)).

Среднее значение плотности, подсчитанное для некоторого участка, будет репрезентативным для всего исследуемого полотна только, если размер участка намного больше, чем диапазон изменения плотности. Это верно и для параметров \bar{d} и \bar{l} . В частности, участок должен содержать достаточно много флокул. Если бы не ограниченность разрешающей способности измеряющего устройства, то с увеличением размера сканируемого участка точность оценок увеличивалась бы. На практике дело обстоит иначе.

Если участок слишком велик, а точки изображения соответствуют слишком далеким реальным точкам, высокочастотные колебания будут утеряны из-за слишком грубого разрешения. Это уменьшит удельный периметр.

Если же участок слишком мал, то будут пропущены низкочастотные колебания, что приведет к увеличению удельного периметра.

Удельный периметр нечувствителен к величине сканируемого участка, пока его размер по крайней мере на порядок больше, чем средняя длина волокна. Если же размер участка соизмерим с размером флокул, то теряются существенные детали, увеличивая удельный периметр. При сравнении с результатами, полученными для бесконечного участка, участок в 100x100 мм² дает увеличение удельного периметра только на 1%, в то время как участок размера порядка длины волокна дает увеличение до 30%.

Так как система технического зрения отображает сканируемый участок на массив 512 × 512 точек, то измеряемый участок 100 мм × 100 мм содержит достаточно флокул, поскольку их размер в среднем составляет 2 – 6 мм. Если намеренно снижать разрешающую способность, расфокусируя видеокамеру при выбранном увеличении, то можно понизить удельный периметр на 40%. При этом изменение оптического увеличения, вызванное расфокусировкой, объясняет лишь 6% из 40%. Скорее основную роль здесь играет потеря деталей из-за низкой разрешающей способности. В то же время воспроизводимость результатов не связана с чувствительностью к расфокусировке. После восстановления первоначального фокуса результаты отличаются на 0,6%.

Здесь же следует заметить, что размер неоднородности \bar{l} и удельный периметр, как следует из сделанных ранее выкладок, практически не различаются. Если же рассматривать удельный периметр с точки зрения технической реализации, то его определение требует использования системы технического зрения или сканера, в то время как определить \bar{l} на бегущем

полотне можно гораздо более просто с помощью источника освещения и фотоприемника.

В качестве оценки интенсивности неоднородности многими фирмами используется так называемый индекс формования [4], представляющий собой комплексную статистическую характеристику

$$I = \frac{N_c}{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}, \quad (2.2.29)$$

где N_c - число точек (или доля точек, выраженная в процентах) образца бумаги, имеющих яркость равную среднеарифметической яркости всех точек $\bar{\Phi}$;

Φ_{\max} и Φ_{\min} - соответственно максимальное и минимальное значения яркостей точек образца бумаги (рис.2.6).

В некоторых исследованиях [18] можно встретить другое определение индекса формования, по гистограмме распределения яркостей (рис.2.7):

$$I = \frac{Mod}{int}, \quad (2.2.30)$$

где Mod – частота, соответствующая моде гистограммы; int – количество интервалов гистограммы.

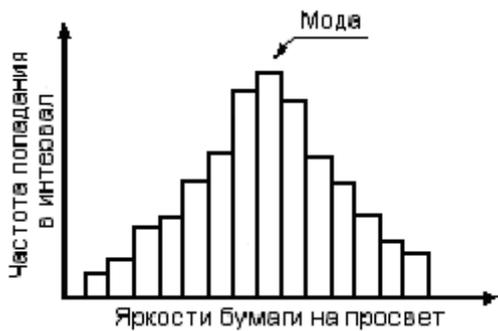


Рис.2.7. Определение индекса формования по гистограмме распределения яркостей

Как показывает практика, распределение яркостей для реальных бумаг имеет закон распределения близкий к нормальному.

Для нормального закона распределения функция распределения вероятностей $P(y)$ равна

$$P(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[y-Y]^2}{2\sigma^2}\right\} dy. \quad (2.2.31)$$

При $y = Y$ $P(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$.

откуда следует, что в диапазоне σ

$$I = \frac{N}{\sigma} = \frac{1}{\sigma^2\sqrt{2\pi}}. \quad (2.2.32)$$

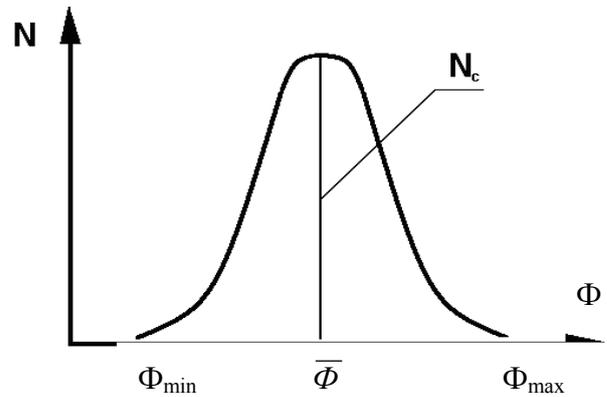


Рис. 2.6. Плотность распределения яркостей точек образца бумаги

Выражая индекс (как принято) в процентном отношении, получим

$$I = \frac{100}{\sigma^2 \sqrt{2\pi}}. \quad (2.2.33)$$

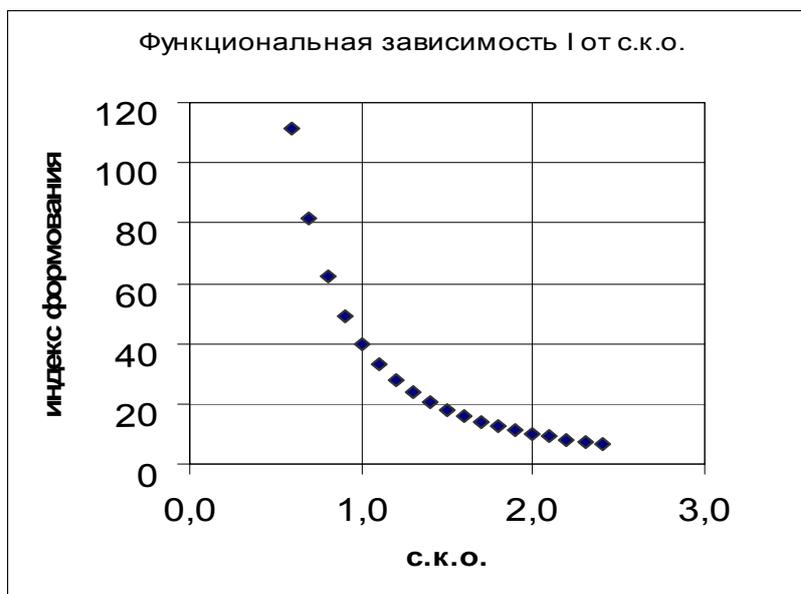


Рис. 2.8. Зависимость индекса от среднеквадратичного отклонения

Как следует из выражения 2.2.33, индекс есть нелинейная зависимость от интенсивности неоднородности бумажного полотна (рис.2.8).

Использование индекса формования для оценки интенсивности неоднородности бумаги сложно оправдать, так как обычно стремятся сделать характеристики показателей по возможности линейными.

Если ориентироваться на использование данного показателя в системах автоматического управления процессом формования, то необходимость внесения нелинейности в систему еще более проблематична, поскольку, как известно, присутствие нелинейности приводит к возникновению в системе автоколебаний, что само по себе нежелательно.

Учитывая стремление рассматривать по возможности более широкий диапазон изменения параметров исследуемого технологического процесса при получении регрессионных моделей, можно указать на неэффективность индекса, обусловленную как его нелинейностью, так и малой чувствительностью в широком диапазоне изменения технологических параметров.

Вместе с тем, сравнивая индекс формования и среднеквадратичное отклонение (с.к.о.), можно заключить, что с.к.о. эффективней индекса, поскольку линейно связано с величиной колебаний светового потока света, проходящего через бумагу, и может быть существенно проще получено в смысле аппаратной реализации.

При необходимости индекс может быть просто получен на основании сведений о с.к.о. по формуле 2.2.33.

Наряду с рассмотренными оценками при исследованиях неоднородности структуры бумаги используются и частотные показатели. В

соответствии с преобразованием Фурье любой сигнал можно разложить на синусоидальные составляющие различных в данном случае пространственных частот. Совокупность этих составляющих - частотный спектр (рис.2.9) служит для оценки качества формования бумажного полотна.



Рис. 2.9. Амплитудный частотный спектр функции яркости бумаги в проходящем свете

Некоторые западные исследователи предлагают для количественной оценки степени неоднородности бумаги использовать величины Lin-C и NLin-C.

Lin-C определяется [8]:

$$Lin - C = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\sum_{w=0}^n A_w^2}, \quad (2.2.34)$$

где A_w – амплитуды спектра Фурье функции яркости бумаги в проходящем свете;

w - частота.

NLin-C отличается от Lin-C тем, что NLin-C определяется лишь в ограниченной области низких и средних частот. Высокочастотные составляющие спектра соответствуют неоднородности бумаги, обусловленной маркировкой сетки. При определении Lin-C эти гармонические составляющие вносят большую погрешность, так как к облачности бумаги, флокуляции волокон, а следовательно, к измеряемой неоднородности прямого отношения не имеют, в то время как вклад их в частотную оценку велик. (рис. 2.9).

Частотные оценки сложны в интерпретации свойств бумаги, что немаловажно для технологов. Вместе с тем, частотные показатели могут иметь одинаковые значения для значительно отличающихся спектров, что делает задачу распознавания неоднородности неоднозначной.

Одним из возможных путей решения задачи описания неоднородных случайных полей является использование математического аппарата фрактальной геометрии, а в качестве оценочных параметров – фрактальных сигнатур. В работах [20,40] указывается на то, что форма элементов неоднородностей отличается от традиционного представления как периодически чередующихся «выступов» и «впадин». По мнению авторов

элементы неоднородности поверхности имеют сложную форму – грибообразную, гребешковую, ботиroidальную, форму сплэтов и висперов.

Существует понятие фрактальной размерности, которую на практике при обработке изображений определяют, например, через клеточное разбиение последних (box-counting method) [40].

В общем случае для определения фрактальной размерности изображения требуется произвести следующее построение: бинаризованное изображение по заданному пороговому значению покрывается элементарными R -мерными блоками с длиной ребра R , и производится подсчет их числа $N(R)$. Фрактальная размерность (D) определяется затем из соотношения:

$$N(R) \propto R^{-D}(R) \tag{2.2.35}$$

$$D = \lim_{R \rightarrow 0} \left(\frac{\ln N(R)}{\ln \left(\frac{1}{R}\right)} \right) \tag{2.2.36}$$

Далее, в двойных логарифмических координатах строится зависимость $N(R)$, из которой, используя выражение (2.2.37), по углу наклона определяется фрактальная размерность:

$$D = - \frac{\Delta(\ln N(R))}{\Delta(\ln \frac{1}{R})} \tag{2.2.37}$$

Такая характеристика удобна для определения степени хаотизации стохастических процессов, при исследовании возникновения на их фоне регулярных структур.

Применение фрактальных оценок для описания неоднородности оттисков рассмотрено в работе [20]. Изображение, подлежащее фрактальному анализу, очищается от шумов. Далее оно последовательно бинаризуется на всех уровнях серого (при пороговом значении яркости бумаги на просвет от минимального её значения до максимального). Затем на каждом из бинаризованных изображений строятся покрытия (так называемое «набрасывание сеток»), и при каждом таком набрасывании ведётся подсчёт квадратов, которые требуются для того, чтобы полностью покрыть исследуемый объект. Так реализуется клеточный метод (рис.2.10).

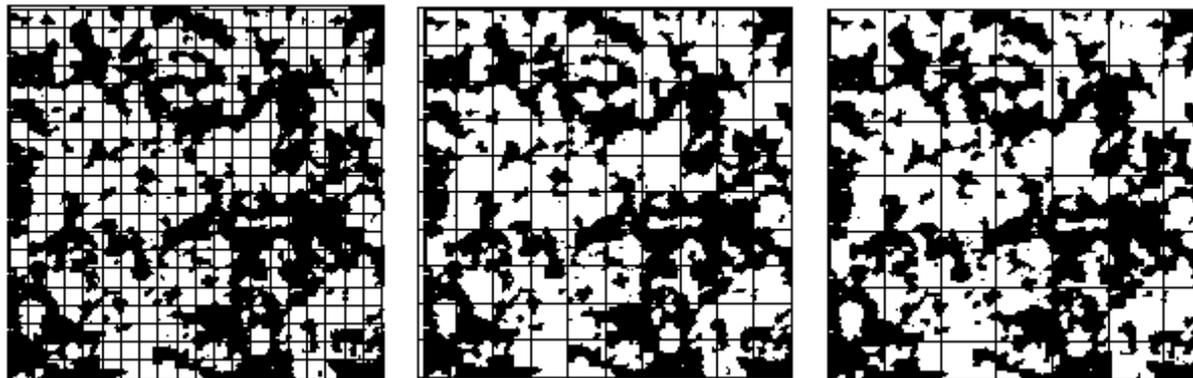


Рис.2.10. Иллюстрация клеточного метода: бинаризованные изображения структуры бумаги

Функция, получаемая при таком методе обработки называется фрактальным спектром и описывает свойства исходного изображения.

Как и частотные показатели неоднородности, фрактальные оценки сложны и неоднозначны в интерпретации. Стандартизация подобных оценок представляется проблематичной. Однако в научных исследованиях они имеют право на существование и развитие.

2.3. Определение неоднородности печати в полиграфии

Существует международный признанный стандарт ISO-13660, который описывает методы измерения зернистости и пятнистости, являющиеся методами измерения микро и макронеоднородности оптической плотности оттисков соответственно. Согласно стандарту, область исследования 12,7 x 12,7 мм разбивается на сто квадратов размером 1,27x1,27 мм. Каждый квадрат содержит 30x30 элементов. Для каждого квадрата рассчитывается средняя оптическая плотность m_i и стандартное отклонение оптической плотности σ_i . На основе этих данных определяются пятнистость как стандартное отклонение среднего ($stdev(m_i)$) и зернистость (graininess)

$$\sqrt{\frac{\sum_i \sigma_i^2}{n}} \text{ (рис. 2.11).}$$

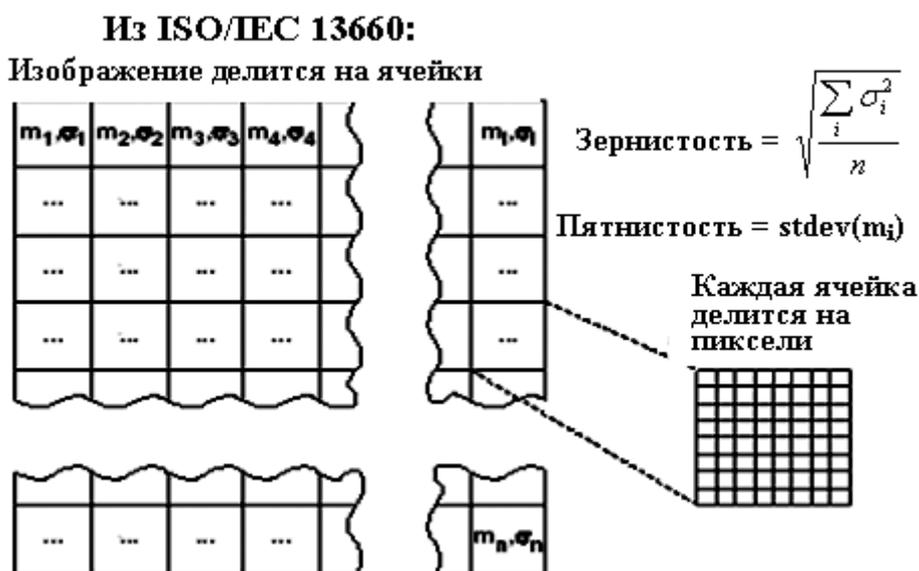


Рис.2.11. Определение неоднородности оттисков по стандарту ISO-13660

Первое, на что необходимо обратить внимание, это отличие приведенных показателей от показателей, используемых в исследованиях неоднородности бумажного полотна. Использование двух показателей в полиграфическом стандарте представляется как попытка отдельно охарактеризовать разные по масштабу неоднородности: пятнистость (более крупномасштабная) и зернистость (мелкомасштабная).

Такой подход имеет право на существование, однако сама обособленность данных оценок от оценок облачности бумаги не является с методической и системной точек зрения оправданной, поскольку не

позволяет исследовать влияние свойств бумаги на качество печати с использованием одних и тех же метрик неоднородности.

Рассмотренное отличие, хотя и небольшое, является отражением существующего до настоящего времени положения, когда каждый, бумажник и полиграфист, занимаются своими локальными задачами.

Сегодня решение задач повышения качества печатной продукции и ее оценки требует системного подхода, основанного на понимании того, что одна структура – структура оттиска есть порождение другой – структуры бумаги. Отражением такого подхода явилась бы разработка новых требований к качеству бумаги на основе требований стандартов к качеству печати.

2.4. Результаты исследования неоднородности бумаги

Влияние неоднородности свойств бумаги на качество печати исследовалось на протяжении десятилетий многими авторами. Не перечисляя все, следует остановиться на результатах исследований последних 20-ти лет, отличающихся появлением широкого спектра средств объективного контроля как качества печати, так и качества бумаг.

Так качество печати для газетных сортов бумаги исследовалось Bernie и Douglas [26]. Они установили корреляцию между формованием и качеством печати для газетных сортов Северной Америки, и пришли к выводу что наивысший коэффициент корреляции между оттиском и неоднородностью формования был достигнут в пределах шкалы измерений 4-8 мм с коэффициентом корреляции ESQ равным 0,56. Bernie, Romanetti и Douglas [27,28] исследовали формование бумаги с целью прогнозирования качества печати, и при помощи разделения масштаба формования на шкалы формования в диапазоне 0.6-37 мм., пришли к выводу, что наибольший коэффициент корреляции между оценками формования и оценками качества печати участков сплошной заливки на газетных сортах бумаги равен 0,6.

Kajanto [42] установил, что важно знать механизм формования, влияющего на качество печати и пришёл к выводу, что формование отвечает примерно за 25% колебаний оптической плотности и неравномерности оттиска на некаландрированных сортах бумаги. Каландрирование увеличивало влияние формования на неоднородность оттиска с коэффициентом корреляции, достигающим до 0,6, а жёсткие и мягкие захваты бумаги в каландре имели то же самое влияние.

Farell, Chen и Lauber [43] пришли к выводу, что технологические параметры, такие как удержание, длина волокна и степень помола влияют на свойства формования бумаги: пористость и гладкость, которые, кроме того, влияют на параметры качества печати. Параметрами качества печати рассматривались пятнистость оттиска, и растискивание растровой точки.

Trollsås [44] исследовал зависимость качества печати от небольших колебаний поверхностной плотности бумаги в высокой печати с фотополимерной печатной формой и в офсетной печати. Как было найдено, формование бумаги, выраженное через колебания поверхностной плотности,

оцененное с помощью коэффициента вариации, влияло на перенос краски на бумагу и на колебания оптической плотности и растискивание. Было также установлено, что неравномерное распределение волокон влияет на перенос и распределение краски.

Ness и Göttsching [29] изучили взаимосвязь между формированием бумаги и пятнистостью оттиска при печати областей сплошной заливки на офсетных бумагах без покрытия и без содержания в композиции древесной массы и пришли к выводу, что существует высокая корреляция между неоднородностью бумаги измеренной в проходящем свете и распределением краски, измеренном в отражённом свете. Коэффициент корреляции R между показателем формирования и показателем пятнистости был 0,63.

Shallhorn и Heintze [30] пришли к выводу, что существует взаимосвязь между формированием бумаги, измеренным оптическим способом и однородностью офсетных оттисков на тонких сортах офсетной бумаги без содержания древесной массы с коэффициентом корреляции RSQ 0,41.

Kajanto [45] установил, что существует зависимость и положительная корреляция между формированием, измеренным при помощи бета излучения и неоднородностью оттиска для офсетных бумаг без содержания древесной массы, особенно в диапазоне между 2,1 и 6,3 мм. По его мнению неоднородность бумаги может быть снижена при каландрировании с мягким захватом каландра.

Erho и др. [46] описали прибор, определяющий пригодность бумаги для печати (Tapio Printability Sensor (TPS)), с дополнительным чувствительным элементом Paper Machine Analyzer (PMA), способный оценивать параметры качества печати по нескольким измеренным свойствам бумаги до печати при помощи одномерного (линейного) чувствительного элемента, анализирующего микроструктуру бумажной поверхности для определения потенциала качества печати, особенно для бумаг, предназначенных для ротационной глубокой печати.

Lyne и Jordan [47] анализировали изображения с помощью Tapio Formation analyzer, определяя показатели качества печати при различном освещении образцов. Частотный анализ оттисков и неоднородности бумаги привел их к важным выводам о том, что неоднородность бумаги, оцененная на основе обычного источника освещения образца бумаги, показывает значительно более высокую корреляцию с качеством печати в диапазоне от 0,2 до 2 мм ($R = 0.55$), по сравнению с неоднородностью бумаги, оцененной при помощи бета-излучения.

Данный вывод важен тем, что отражает отсутствие у исследователей неоднородности бумаги с помощью β - излучения конечной цели. Если иметь в виду такой целью качество печати, то следует понимать, что β - излучение позволяет измерять лишь локальные колебания массы, в то время как при взаимодействии обычного излучения с бумагой кроме массы участвуют поры, играющие важную роль в процессе взаимодействия с краской. Отсюда следует, что результаты, полученные авторами на самом деле не являются чем то неожиданным, а лишь объективно отражают существо проблемы.

Здесь же следует высказать предположение, что многообразии количественных оценок неоднородности бумаги связано со стремлением различных авторов получить более информативную оценку с точки зрения ее связи с качеством печати. Как показывают приведенные результаты, объяснить неоднородность печати лишь неоднородностью бумаги не удастся (коэффициент корреляции ни у кого из исследователей не оказывается больше 0,63).

Вместе с тем это является дополнительным свидетельством того, что связь качества печати со свойствами бумаги более сложная.

Индекс формования был взят для исследования наряду с с.к.о. (σ) как наиболее часто пропагандируемый многими фирмами, изготовителями измерительного оборудования для ЦБП.

Однако, как уже обсуждалось, его ценность сомнительна.

На основании экспериментальных данных была построена зависимость индекса I от с.к.о. (рис.2.12 а).

Как следует из графика между исследуемыми показателями существует связь, близкая к функциональной (коэффициент детерминации равен 0,9), что подтверждает выводы, сделанные в разделе п.2.8 о нелинейности зависимости индекса формования от с.к.о.

Сравнение экспериментальной регрессионной $I_{\text{э}}$ и теоретической $I_{\text{т}}$ зависимостей (рис. 2.12,б) в диапазоне рабочих значений исследуемых переменных показывает, что они практически совпадают.

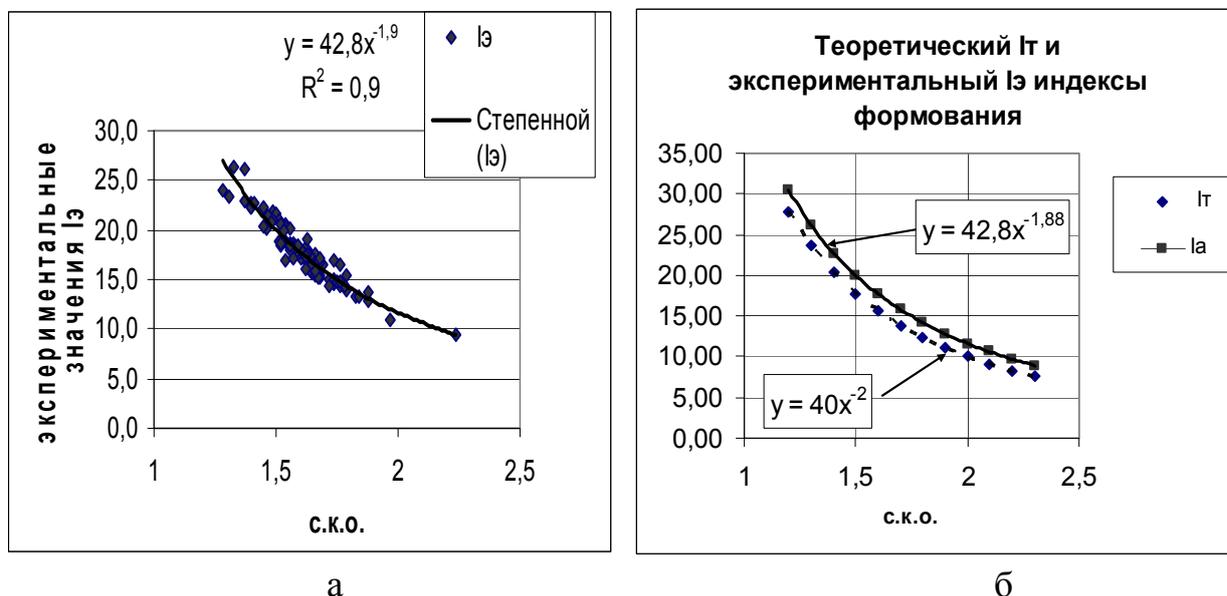


Рис. 2.12. Связь индекса и с.к.о, полученная по экспериментальным данным (а) и аналитически (б)

Поскольку аналитический график получен на основании нормального закона распределения, из этого следует важный для проведенных в работе исследований вывод о том, что распределение неоднородного случайного поля (облачности) подчинено данному закону. Это позволяет обоснованно применять при обработке результатов экспериментов все те методы

статистики, правомерность применения которых связана с предположением о нормальном законе распределения, справедливом для исследуемого объекта.

Данное положение относительно неоднородности структуры бумажного полотна обычно декларируется, но не было доказано.

Другим доказательством неэффективности индекса формирования по сравнению с с.к.о. служит сравнение результатов исследования цветового различия оттисков.

Из рис. 2.13 следует, что коэффициенты детерминации при линейной аппроксимации экспериментальных зависимостей цветоразличие - с.к.о. и цветоразличие - индекс формирования оказались равны соответственно 0,85 и 0,8 (рис.2.13, 2.14), что свидетельствует о большей информативности с.к.о. с точки зрения решаемой задачи.

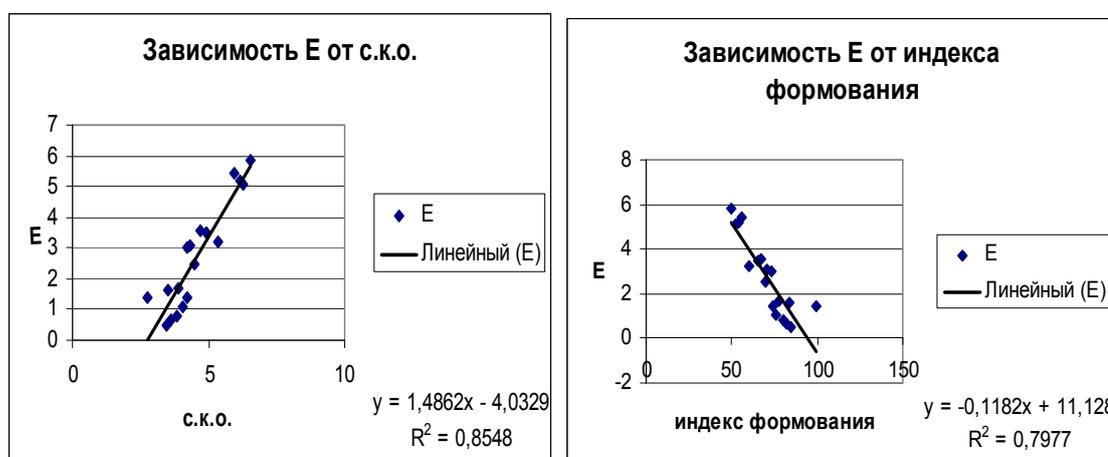


Рис. 2.13. Зависимость цветового различия (E) оттисков от с.к.о. и индекса формирования бумажного полотна

Вместе с тем, аппроксимация экспериментальных значений зависимости цветоразличие - индекс формирования полиномом второго порядка (рис.2.14) дает коэффициент детерминации, равный 0,89. Этот лучший результат, по сравнению с использованием линейной модели, – следствие указанной нелинейности индекса формирования (I).

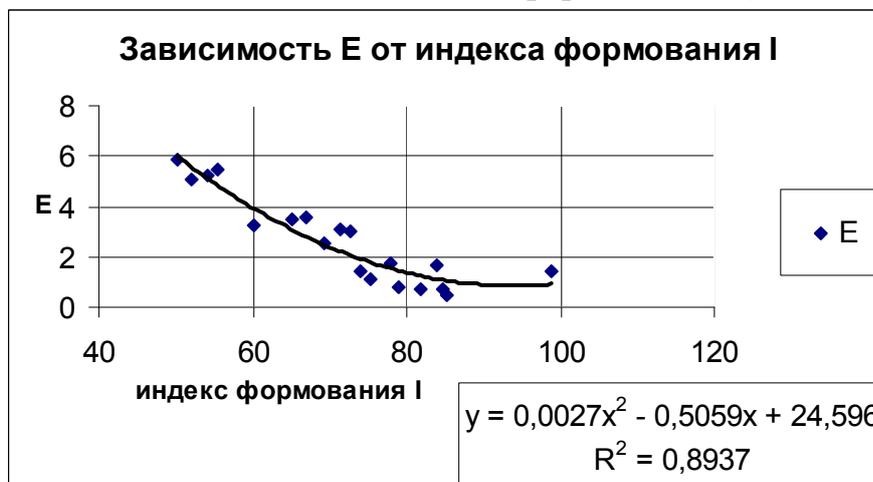


Рис.2.14. Зависимость цветового различия (E) от индекса формирования

Близость по значимости линейной модели для с.к.о. к нелинейной модели для I, большая простота линейной модели, а также большая простота технической реализации позволяют сделать заключение о большей эффективности с.к.о. как оценки облачности по сравнению с индексом формования.

Остановимся далее на удельном периметре.

В разделе 2.2. была приведена одна из существующих и используемых некоторыми исследователями характеристик масштаба неоднородности - удельный периметр.

В данной оценке отсутствует наглядность, что немаловажно в практическом применении. Величины удельного периметра дают возможность лишь при сравнении их значений, полученных для разных бумаг, говорить о большей или меньшей неоднородности бумаги, но сами по себе значения удельного периметра мало о чем говорят.

Положение можно исправить, введя понятие диаметра эквивалентной флокулы D, исходя из следующих соображений.

Если определить флокулы, заполняющие лист, как регулярную структуру, состоящую из кружков одинакового диаметра и имеющих ту же общую площадь S_{ϕ} и периметр p флокул, что и у анализируемого образца бумаги, то диаметр таких кружков D, назовем его эквивалентным, вычисляется по формуле

$$D = 4 S_{\phi} / p. \quad (2.4.1)$$

Подобный переход к эквивалентному диаметру не приводит к потере информации о масштабе неоднородности по сравнению с ее оценкой удельным периметром, однако делает эту информацию более наглядной и понятной в использовании.

Несмотря на сделанные дополнения, с учетом сложности и стоимости реализации получения рассмотренной оценки ей следует предпочесть средний размер неоднородности \bar{l} .

2.5. Влияние неоднородности структуры бумаги на пятнистость оттисков

Одним из основных дефектов, связанных с неоднородностью структуры бумаги, является пятнистость оттисков.

С информационной точки зрения, пятнистость оттиска - это шум.

Для оттисков понятие шум и неоднородность (пятнистость) - взаимозаменяемые понятия. Шум характеризуется колебаниями оптической плотности оттисков. Его принято оценивать как среднеквадратичное отклонение сигналов σ от среднего значения измеряемой величины.

В стандарте ISO 12647-2 сформулированы требования к допустимому цветовому различию между тиражными оттисками и оттиском, подписанным в печать для высокохудожественных изданий и рекламной продукции, а также деловой графики [25]. Важно, что эти требования выбраны с учетом

зрительного восприятия. Так, для черной краски этот допуск равен 2, для голубой – 2,5, для пурпурной – 4, для желтой – 3.

Если в качестве тестовых взять либо сплошные заливки, либо полутоновые оттиски, то пятнистость можно характеризовать с учетом стандарта именно цветовым различием, величина которого оценивается не как среднеквадратичное отклонение, а как абсолютная разница колебания оптической плотности тестовых оттисков.

Отсюда ответ на поставленный вопрос о пригодности бумаги для конкретного вида печати оказывается разрешим, если подойти с точки зрения требований стандарта. Так **облачность бумаги удовлетворительна, если требования ISO к качеству оттисков на данной бумаге выполняются.**

Такой подход к оценке неоднородности просвета (облачности) с точки зрения качества печати представляется достаточно объективным и продуктивным, исключая такое субъективное промежуточное звено как эксперты.

Для эксперимента был взят 21 образец офсетных бумаг пяти различных отечественных комбинатов, на которых печатает типография «Наука» Санкт-Петербурга. Были проведены измерения индекса формования.

Поскольку размер флокул и промоин для разных видов бумаг лежит в пределах $2 \div 8$ мм условного диаметра, для получения достоверных статистических данных об облачности достаточно оценить бумажный лист на площади порядка 100×100 мм² с разрешением $0,2 \times 0,2$ мм². Вместе с тем, учитывая механизм напуска бумажной массы из напорного ящика БДМ и, как правило, неодинаковость свойств бумажного листа в лицевой, центральной и приводной сторонах бумажного полотна, оценку его облачности следует вести по всему поперечному профилю.

В качестве тест-формы брались плашки со сплошной заливкой размером 100×100 мм² последовательно по всему профилю бумажного полотна. В работе для эксперимента брались также плашки с относительной площадью S растровых точек 75% и 50%. Вид тест-формы показан на рис.2.15.

Печать была проведена на печатной машине «Speed Master» черной краской. Цветовое различие полученных оттисков измерялось спектрофотометром.

Относительная площадь S растровых точек

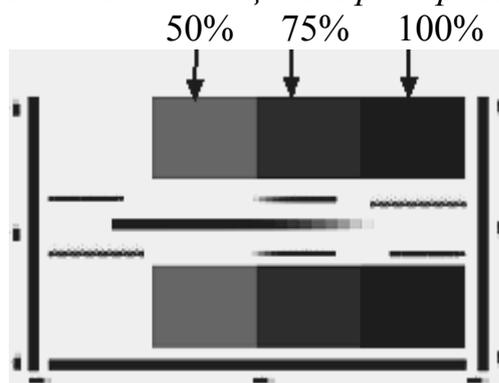


Рис.2.15. Тест - форма

Первичные результаты измерения (по профилю бумажного полотна) даны в табл. 2.2 представлены усредненные значения цветового различия ΔE , на рис.2.16 даны регрессионные зависимости ΔE от I.

По данным табл.2.2 были найдены аппроксимирующие функции представленные на рис.2.16, имеющие коэффициент детерминации $R^2 > 0,93$, что говорит о существенной зависимости ΔE от I.

Из приведенного графика следует, что цветовое различие ΔE , вызванное неоднородностью образцов бумаг, наибольшее для 100% плашки. Индекс формования > 75 имеет только 7 бумаг, для которых выполняются требования стандарта ISO. Эти бумаги могут быть использованы для высокохудожественных изданий и рекламной продукции, а также деловой графики (пример которой - столбчатые и круговые диаграммы). Семь бумаг с $I=60 \div 75$ могут быть использованы для текстовых изданий со штриховыми иллюстрациями, шесть бумаг с $I=50 \div 60$ – для бланочной продукции и текстов без иллюстраций, а одна - только для белой продукции (оклейки корешка и форзаца).

Таблица 2.2.

Зависимость цветового различия
от индекса формования

Индекс	ΔE		
	S=100%	S=70%	S=50%
27,9	14,27	11,31	10,33
50,1	5,84	4,29	3,93
52	5,08	4,83	3,72
54	5,19	3,76	2,8
55,4	5,43	3,29	3,86
60	3,22	3,06	2,45
65	3,47	3,71	2,81
66,9	3,58	3,03	2,31
69,2	2,5	3,2	2,79
71,4	3,05	2,85	2,34
72,8	3	2,42	2,52
74	1,41	1,44	1,08
75,4	1,08	1,81	1,38
78	1,71	1,48	1,2
79	0,81	0,45	0,43
81,8	0,69	0,69	0,69
83,9	1,63	0,99	0,87
85,2	0,5	0,32	0,2
98,8	1,4	0,08	0,18

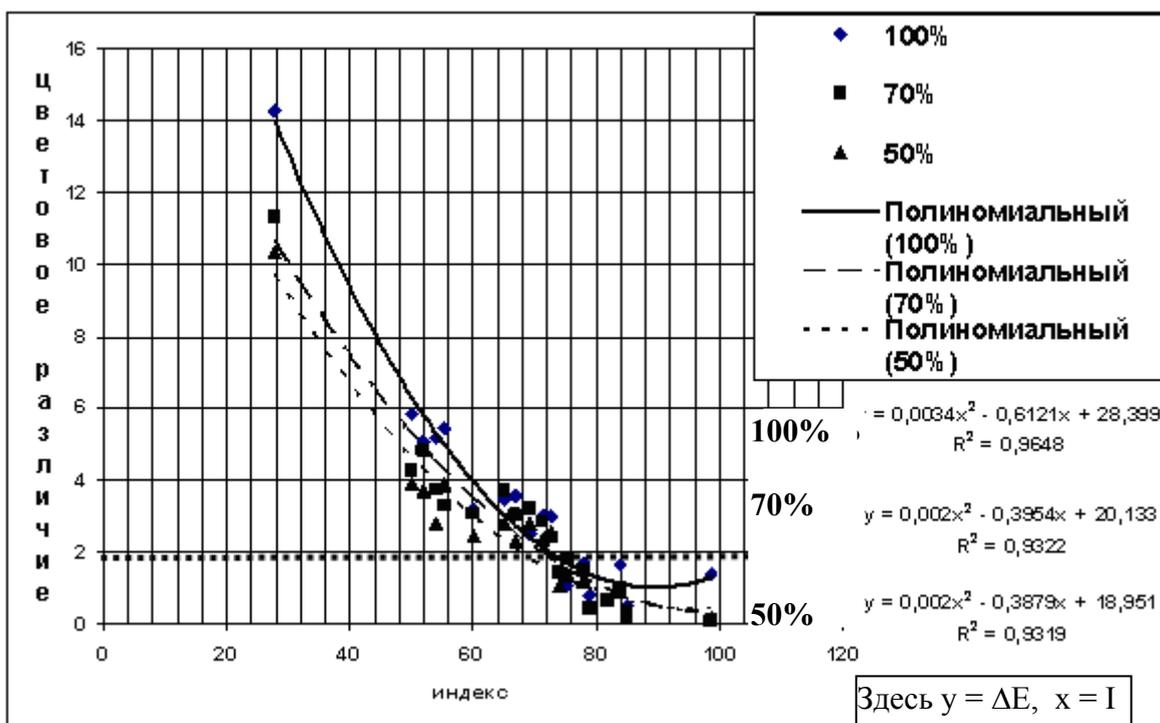


Рис. 2.16. Зависимость цветового различия от индекса формования

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности еще до печати по результатам измерения такого показателя облачности как индекс формования определиться с возможными видами печатной продукции и тем самым исключить как возможный брак по вине недостаточной однородности бумажного листа, так и потери, связанные с чередой рекламаций от заказчика к полиграфисту и от полиграфиста к бумажнику.

С учетом того, что лучшая – это и более дорогая бумага, сведения об облачности позволят полиграфисту сэкономить в случае печати текстовых изданий, выбирая бумагу с меньшим индексом, чем 70. Для бумажника ценность информации о формовании также очевидна. Зная свойства неоднородности бумаги, он может маневрировать, играя на цене и качестве бумаги.

Полученные результаты исследования можно объяснить в целом традиционно используемым на полиграфическом предприятии, где проводились исследования, одного гостированого вида офсетной бумаги, пусть и произведенной разными производителями, но по одной и той же рецептуре. В данном случае лучше было бы отметить возможность ранжировать самих производителей по степени достигнутой ими однородности бумаги, что немаловажно для решения задач выбора бумаги, приемлемой и по качеству и по цене для печати того или иного вида печатной продукции.

Однако следует заметить, что многочисленные исследования [26,27,29,30,42,43,45,46], приведенные в данной работе, говорят о том, что знаний лишь о неоднородности структуры бумаги на просвет недостаточно, чтобы однозначно характеризовать печатные свойства различных бумаг. В

этом смысле о многом свидетельствует сам факт отсутствия стандарта на облачность в целлюлозно-бумажной промышленности.

Судить о печатных свойствах различных бумаг, как будет показано далее, следует по оттискам, поскольку такие суждения основаны на обоснованных и стандартизованных требованиях к качеству конечного продукта - оттиска.

Тем не менее, в решении частной задачи выбора бумаги из подобных бумаг сведения об облачности могут быть полезны.

2.6 Особенности механизма впитывания краски структурными элементами бумажного полотна

Современные цифровые устройства получения и обработки изображений (цифровые камеры, сканеры) позволяют на новом уровне решать задачи исследования оптических свойств бумаги и оттисков.

В работе была поставлена задача изучения механизмов впитывания краски такими структурными элементами бумажного полотна как флокулы и промоины.

Различие их свойств, проявляющихся во взаимодействии с красками, является одной из основных причин снижения качества печати.

Для испытания было взяты образцы офисной бумаги марки «С» с массой 80 г/м².

Учитывая среднестатистический размер флокул и промоин ~2÷8 мм, образцы были отсканированы на барабанном сканере на просвет с разрешением 300 dpi (dpi - точек на дюйм), соответствующим отдельной точке размером 0,08x0,08мм². Использование барабанного сканера позволило не корректировать получаемые данные по неоднородности освещения, что обычно применяется для планшетных сканеров.

Перед сканированием на образцы были нанесены реперные метки для точного позиционирования относительно них каждой из точек бумажного листа.

Затем с помощью струйного принтера на каждом из образцов были напечатаны растровые поля размером 5x5см² с относительной площадью растровых элементов от 10% до 100% с интервалом 10%.

Далее с помощью барабанного сканера было осуществлено сканирование полученных растровых полей на отражение с тем же разрешением 300 dpi.

Полученные изображения были программным путем позиционированы относительно бумажного листа по нанесенным ранее реперным меткам, что позволило сопоставить данные для каждой точки бумажного полотна на просвет с каждой точкой оттиска на отражение.

Пример работы программы показан на рис. 2.17.

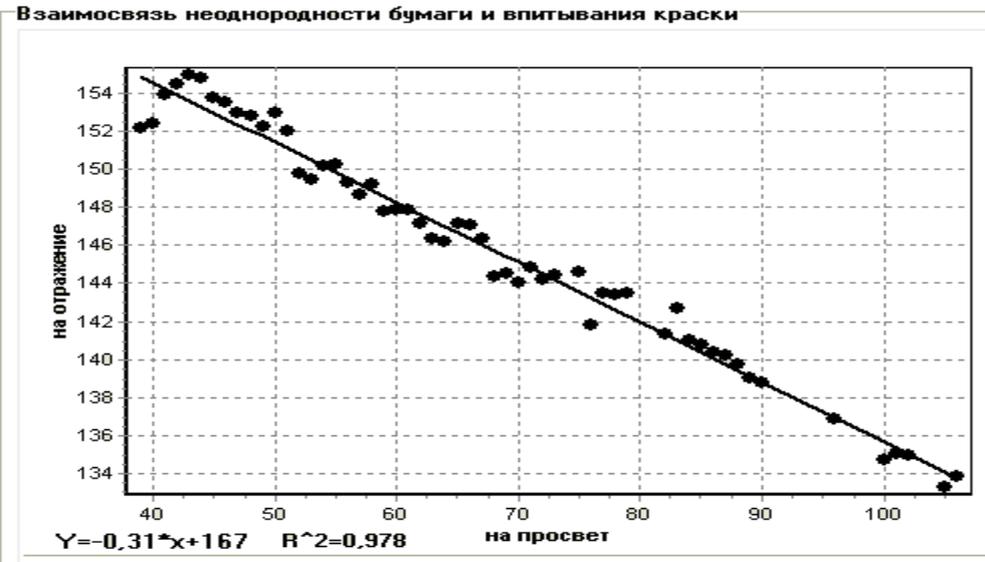
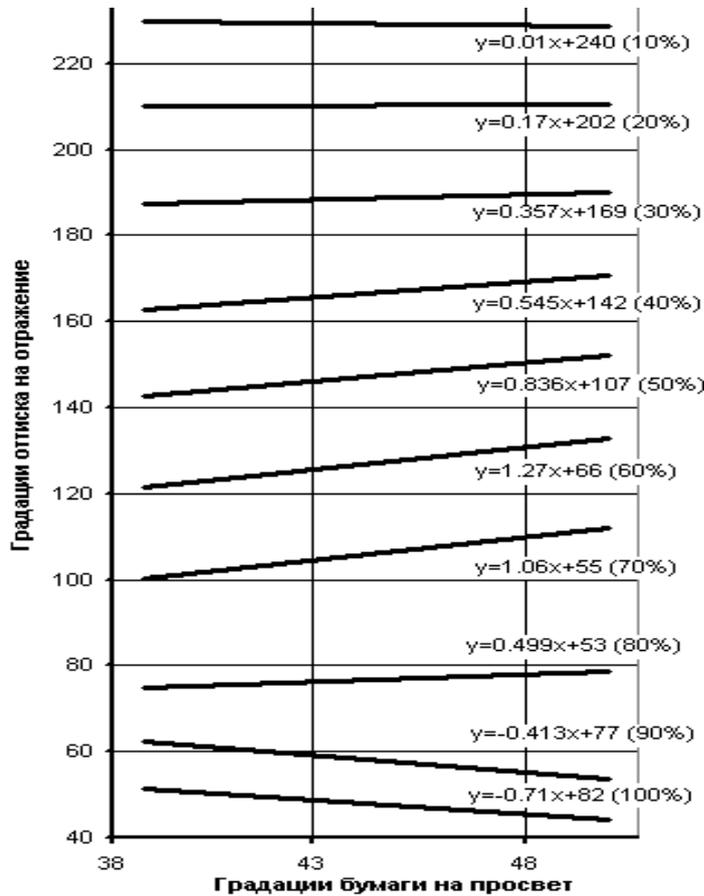


Рис. 2.17. Пример полученной регрессионной зависимости



Флокулы Промоины

Рис. 2.18. Зависимость яркости точек оттиска от яркости точек в проходящем свете

По полученным данным для различных оттисков после статистической обработки были получены регрессионные зависимости яркости точек

оттисков на отражение от яркости этих же точек незапечатанной бумаги в проходящем свете.

Полученные линейные регрессионные модели имели высокие значение коэффициентов достоверности аппроксимации ($R^2 > 0,9$) для всех полутоновых оттисков от 10% до 100%.

На рис.2.19 дан пример работы программы по определению коэффициентов угла наклона уравнений регрессии.

Как показано на рис. 2.17 - 2.19 при относительных площадях растровых точек 100 – 80% угол наклона линейных регрессионных зависимостей отрицателен, а при заливках менее 80% - положительный.

Это соответствует тому, что для диапазона 90 – 100% оптическая плотность оттиска на местах промоин больше, чем на флокулах, в то время как для диапазона ~ 0 – 80% она меньше. Для первого диапазона эффект можно объяснить тем, что при данной малой толщине бумаги и ее впитывающей способности на местах промоин (с меньшим размером пор и большей впитывающей способностью в силу капиллярных эффектов) происходит пробивание красителя на обратную сторону листа. Как только это происходит, впитывание прекращается, и оставшаяся краска остается на поверхности бумажного листа, что и приводит к повышенной плотности оттиска.

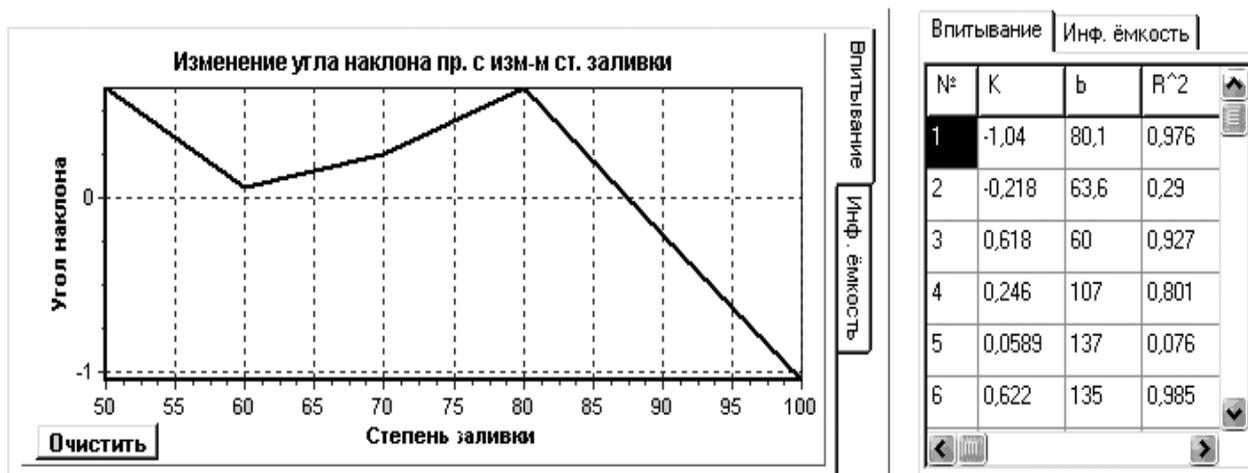


Рис. 2.19. Пример вычисления углов наклона линий регрессии при различных относительных площадях растрового поля

При полутоновых оттисках меньших 80% вся краска уходит в местах промоин в тело бумажного листа, не только в перпендикулярном, но и в параллельном плоскости листа направлении, что уменьшает оптическую плотность оттиска в промоинах.

Точки оттисков в месте флокул, имеющих большие поры, чем промоины, и большую толщину при 80 – 100%, поглощая полностью краску оказываются меньшими по оптической плотности, чем в местах промоин. Однако в диапазоне 0 – 80% величина оптической плотности точек оттисков на флокулах становится больше, чем в промоинах, поскольку промоины продолжают более интенсивно впитывать краску, чем флокулы, оставляя меньше краски в поверхностном слое бумаги (рис.2.20).

В выводах о механизмах впитывания учитывается то, что при 100% заливках краска может двигаться только перпендикулярно плоскости бумажного листа, при меньших процентах впитывание происходит и в стороны от точки попадания краски.



Рис. 2.20. Иллюстрация различного механизма впитывания краски для
 а – диапазона полутоновых оттисков 83 – 100%;
 б – диапазона полутоновых оттисков 0 - 83%.

На рис.2.21 даны графики коэффициентов уравнений регрессии для двух бумаг: облачной и малооблачной. Как следует из данных графиков, заливка на бумаге, признанной малооблачной, оказалась хуже (более пятнистой), чем у облачной. Это еще раз подтверждает высказанное положение, что информации об облачности далеко недостаточно для суждения о качестве оттисков.

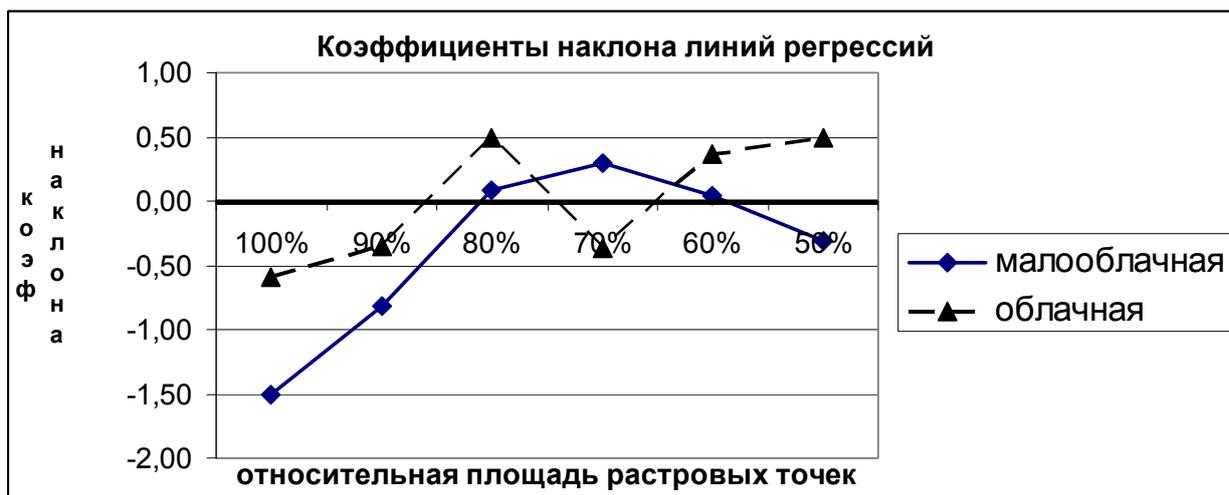


Рис.2.21. Графики коэффициентов уравнений регрессии для двух бумаг: облачной и малооблачной

Правда, при других растровых полях малооблачная бумага показывает себя лучше, чем облачная (абсолютное значение коэффициентов линий регрессии меньше). Идеальный случай был бы при коэффициентах наклона линий регрессий, равных нулю.

Таким образом можно сделать вывод, что проверять качество бумаги по заливкам недостаточно, а исследование необходимо проводить по всему диапазону растровых полей, анализируя поведение указанного коэффициента наклона.

Вместе с тем, исследуя подобные случаи по сопутствующим им параметрам технологического процесса получения бумаги, можно было бы проанализировать, с чем такие различия связаны.

В табл.2.3 даны абсолютные значения параметров технологического процесса получения для двух наиболее отличающихся по облачности

образцов бумаги, а на рис. 2.22 показана диаграмма относительных значений этих параметров.

Подобное представление данных и их анализ может послужить технологам основой для анализа разницы оттисков.

С точки зрения качества печати, по результатам исследования механизмов впитывания краски флокулами и промоинами можно заключить, что различный характер впитывания краски, особенно в тенях, является причиной непропорциональных изменений размеров элементов оттиска на смежных участках, приводящих к изменению значения яркости деталей или полной потере этих деталей.

Таблица 2.3.

Значения параметров производства бумаги для малооблачной и облачной образцов бумаг

Бумага	Лиственная целлюлоза %	Хвойная целлюлоза %	Брак %	Концентрация бумажной массы %	Перкол л/мин
малооблачная	85	15	19	0,83	19
облачная	70	30	22	0,92	17,5

Продолжение табл.2.3.

Бумага	Бентонит л/мин	Крах в массе л/мин	Крахмал (клеильный пресс) л/мин	Наполнитель л/мин
малооблачная	120	110	152	597
облачная	98	90	213	717

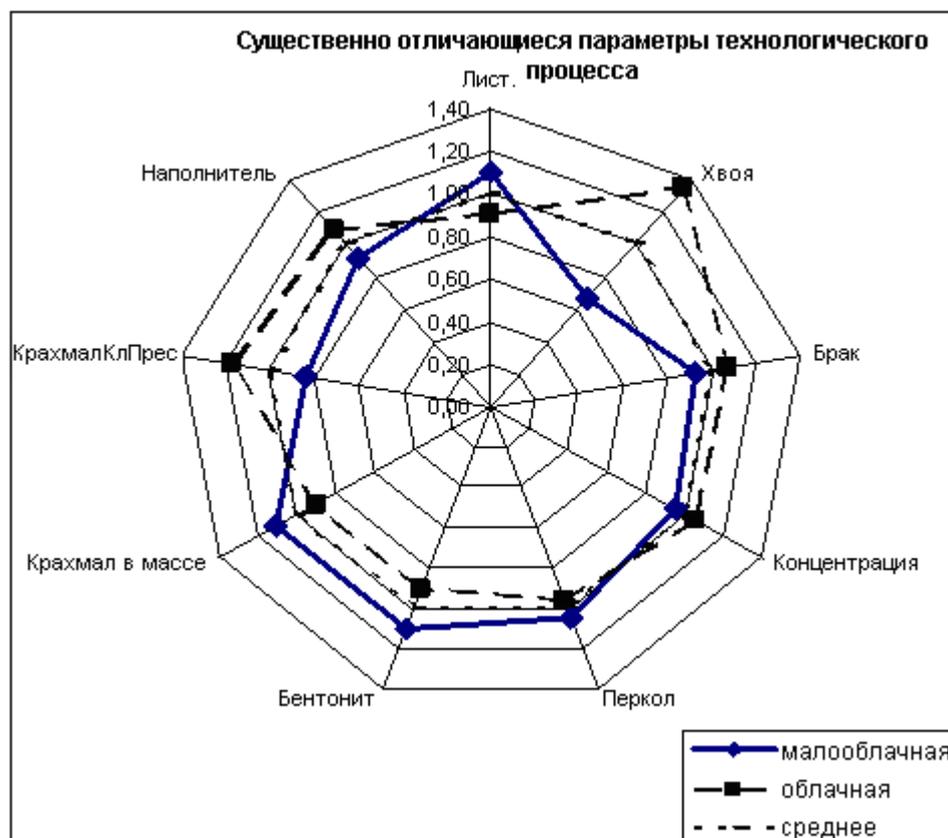


Рис.2.22. Диаграммы параметров технологического процесса производства для двух образцов бумаги

Следует особо отметить, что аналогичное детальное исследование свойств фильтровальных бумаг, проведенное автором, позволило на основе информации об облачности оценивать их фильтрующие свойства с относительной погрешностью 5% [48]. Вместе с тем при оценке воздухопроницаемости мешочных бумаг для цемента никакой связи между облачностью бумаги и воздухопроницаемостью установлено не было.

Положительный результат в первом случае можно объяснить простой структурой фильтровальных бумаг, без наполнителей, в отличие от мешочных бумаг, имеющих более сложный композиционный состав.

2.7 Повышение качества печати на основе информации о впитывании краски бумагой

Проведенное исследование имело целью более глубокое понимание взаимодействия краски и бумаги при неоднородности бумажного листа.

Вместе с тем, полученные в виде регрессионных моделей результаты могут быть использованы на практике.

Рассмотрим вновь зависимость яркости оттиска в точках флокул и промоин от их яркости в проходящем свете (рис. 2.23).

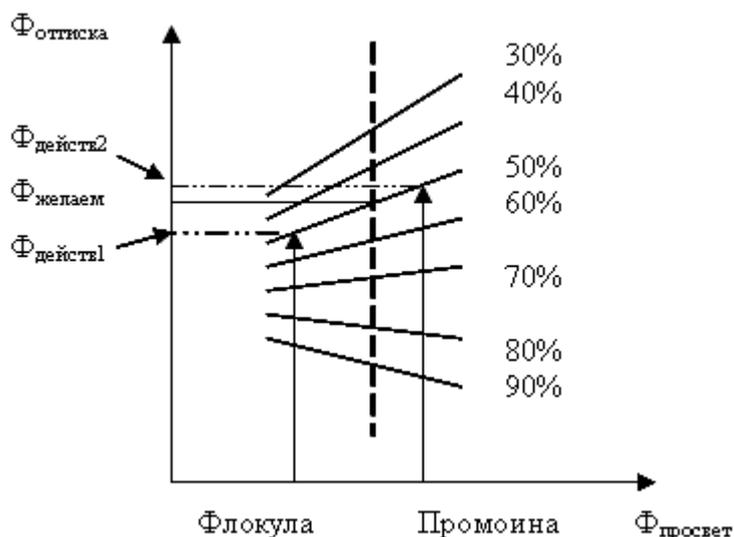


Рис. 2.23. Использование сведений о впитывании краски флокулами и промоинами для повышения качества печати

С учетом результатов проведенных исследований информация о впитывающих свойствах бумаги, принятой к печати, может быть получена в виде регрессионных моделей, как это было сделано выше, и об яркости на просвет каждой точки листа бумаги с помощью предварительного, перед печатью, сканирования бумаги в проходящем свете (детальные сведения о расположении элементов флокул и промоин).

Далее программно и аппаратно может быть реализован процесс электронной печати с учетом того, будет ли заданная точка печати попадать на флокулу или промоину.

Пошаговое решение задачи заключается в следующем.

На первом шаге, пропустив бумагу, принятую к печати, с напечатанными тест-полями через сканер, получаем регрессионные уравнения, графики которых показаны на рис. 2.23.

Затем перед печатью каждый лист бумаги предварительно сканируется для получения данных о яркости элементов флокул и промоин в проходящем свете.

Пусть для получения в конкретной точке оттиска требуемой яркости оттиска $\Phi_{\text{железа}}$ необходима полутоновая область с относительной площадью растровых точек 50%. Однако, если точка попадает на флокулу или промоину, то получили бы без коррекции, как следует из графиков, в первом случае меньшую, а во втором большую яркость оттиска, чем требуется.

Для получения требуемой яркости оттиска при печати в первом случае необходимо уменьшить значение полутона до ~40%, а во втором увеличить до ~54%. Имея уравнения регрессии, реализовать это программно при электронных видах печати не представляет труда.

Также программно может быть осуществлено относительное позиционирование бумаги и оттиска по реперным точкам, что позволит исключить необходимость в особой точности пространственной ориентации бумаги на печатающем устройстве.

Реализация данного способа коррекции печати может позволить осуществлять качественную печать даже на бумагах, не удовлетворяющих сегодня требованиям по облачности. Результат в данном случае – экономия на бумаге за счет ее более низкого качества, следовательно - более низкой цены.

2.8. Информационный подход к оценке печатных свойств бумаги

Бумага для печати это не просто физический материал, это – информационная поверхность. С этой точки зрения интерес представляет ее информационный потенциал, как способность воспроизводить определенное число уровней тона печатного изображения.

В процессах передачи информации бумага выступает как ее носитель. При появлении вычислительных машин она использовалась в виде перфокарт и перфолент. Поскольку бумага достаточно дешева, были попытки использовать ее как оптическое средство для хранения информации. Однако информационный потенциал бумаг существенно ниже, чем оптических и магнитных устройств хранения информации, и поэтому пока бумага не нашла себе подобного применения. Вместе с тем, использование штрих-кодов, например, на этикетках товаров, сегодня широко используется для кодирования информации о товаре и ее производителе. Деньги, торговые акцизные марки – пример бумаг, защищенных от подделки с помощью невидимых человеческим глазом мелких деталей изображения.

Особую увеличивающуюся сферу применения бумага находит в цифровой домашней фотографии, где она начинает вытеснять фотографию химическую. Новым направлением также быстро расширяющегося

применения бумаг становится офисная графика, включающая в себя не только различные графики, диаграммы и т.п., но и марки фирм, буклеты и иные визуальные средства, рекламирующие деятельность фирм.

Появление систем распознавания образов привело к использованию бумаг как промежуточного носителя информации, которая может быть считана, переведена в машинные коды и при необходимости скорректирована электронными средствами, распечатана.

Следует отметить, что при кодирования информации на бумажном носителе, при использования бумаги в системах распознавания образов, требования к качеству оттисков естественно выше, что обусловлено, в одном случае, ценностью заключенной в штрих кодах информации, в другом – связано с дополнительными затратами восстановления текстов, при потере информации в процессе распознавания по вине плохого качества оттисков.

Нарастающее обилие цветной графики, фотографий, связанное с совершенствованием цифровых технологий печати, приводит к повышению требований как к графической точности, так и к точности цветопередачи оригиналов.

Особенностью зрительной информации является ее пространственная двух- и трехмерность. Однако это не исключает применения к ней теории описания информации, развитой Котельниковым и Шенноном.

Пространственная визуальная информация непосредственно связана с возможностями человеческой зрительной системы воспринимать тона и цветовые оттенки оттисков, с определенной разрешающей способностью.

Количество информации I определяется как отрицательный логарифм по основанию 2 [49]

$$I = - \log_2 p_i , \quad (2.8.1)$$

где p_i – вероятность появления события.

Для пространственной информации, содержащейся в оттисках событие представляет собой наличие оптически воспринимаемого уровня (цветного, серого) изображения в точке пространства оттиска.

Информационный потенциал носителя определяется как максимальная величина информации, рассчитанная для всех событий

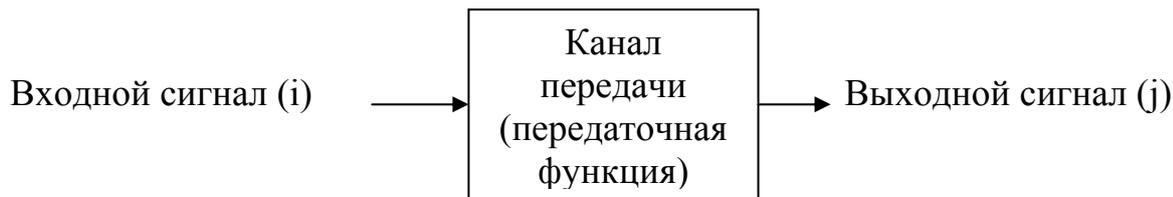
$$I = \max \left(- \sum_1^n p_i \log_2 p_i \right) . \quad (2.8.2)$$

Эта величина максимизируется в зависимости от распределения вероятности p_i . Максимум достигается в случае равной вероятности всех событий, т.е. в случае равномерного распределения.

Если число возможных уровней тонов и цветов равно n , а вероятность появления события при равномерном распределении равна $1/n$, то информационный потенциал равен

$$I(\text{bit}) = \log_2 n . \quad (2.8.3)$$

Другой основой теории информации, связанной с передачей последней является представление процесса передачи как преобразования входного сигнала в выходной объектом, свойства которого описываются передаточной функцией.



Количество переданной информации от источника i к приемнику j через канал передачи оценивается как

$$I = \log_2 \frac{p_{j,i}}{p_j} \quad (2.8.4)$$

Формула отражает основной закон, согласно которому количество взаимной информации возрастает при возрастании вероятности получения события j , как реакции на событие i , при возможных искажениях сигнала источника каналом передачи и шумами.

Среднее количество взаимной информации для всех возможных уровней сигналов определяется как

$$I = \sum_i^n \sum_j^m p_{i,j} \log_2 \frac{p_{i,j}}{p_j} \quad (2.8.5)$$

С этих информационных позиций бумага может рассматриваться как один из участков канала передачи информации от оригинала к оттиску, вносящий определенные искажения в передаваемый входной сигнал.

Информационный потенциал бумаги

Информационный потенциал при монохромной печати, характеризует, какое количество оттенков (тонов), выраженное в битах, как логарифм по основанию 2 числа тонов, бумага или оттиск может воспроизвести. Определение информационного потенциала может производиться в единицах отражения или оптической плотности. Последняя более тесно связана с визуально воспринимаемой информацией.

В единицах отражения информационный потенциал выражается следующим образом [49]:

$$I_R(u) = u^2 \log_2 \left(1 + \frac{R_{\max}(u) - R_{\min}(u)}{\sigma_R(u)} \right) . \quad (2.8.6)$$

В единицах оптической плотности выражение для информационного потенциала имеет вид

$$I_D(u) = u^2 \log_2 \left(1 + \frac{-\log_{10} R_{\min}(u) - (-\log_{10} R_{\max}(u))}{\sigma_D(u)} \right) , \quad (2.8.7)$$

где u – пространственная частота, R – коэффициент отражения, $-\log_{10} R$ – оптическая плотность.

Выражения в скобках представляют собой отношение сигнал/шум:

$$SNR_R = (R_{\max} - R_{\min}) / \sigma_R , \quad (2.8.8)$$

$$SNR_D = (D_{\max} - D_{\min}) / \sigma_D , \quad (2.8.9)$$

$$D_{\max} = -\log_{10} R_{\max} , \quad (2.8.10)$$

$$D_{\min} = -\log_{10} R_{\min} , \quad (2.8.11)$$

где D_{max} и D_{min} - максимум и минимум оптической плотности,
 R_{max} и R_{min} - максимум и минимум коэффициента отражения.

Используя общепринятое соглашение, $SNR+1$ определяет число различимых уровней тона. При увеличении пространственной частоты это отношение уменьшается. То же происходит и с информационной емкостью.

Оптический информационный потенциал бумаги

Анализируя свойства бумаги, можно определить ее информационный потенциал.

Разница $R_{max}(u) - R_{min}(u)$ или разница между их логарифмами называется динамическим диапазоном. При печати информация может быть сохранена именно в этом диапазоне.

На макроуровне коэффициент отражения R_{max} соответствует величине яркости бумаги. Монохромное изображение не может быть ярче бумаги. Область коэффициента отражения определяется R_{min} . Величина R_{min} определяется из предположения, что рассматривается отражение от поверхности, когда гипотетически слой краски полностью поглощает свет.

Если гипотетический слой чернил идеален, бесконечно тонок, структура поверхности бумаги полностью определяет ее свойства отражения. Если отражение носит диффузный характер, отражение от ее поверхности составляет 4%. Таким образом, $R_{min} = 0,04$ при геометрии $45/0^0$.

При большем глянце бумаги меньшая часть падающего света отражается в направлении измерительного приемника (при геометрии $45/0^0$). Это дает меньшее значение R_{min} и большую информационную емкость.

Отсюда следует, что информационный потенциал бумаги зависит от освещения и угла, под которым рассматривается оттиск.

Диапазон изменения коэффициента отражения $0 - 1$ в цифровом представлении уровней коэффициента отражения составляет 2^n , где n – число бит на пиксел обычно составляет 8-12. Когда яркость бумаги в единицах коэффициента отражения $R_{max} < 1$ и минимум отражения $R_{min} > 0$, число уровней коэффициента отражения m равно

$$m = (R_{max} - R_{min})2^n, \quad (2.8.12)$$

откуда

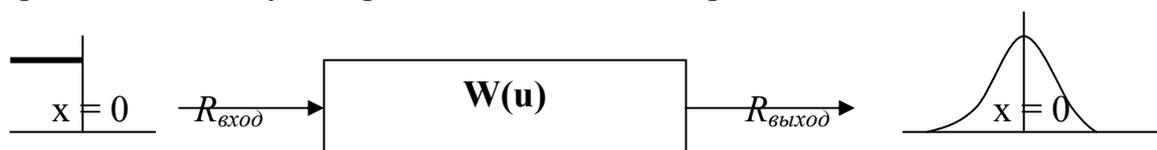
$$I = \log_2 [(R_{max} - R_{min})2^n] = \log_2 (R_{max} - R_{min}) + n. \quad (2.8.13)$$

Поскольку $R_{max} - R_{min} < 1$, информационный потенциал меньше, чем в идеальном случае, когда она равна n , на отрицательную величину $\log_2 (R_{max} - R_{min})$. Для реальных величин коэффициента отражения можно заключить, что основной эффект на информационный потенциал бумаги оказывает коэффициент отражения бумаги, поскольку, если уровень оттиска приблизительно равен 1 биту, то половина уровней теряется из-за яркости (белизны) бумаги.

Оптический коэффициент растискивания бумаги

При анализе информационного потенциала бумаги как функции частоты коэффициент растискивания отражает собой тот факт, что оптическая плотность и отражение запечатанной области бумаги уменьшаются при уменьшении размеров деталей. Функция распределения точки на поверхности бумажного листа двумерна, а линии – одномерна.

В идеальном случае граница точки резкая, типа ступенчатой функции. В реальном же случае граница оказывается «размытой».



На основании преобразования Фурье можно представить получение реальной точки из предполагаемой идеальной с помощью частотной передаточной функции

$$W(u) = 1/[1+(2\pi ul)^2], \quad (2.8.14)$$

где u – пространственная частота 1/мм,

l – усредненное расширение точки или среднее расстояние диффузии света в бумаге.

Для бумаги, изотропной во всех направлениях (что обычно нереально), усредненное расширение точки может быть предсказано через яркость бумаги (R_{max}), коэффициент рассеивания света (s) и удельный вес бумаги (ρ) [49]:

$$l = R_{max}/(s\rho). \quad (2.8.15)$$

Масштабирование удельным весом дает расстояние диффузии в мкм. Сильный световой эффект рассеивания уменьшает видимое распространение точки. Данное выражение получено на основе теории Кубелка-Мунка, при предположении изотропности рассеивания света бумагой. Поскольку бумага неизотропна (различна в машинном и поперечном направлениях), это предположение является лишь некоторой аппроксимацией.

Профиль отражения точки $R_{выход}(x)$, вызванный растискиванием точки, может быть определен как свертка (*) функций: функции идеального отражения и весовой функции $w(x)$

$$R_{выход}(x) = R_{вход}(x) * w(x), \quad (2.8.16)$$

что согласно теореме свертки равно

$$R_{выход}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{вход}(x_1)w(x-x_1)dx. \quad (2.8.17)$$

В частотной области этому соответствует

$$R_{выход}(u) = W(u) R_{вход}(u). \quad (2.8.18)$$

Подставляя это выражение в выражение для информационного потенциала, получим

$$I = u^2 \log_2 \left[1 + \frac{R_{max} - R_{min}}{\sigma(u)} W(u) \right]. \quad (2.8.19)$$

Наименьший размер пиксела, необходимый для репродукции исходного изображения, получается подстановкой $W(u)$ в выражение для информационного потенциала, с учетом того, что частота, на которой рассматривается отношение сигнал/шум определяется в пикселях. Разрешение, т.е. размер пиксела в соответствии с теоремой Котельникова равен $1/(2u)$, где

$$u = \frac{1}{2\pi l} \left[\frac{R_{\max} - R_{\min}}{\sigma_R(u)} - 1 \right]^{1/2}, \quad (2.8.20)$$

откуда величина пиксела P будет равна

$$P = \frac{1}{2u} = \pi l \sqrt{\frac{\sigma_R(u)}{R_{\max} - R_{\min}}}. \quad (2.8.21)$$

Из выражения для размера элемента изображения следует, что чем меньше растискивание точки (l), чем большей белизной обладает бумага (R_{\max} больше), чем лучше запечатывается поверхность бумаги, т.е. чем больше пигмента остается на ее поверхности, чем она более глянцевая (R_{\min} меньше), тем меньше размер пикселя P , тем выше разрешение, тем больше информационный потенциал бумаги.

Следует заметить, что рассмотренное выше применение аналитических выкладок теории преобразования сигналов правомерно лишь в относительно узких диапазонах изменения всех участвующих в описании процессов печати параметров, когда в этих диапазонах реальные нелинейные зависимости могут быть линеаризованы. Такое положение, обычное при моделировании технологических процессов, тем не менее не мешает решать задачи оптимизации и управления этими процессами. Для этих целей применяют экспериментально-статистические методы, позволяющие при неизвестном механизме процессов, пользуясь методом «черного ящика», получать экспериментальные модели связи интересующих параметров.

В настоящее время появление и совершенствование электронных компьютеризированных видов печати сопровождается их автоматизацией. С этой точки зрения, развитие информационных методов оценки качества печати следует признать перспективным.

Шум

Шумом принято считать неконтролируемое и случайное изменение сигналов.

В печати шум – случайные изменения оптического сигнала от оттиска и бумаги. Отражение от оттиска содержит в себе как отражение от поверхности, так и внутреннее отражение – отражение от внутренних слоев краски и бумаги. Шум, вызванный внутренним отражением, выражается в шуме оптической плотности оттиска и его цвета, а шум, вызванный поверхностным отражением, еще и шумом глянца (глянцевой поверхности).

Шум принято оценивать как среднеквадратичное отклонение сигналов σ . Важным в теории информации является известное отношение сигнал/шум (SNR- signal noise ratio), которое описывается в логарифмических единицах по основанию 10 следующим образом

$$\text{SNR} = 20\log_{10} (S/\sigma), \quad (2.8.22)$$

и коэффициент вариации K , равный

$$K = (\sigma / S) 100\% . \quad (2.8.23)$$

В области пространственных частот шум может быть представлен спектром мощности. В зависимости от частот или соответствующих им пространственных длин волн, шум принято делить на макро-, микро- и невидимый. Это деление по длинам волн представляется следующим образом:

- шум макромасштаба – шум с длинами волн более 1мм;
- шум микромасштаба – шум с длинами волн от 10 мкм до 10^3 мкм;
- невидимый шум - меньше 10 мкм.

Два первых попадают в диапазон длин волн, различаемых глазом. Третий, невидимый, несмотря на свою малость, также влияет на качество оттиска. Так, шум вызванный шероховатостью бумаги, не воспринимается зрением на уровне мелких деталей изображения, однако приводит к уменьшению среднего уровня отраженного сигнала по всей площади, а у цветных иллюстраций вызывает изменения тона запечатываемых поверхностей.

Исследования [34] показали, что функция визуальной чувствительности контраста рис.2.24, характеризующая человеческое зрение, достигает своего наибольшего значения на макро-масштабе пространственных длин волн. А это значит, что именно в этом диапазоне человеческий глаз обладает меньшим порогом чувствительности и, следовательно, более чувствителен к искажениям, вносимым шумом.

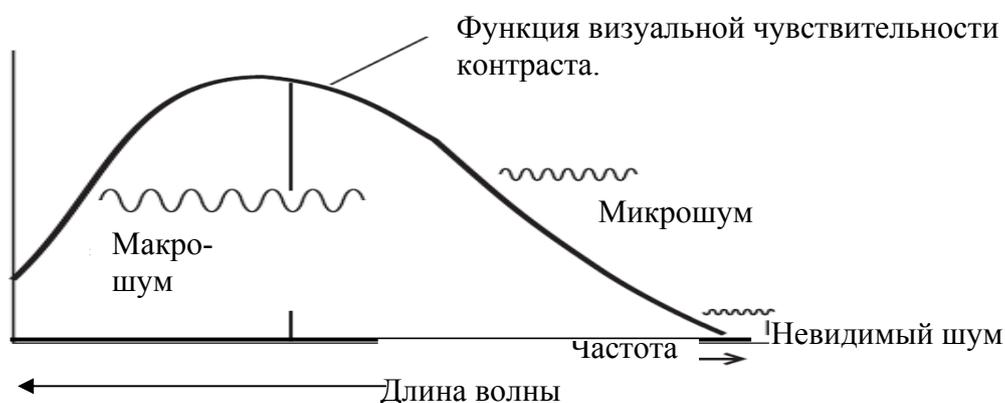


Рис.2.24. Функция визуальной чувствительности контраста

Источники шума в оттисках заключены в самом входном сигнале, связаны с изменениями параметров печатного процесса, взаимодействиями краски и бумаги (растискивание растровой точки), растровой структурой (дискретной в пространстве листа) и структурой исходных материалов для печати. Низкочастотная составляющая шума связана с изменениями подачи краски в процессе печати. Неоднородность в печати появляется из-за колебаний свойств бумаги.

Зрительная система человека различает макрошум (в виде колебаний оптической плотности и глянца) лишь при сравнении оттиска с оригиналом.

Изменения цвета легко обнаруживаются цветовой памятью, например, в популярной торговой марке.

Тонкая структура материалов (частицы тонера, наполнителей, поверхностная структура бумаги) – источник шумов макро- и микро-масштаба. Шероховатость и пористость бумаги, неоднородность ее структуры являются причинами неоднородности впитывания краски. При освещении эти неоднородности воспринимаются как оптический шум.

Хотя невидимый шум слишком тонок для восприятия, он влияет на средний уровень восприятия иллюстраций. Так, например, человек не различает мельчайшие вариации глянца, вызванные шероховатостью бумаги, однако шероховатость влияет на среднее значение глянца.

Макро- и микромасштабные шумы могут быть вызваны вариациями в подаче краски, вариациями размеров частиц пигмента, вариациями свойств бумаги, приводящими к вариациям количества краски, проникающей в запечатываемую поверхность бумаги. При освещении эти вариации воспринимаются как оптический шум.

При кодировании информации для печати шаг между двумя уровнями градаций яркости равен $1/2^n$. При $n=8$ и коэффициенте отражения в пределах 0-1, шаг составляет 0,0039.

Для различения уровней оптический шум, отраженный от бумаги, должен быть меньше, чем шаг. Если с.к.о. шума σ больше его, уровни статистически не различаются. Число реально воспринимаемых уровней уменьшается, а возможный потенциал печати не используется.

Так, если коэффициент вариации равен 1%, приблизительно 100 уровней или 6,6 бит могут быть различимы.

Качество печати и шум

Печатные свойства бумаги – это ее потенциальные свойства, которые проявляют себя в печати. К печатным свойствам бумаги относят ее оптические, колориметрические и механические свойства.

Качество печати зависит, помимо бумаги, от процессов предпечатной подготовки, параметров печатного процесса, способов и аппаратной реализации процесса печати. Существует много параметров, характеризующих качество отисков, которые оцениваются объективно с помощью специальных средств измерительной техники.

Однако, говоря о качестве печати, следует отметить и такую его важную сторону, как восприятие человеком. Это восприятие субъективно, но именно оно - основа оценки качества напечатанного изображения. Зрение и мозг – основные составляющие зрительной информационной системы человека. Она реализует три основных процесса: считывание оптической информации, ее обработку и синтез. На последней стадии, стадии синтеза, происходит формирование зрительного образа. Являясь сложной, не изученной до конца информационной системой, она тем не менее предъявляет порой такие требования, которые трудно, а порой и невозможно формализовать.

При таком субъективном взгляде на качество, бумага, ее фактура, цвет, отделка далеко не маловажны и могут представлять собой самостоятельную ценность, играющую в человеческом восприятии существенную роль.

Достижение высокого глянца требует, чтобы бумага была гладкой или чтобы слой краски, заполняя шероховатости профиля бумаги, делал поверхность гладкой. Это возможно, если толщина слоя краски на поверхности бумаги толще глубины шероховатости.

Для оттисков понятие шум и неоднородность - взаимозаменяемые понятия. Шум характеризуют шумом оптической плотности оттисков или диффузного отражения. Шум глянца характеризуют вариациями углового отражения, а цветовой шум – вариациями колориметрического отражения.

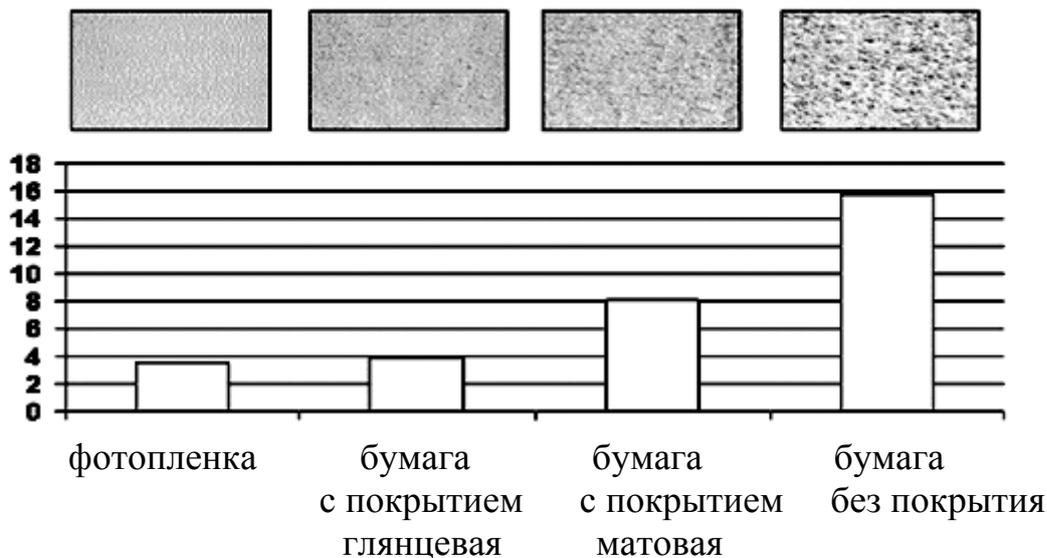


Рис. 2.25. Шум оттиска от носителя

Шум есть неконтролируемые случайные вариации исследуемой величины или сигнала, как принято называть любую величину с информационной точки зрения. Шум оттиска представляет собой вариации сигнала от изображения в плоскости листа. В формировании оптического образа входным сигналом является освещение, а выходным – отражение от изображения. Отражение состоит из поверхностного и внутреннего отражения. Шум изображения может присутствовать в каждой из этих составляющих или в обеих вместе. Он проявляется как шум глянца, оптической плотности или цвета. Так вариации поверхностного отражения дают шум глянца и могут вместе с тем приводить к шуму в оптической плотности и цвете. А вариации внутреннего отражения - только к шуму в оптической плотности и цвете.

На рис.2.25 показано как носитель влияет на шум оттиска.

2.9. Применение информационного подхода к оценке влияния неоднородности бумаги на качество оттиска

Представленные положения существующего информационного подхода к задачам исследования процессов печати представляют собой в большей степени идеализированное описание этих процессов. Так, передаточная функция рассматривается как функция линейного объекта, что

далеко от действительности. Процессы печати как процессы взаимодействия бумаги и краски при выбранных параметрах конкретного вида процесса печати нелинейны.

Отсюда следует, что пока нет описания самих процессов, нет смысла говорить о аналитической модели в виде передаточной функции. Ситуация достаточно общая для многих сложных технологических процессов. И тем не менее выход, пусть и не оптимальный, находится с применением метода «черного ящика», позволяющего по экспериментальным, так называемым, «разгонным характеристикам» получать аппроксимированные выражения передаточных функций, описывающих процессы в узких диапазонах изменения их параметров. Такие передаточные функции оказываются полезными при создании систем автоматического управления параметрами технологических процессов, когда значения самих параметров, подлежащих регулированию, определены, и выявлены главные управляющие факторы.

Другая, более сложная на сегодня задача нахождения значений оптимальных параметров ведения процесса может решаться с помощью различных методов активного планирования экспериментов.

Для процесса печати это:

- выбор краски и ее параметров;
- выбор бумаги;
- выбор параметров режима печати.

При системном подходе это и задача выбора параметров процесса производства бумаги, обеспечивающих требуемые печатные свойства бумаги для конкретного вида печатного процесса.

В любом случае важно, что принимается за основную цель исследования. В рассматриваемом подходе это - качество печати.

Информационный подход к оценке печатных свойств бумаги можно рассматривать как один из перспективных подходов, поскольку он соответствует находящим сегодня широкое распространение компьютерным технологиям передачи, обработки информации и ее использования не только в цифровых, но и в традиционных видах печати.

Здесь понятие «число различимых градаций яркости» является одним из ключевых понятий, характеризующих возможности точной передачи и воспроизведения многоградационных иллюстративных изображений.

Информационный подход к оценке печатных свойств бумаг основан на суждении об этих свойствах непосредственно по результатам печати.

Для дальнейших рассуждений полезно высказать ряд положений.

При исследованиях следует различать параметр объекта и свойство, обусловленное этим параметром и проявляющее себя в процессе.

Так, масса есть параметр объекта, а инерционность – свойство объекта, определяемое массой и проявляющее себя при действии силы на объект.

При таком подходе пористость, например, есть параметр бумаги, а ее впитывающая способность – свойство, зависящее от размера пор, но проявляющее себя при взаимодействии с определенной краской, имеющей

определенный композиционный состав. Этот состав определяет ее вязкость, т.е. свойство, проявляющее себя в процессе впитывания.

Печатные свойства бумаги проявляют себя по-разному при разных условиях печати.

При большем давлении бумага впитает больше краски, при большем расходе краски также. И следовательно впитываемость - переменный параметр процесса печати, зависящий наряду с краской и от параметров этого процесса.

Следует заметить, что на сегодня «...нет стандартных тестов для оценки поверхностной впитываемости краски, которые годятся для множества различных ситуаций» [1, с. 179].

Имея одну и ту же пористость, получим разное качество печати при разном количестве краски и давлении.



Рис. 2.26. Факторы, влияющие на оптическую плотность бумаги

Рассмотрим в качестве примера такое качество печати как оптическая плотность (рис.2.26).

К параметрам бумаги, влияющим на оптическую плотность отиска, следует отнести белизну и шероховатость.

Свойство бумаги впитывать определенную краску при определенных параметрах конкретного печатного процесса зависит от пористости бумаги, композиционного состав, зольности, неоднородности структуры, влажности и pH.

Так, в результате печати под давлением имеем проникновение краски в поры и капилляры бумаги, заполнение «впадин» бумаги, обусловленных ее неоднородностью, т.е. получаем определенную пространственную насыщенность тела бумаги краской.

Оптическая плотность отиска несет в себе информацию об этом распределении краски на поверхности бумаги и ближайших ее слоях, а также о белизне и шероховатости бумаги.

Таким образом, если охарактеризовать впитывающую способность бумаги и оптическую плотность отиска как результат печатного процесса, то это сопутствующие результаты. Первая описывает пространственное расположение краски в теле бумажного листа, вторая – то же, но в

отраженном свете в виде оптической плотности оттиска. И первая, и вторая зависят от одних и тех же параметров, а оптическая плотность еще и от шероховатости и белизны бумаги (на рис.2.26 это отличие отражено подчеркиванием параметров шероховатости и белизны).

Как и в случае с бумагой, под параметрами краски следует понимать: композиционный состав, пигмент и его дисперсность. Это - параметры, влияющие на оптическую плотность оттиска.

Под печатным свойством краски следует понимать ее вязкость, которая определяется композиционным составом и может меняться, например, при изменении температуры краски.

К параметрам печатного процесса, подлежащим регулированию, следует отнести количество подаваемой краски, давление и скорость печати (последние два параметра для контактных видов печати, таких как офсетная).

Таким образом, печатное свойство бумаги следует рассматривать как комплексное, определяемое, с одной стороны, ее пористостью, композиционным составом, зольностью, неоднородностью структуры, а с другой стороны, параметрами и свойствами краски и параметрами конкретного печатного процесса.

Из такого разделения на свойства и параметры вытекает, что бумажник может совершенствовать параметры бумаги, не привлекая сведений о виде печати и используемой краске. В то время как, говоря о свойствах бумаги, должен учитывать и вид печати, и краску.

Запишем уравнение (2.8.8) в другом виде

$$\text{SNR}_I = (I_{\max} - I_{\min})/\sigma_I, \quad (2.9.1)$$

В выражении (2.9.1) отношение «сигнал – шум» (SNR_I), рассматриваемое как число различных градаций яркости используются: яркость фона – белизна бумаги (I_{\max}), яркость растрового поля (I_{\min}) и среднеквадратичное отклонение колебаний яркости растрового поля (σ_I).

Здесь следует пояснить сделанный переход к выражению (2.9.1).

Современные сканеры и системы на основе телекамер имеют большей частью не оговоренный по смыслу выходной сигнал в виде отсчетов значения тона, квантованных в шкале восьмиразрядного двоичного кода (0 – 255). Это более или менее равноконтрастная, связанная с законами зрительного восприятия метрика предполагает весьма нелинейное (логарифмическое или степенное) предварительное преобразование яркостного сигнала фотометрического преобразователя считывателя, который изначально более или менее линеен по отношению к отражениям (яркостям) точек объекта.

Несмотря на это многие исследователи, оперируя именно с данными, полученными с помощью компьютерных периферийных средств (сканеров, принтеров и т.п.), именуют их яркостями.

Тем не менее, актуальность нормирования и увязанной со зрительным восприятием калибровки выходных сигналов лежит в контексте конкретного исследования.

Это можно объяснить рядом причин.

Денситометр имеет измерительное поле 3мм в диаметре и его использование для задач, требующих разрешения порядка 0,1мм, т.е. применения микрофотометра, не представляется возможным при обработке больших массивов информации,

В исследованиях неоднородности структуры бумаги, интервала контраста печати основу составляют не абсолютные значения яркостей, а оптические плотности, логарифмически связанные с яркостями через коэффициенты отражения. Разности самих яркостей отражают лишь косвенно, без учета особенностей зрительного восприятия, влияние рассматриваемых в работе факторов на исследуемые показатели качества печати. Более обязательна при разработке стандартов или использования результатов работы на практике калибровка применяемых средств. Однако, как следует из постановки задач исследования, целью данной работы было выявление закономерностей во влиянии параметров производства бумаги на качество печати, определение подходов к совершенствованию печатных свойств бумаг. Поскольку результаты для каждой конкретной бумаги, краски и вида печатного процесса являются специфическими и не могут быть использованы напрямую для других сочетаний бумаги, краски и печати, некоторая отмеченная метрологическая некорректность не мешает решать вопросы определения путей и подходов решения задачи совершенствования печатных свойств бумаг.

Как уже отмечалось, яркость оттиска отражает результат впитывания бумаги краской, проявляющийся в пространственном заполнении поверхности и тела бумаги краской, определяемом композицией, пористостью, неоднородностью и зольностью бумаги, влажностью, рН, а также влиянием белизны и шероховатости бумаги. Среднеквадратичное отклонение колебаний яркости растрового поля отражает влияние неоднородности структуры бумажного полотна.

Таким образом, SNR_I является комплексным показателем. Он позволяет предметно и объективно оценивать целую группу печатных свойств, определяющих качество печати.

В современной квалиметрии в полиграфии при формировании комплексных показателей качества печати [33] используется метод экспертных оценок, делающий названные показатели субъективными. В отличие от таких комплексных показателей, показатель SNR_I содержит лишь три оценки: подложки, оттиска и его неоднородности. Однако, являясь объективной оценкой, он может быть признан полезным в задачах квалиметрии печатного изображения.

Для того, чтобы определить, как меняется число различимых уровней тона (SNR_I) при печати на бумагах различного качества формования, было проведено исследование, в задачи которого входило:

- практическое применение информационного подхода к описанию результата взаимодействия бумаги и краски в процессе печати;

- выявление зависимости информационного потенциала офисной бумаги от качества её формирования применительно к капельному струйному методу печати.

Для исследования были взяты два образца офисной бумаги марки «С», существенно отличающиеся между собой по однородности структуры: одна, с индексом формирования $I_1 = 70$ (лучшая), и другая, с $I_2 = 50$.

Таблица 2.4.

Результаты оценки информационного потенциала бумаг

		Относительная площадь растрового поля, S%					
		100	90	80	70	60	50
I_{MAX}	$I_1=70$	255					
	$I_2=50$						
I_{MIN}	$I_1=70$	35	45	64	88	110	131
	$I_2=50$	29	42	95	95	117	137
σ_I	$I_1=70$	2,06	1,79	2,25	2,55	2,77	3,25
	$I_2=50$	3,42	3,03	2,84	2,91	3,42	3,11
SNR_I	$I_1=70$	107	117	85	65	52	38
	$I_2=50$	66	70	56	55	40	38

В табл. 2.4 на рис.2.27 представлены результаты обработки для этих двух бумаг: число различимых уровней тона SNR_I образцов, максимально отличающихся по индексу формирования I , при различной относительной площади точек растрового поля S .

Здесь число различимых уровней тона определялось по формуле (2.9.1)

Рис. 2.27в показывает, что число воспроизводимых градаций на плохой и хорошей бумагах существенно различается.

Оценим чувствительность показателя SNR_I к изменению I_{min} и σ_I .

Для этого на основании уравнения (2.9.1) возьмем производные :

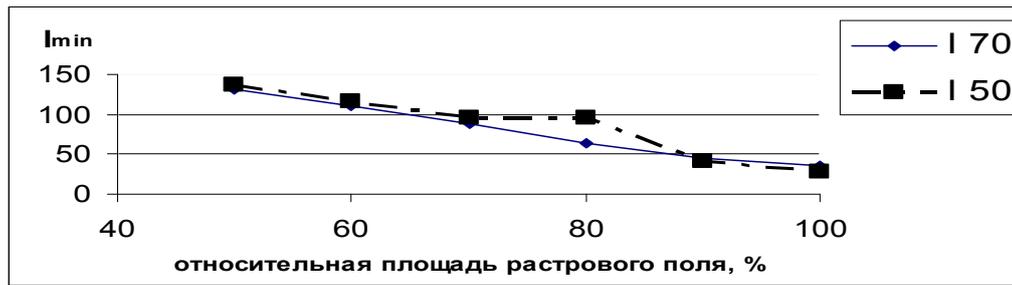
$$\frac{\partial SNR_I}{\partial \sigma_I} = - \frac{(I_{max} - I_{min})}{\sigma_I^2} \quad (2.9.2)$$

$$\frac{\partial SNR_I}{\partial I_{min}} = - \frac{1}{\sigma_I} \quad (2.9.3)$$

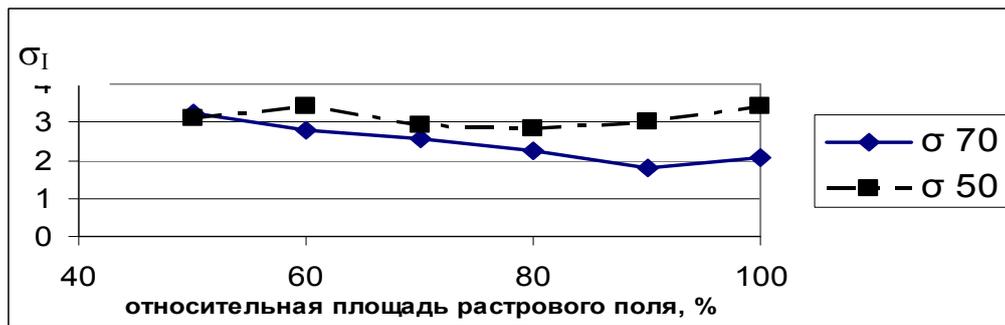
$$\frac{\partial SNR_I}{\partial I_{max}} = \frac{1}{\sigma_I} \quad (2.9.4)$$

Из уравнений (2.9.2 - 2.9.4) следует, что чувствительность оценки SNR_I к изменению σ_I существенно больше, чем к изменению I_{min} и I_{max} из-за множителя σ^2 .

а



б



в

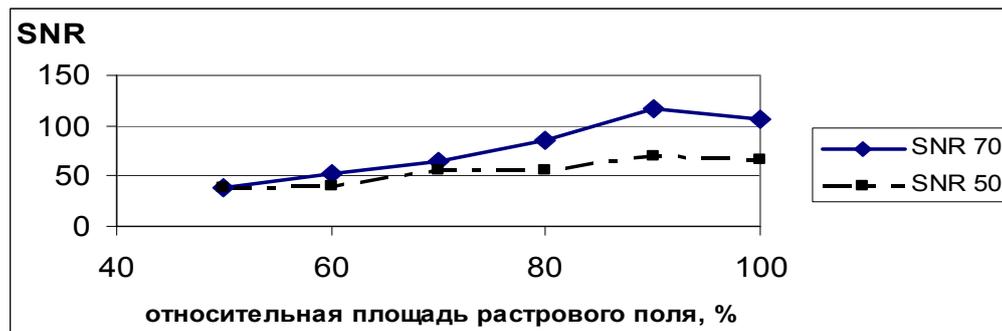


Рис. 2.27. Оценки качества оттисков: а - яркость оттисков I_{min} ; б - с.к.о.; в - SNR_I (с) число различимых уровней тона для бумаг различного качества формования при разной относительной площади растрового поля $S\%$

Это значит, что неоднородность бумаги и вызванная этим неоднородность оттиска в большей мере влияют на число различимых градаций яркости, чем потеря тона, вызванная шероховатостью или пористостью бумаги.

Отсюда следует важный вывод: для достижения печатных свойств бумаги, обеспечивающих наибольшее возможное для нее число различимых градаций яркости, необходимо первостепенное внимание уделять неоднородности ее структуры, стремясь сделать бумажное полотно более однородным.

Из рис.2.27 следует, что относительная площадь растрового поля, при которой число воспроизводимых градаций соответствует максимальному значению, составляет $\sim 90\%$.

Это близко к результатам, приведенными в п.2.6 при исследовании впитываемости краски флокулами и промоинами, где при относительной площади растрового поля $\sim 80\%$ наблюдается одинаковая яркость отражения

оттиска как на флокулах, так и на промоинах, что соответствует минимальному среднеквадратичному отклонению σ_1 на рис. 2.27 б.

Из полученных результатов следует один важный практический совет, который можно использовать при печати офисных документов, где часто требуется сопровождать текст столбчатыми графиками, круговыми диаграммами и другими подобными графическими представлениями данных. Печать указанных графических элементов даже на не очень хорошей бумаге следует производить при относительной площади растрового поля, равной $\sim(80 - 90)\%$, что обеспечит минимальную пятнистость сплошных полей.

Обобщения и выводы

1. Вопросы формования бумажного полотна в процессе производства бумаги были и продолжают оставаться предметом исследований, связанных с получением однородной по структуре, а следовательно, и по печатным свойствам бумаги. Можно констатировать, что интерес к данной проблеме существенно возрос в связи с возросшими требованиями к качеству печати, где макро- и микро-неоднородности бумаги существенно влияют на тонопередачу, проработку деталей и другие показатели качества иллюстративной компоненты, занимающей все большую долю в печатной продукции.

Проблема получения однородного бумажного полотна остается актуальной и при создании бумаг с покрытиями, поскольку получить равномерное покрытие на не однородной основе или плохо удастся или требует дополнительных расходов, что удорожает бумагу, делая менее конкурентоспособной как саму бумагу, так и печатную продукцию.

Отсутствие законченной теории процесса формования обусловлено сложностью объекта исследования и недостаточной изученностью многих сторон данного процесса. Подавляющее большинство технологических процессов в широком диапазоне обычно взаимосвязанных параметров нелинейно. Не исключение в данном случае и процесс производства бумаги. Однако результаты, приведенные в работе Смита [23], позволяют уточнить характер влияния таких основных факторов технологического процесса производства бумаги как помол, композиция, концентрация бумажной массы на неоднородность бумажного полотна, определяемую им с помощью частотного показателя $Lin-C$. Приведенные автором нелинейные характеристики заставляют пересмотреть такие укоренившиеся у технологов-бумажников представления, как «при уменьшении концентрации увеличивается подвижность волокон в массе, что приводит к большей однородности бумажного листа» или, что «при увеличении размола бумага становится более однородной» и т.п. Тем более, что подобного рода утверждения делались в прошлом на основании субъективного, «на глаз» суждения об облачности бумаги.

Основываясь на результатах Смита, следует заключить, что исследование и получение зависимостей влияния названных факторов на неоднородность бумажного полотна должно быть первым важным шагом

при изучении режимов производства бумаги на бумагоделательной машине. Это позволит обоснованно подойти как к выбору технологических режимов, так и к выбору направления изменения параметров в нужном направлении.

2. Контроль неоднородности бумаги на просвет (облачности), осуществляемый прежде субъективно, сменился объективным контролем с использованием цифровых компьютеризированных средств получения и обработки визуальной информации, так называемых систем технического зрения.

Наряду с традиционно известными и апробированными при изучении случайных полей оценками, такими как среднеквадратичное отклонение, средний размер неоднородности, корреляционная функция, исследователями бумаги были разработаны и предложены новые оценки. Можно предположить, что появление этих новых оценок было связано со стремлением получить более информативные модели влияния параметров производства бумаги на ее неоднородность.

Само по себе использование различных оценок разными авторами делает результаты их работ несопоставимыми, что является препятствием к успешному решению рассматриваемой сложной задачи. С другой стороны не ясно, насколько новые оценки эффективнее, информативнее традиционных, поскольку ни в одной из работ не представлено какого-либо обоснования целесообразности их применения.

Анализ оценок, выявление из них лучших - одна из задач проведенного исследования. Формальной процедуры для выбора оценок не существует. В работе за основу были приняты следующие желательные качества оценок :

- содержательность, информативность (компетентность);
- хорошая корреляция с исследуемым объектом;
- компактность, удобство для расчетов;
- наглядность в интерпретации результатов;
- простота и дешевизна в технической реализации.

Поскольку традиционные оценки неоднократно проверены при изучении случайных полей, достаточно просты и наглядны, внимание было обращено на новые оценки.

К таким оценкам были отнесены в первую очередь индекс формования и удельный периметр, используемые многими фирмами для оценки соответственно интенсивности и масштаба неоднородности.

Для проведения анализа оценок была использована система технического зрения, созданная под руководством автора и позволяющая получать все из перечисленных выше оценок неоднородности бумажного полотна.

Сравнительный анализ результатов исследований показал как достаточно сильную корреляцию (почти функциональную зависимость) между среднеквадратичным отклонением и индексом формования, так и сильную корреляцию между размером неоднородности и удельным периметром.

Как показали проведенные исследования индекса формования, он нелинеен в диапазоне измеряемых значений. Причем его чувствительность гораздо меньше на границах возможных значений измеряемой интенсивности неоднородности бумаги, чем при ее малых значениях. Отсюда неизбежное искажение результатов при попытках получения линейных моделей влияния параметров процесса производства бумаги на облачность. Таким образом «новый» показатель неоднородности по информативности оказался не лучше, а по нелинейности характеристики хуже с.к.о.

Удельный периметр математически не обоснован, не обладает наглядностью при характеристике масштаба неоднородности, не более информативен, чем средний размер неоднородности.

Данные новые показатели, математически не сформулированные и не записанные, не имеют перспективы быть использованными в аналитических исследованиях, как традиционные показатели. Они реализуются на дорогостоящих системах телевизионного зрения, что повышает себестоимость бумаги и следовательно стоимость печатной продукции, тем самым снижая их конкурентоспособность.

3. При исследовании процессов наряду с временными используются так называемые частотные методы. Такие методы нашли применение при решении многих практических задач, в том числе в бумажном производстве и полиграфии. В бумажном производстве они позволяют решать задачи диагностики работы оборудования, в полиграфии служат при исследовании вопросов качества печати.

В этой связи появление частотных показателей неоднородности бумажного полотна представляется естественным продолжением применения данных методов. Однако общим недостатком в задачах, подобных оценке качества бумаги, является сложность интерпретации получаемых результатов с точки зрения решаемой задачи. В данном случае частотные оценки $Lin-C$ и $NLin-C$ не дают информации о масштабе неоднородности и ее интенсивности порознь. Сами характеристики безразмерны, т.е. не имеют конкретной привязки к исследуемому объекту и потому не несут в себе наглядности в интерпретации, что важно при применении любых оценок в производственных условиях.

С учетом отмеченного, не исключая перспективность применения частотных методов в исследовании рассматриваемых задач, следует признать данные оценки менее перспективными, чем традиционные оценки.

То же можно сказать и о фрактальных оценках. К настоящему времени видимых результатов применения таких оценок в вопросах бумажного производства не имеется, хотя использование подходов зарождающейся науки о фракталах в других областях указывает на их перспективность.

4. При оценке неоднородности оттисков в полиграфии применяются стандартизованные оценки их микро- и макронеоднородности. В этих оценках находит отражение стремления полиграфистов охарактеризовать такие различные по масштабу дефекты как зернистость и пятнистость.

Если первой из оценок нет аналогов в бумажном производстве, то вторая оценка (пятнистость) по смыслу коррелирует с оценками облачности, хотя и определяется по отличной от них методике.

Такое положение нельзя признать удовлетворительным. Исследуя вопросы влияния неоднородности бумаги на неоднородность оттисков, следует учитывать, что в данном случае одна структура порождает другую, и логично использовать одну и ту же оценку.

Вместе с тем, необходимо осознать, что какие бы исследования свойств печатных бумаг не производились, они должны быть соотнесены с главной задачей – получением требуемого качества печати. А это значит, что любой из стандартов на то или иное качество бумаги должен быть согласован с требованиями и стандартами полиграфии. Такой системный подход к оценке печатных свойств бумаг в настоящее время не применяется.

5. Исследованию влияния неоднородности бумаги на неоднородность печати с использованием рассмотренных выше оценок облачности посвящено достаточно большое количество работ. На настоящее время здесь можно подвести итоги. Объяснить неоднородность оттиска как вызванную лишь облачностью бумаги не удалось. Возможность получить такую зависимость с привлечением показателей пористости, шероховатости и т.п. показателей качества бумаги проблематично, поскольку надежность многих оценок качества бумаги (например, пористости, шероховатости) остается под вопросом. Являясь косвенно определяемыми, промежуточными оценками в системе «производство бумаги – печать», они не в состоянии охарактеризовать свойства бумаги настолько содержательно, чтобы предсказывать поведение бумаги в печатном процессе.

6. Исследования, проведенные автором на офсетных бумагах одного вида, но различных производителей, при одних и тех же параметрах офсетного печатного процесса и краске показали существенное влияние неоднородности бумажного полотна на такой показатель качества печати как цветовое различие (ΔE). Данный показатель стандартизован. С его помощью ставятся требования к качеству иллюстрационной печати. Полученные регрессионные модели зависимости ΔE от индекса формования (I) позволяют достаточно надежно ($R^2 > 0,93$) предсказывать ΔE по I .

Однако, по мнению автора, несмотря на хорошие результаты, учитывая результаты других авторов и собственные, следует заключить, что этот случай скорее исключение, чем правило, возможно объясняющееся одинаковой рецептурой бумаг.

Тем не менее, в данном случае важен примененный подход к исследованию печатных свойств бумаг. Несмотря на отсутствие стандартов на облачность бумаг, был использован существующий, более важный с точки зрения конечного результата, такой стандартизованный показатель как цветовое различие ΔE . Его использование позволило разделить бумаги по индексу формования. Фактически это означало введение требования к показателю неоднородности, исходя из требований иллюстрационной печати. При возможном введении стандарта на облачность бумаги или другие

показатели качества бумаги такой системный подход представляется достаточно обоснованным и продуктивным.

7. Информационный подход к оценке печатных свойств бумаг состоит в исследовании влияния на число различимых градаций яркости оттиска (SNR_I) взаимодействия бумаги и краски в процессе печати. Число различимых градаций яркости можно рассматривать как комплексный показатель, учитывающий и подложку-бумагу (ее белизну), и влияние шероховатости и пористости бумаги на впитываемости краски, проявляющееся в потере тона оттиска, и влияние неоднородности бумаги на пятнистость оттисков. Выражение для SNR_I определяется по трем названным выше составляющим и изменение каждой из них влияет на комплексную оценку SNR_I .

Имея оценки SNR_I для различных образцов бумаг и сравнивая их, можно проанализировать, чем обусловлено их различие, т.е. пойти в исследовании от конечного результата к причинам его вызвавшим, т.е. провести целенаправленный поиск причин ухудшения или улучшения качества печати, связанного с печатными свойствами бумаги.

Наличие такого комплексного показателя, объективно определяемого на основе измерений трех показателей качества оттиска, перспективно, особенно в современных цифровых видах печати.

В результате проведенных исследований была выявлена определенная закономерность в поведении SNR_I для полей с относительной площадью растровых точек в районе 80-90%. Здесь величина показателя SNR_I оказывается максимальной для любого образца бумаги в основном за счет уменьшения среднеквадратичного отклонения колебаний яркости растрового поля (σ_I). Такое поведение бумаги было выявлено автором при исследовании особенностей впитывания краски флокулами и промоинами. Совпадение результатов различных подходов к исследованию печатных свойств бумаг подтверждает правильность логики поиска решений такой непростой задачи как улучшение печатных свойств бумаг и качества печати в системе «бумага – краска – оттиск».

На практике данный результат может быть использован в офисной печати в виде рекомендации печатать различные диаграммы с заливками типа столбчатых и круговых с относительной площадью растровых точек 80-90%, что позволит избежать пятнистости даже на менее качественных, но более дешевых бумагах, практически не потеряв в тоне сплошных полей.

8. Проведенное исследование впитывания краски такими структурными элементами бумажного полотна как флокулы и промоины показало их различное поведение при разных относительных площадях растровых полей. Сопоставление яркости каждой точки образцов бумаг на просвет с яркостью этих же точек на отражение дало после статистической обработки регрессионные зависимости между сопоставляемыми величинами высокой степени достоверности ($R^2 > 0.9$). Исследование регрессионных зависимостей для различных по относительной площади растровых полей от 10% до 100% показало различную впитываемость краски флокулами и промоинами, что

нашло отражение в изменении коэффициент наклона данных зависимостей от отрицательных значений при 90 -100% до положительных при 80 – 10%.

На основе полученных результатов дано не только объяснение подобного поведения флокул и промоин, но и способ повышения качества печати с использованием современных цифровых технологий даже на бумагах с повышенной облачностью.

Вместе с тем, данное исследование позволяет обратить внимание на необходимость оценивать качество бумаг не только по сплошным заливкам, как это имеет место в настоящее время, но и по другим растровым полям.

При этом можно ориентироваться на то, что равенство коэффициента уравнения регрессии нулю соответствует хорошему качеству бумаги и оттиска, а чем больше отличие данного коэффициента от нуля, тем бумага хуже.

Глава 3. Трехмерная модель структуры бумажного полотна

3.1. Метод эквивалентных структур в задаче описания случайных полей

Как следует из предыдущего анализа, оценка облачности проводится разными авторами, с использованием предложенных ими разнообразных количественных оценок.

В таких оценках находят отражение два параметра этой неоднородности: ее масштаб и амплитуда колебаний яркости точек бумажного листа в проходящем свете.

Традиционные статистические оценки, такие как среднеквадратичное отклонение (с.к.о.) и средний размер неоднородности обобщенно характеризуют неоднородную структуру бумаги. В то же время, исследуя вопросы формирования полотна и удержания компонентов бумажной массы на сеточном столе, было бы желательно иметь более подробную информацию о флокулах и промоинах в виде трехмерной пространственной модели с деталями этих структурных элементов бумажного полотна. Учитывая возможности современной компьютерной техники, такую информацию следовало бы представлять визуально, поскольку оперирование с наглядными образами исследуемого объекта может помочь в решении такой сложной задачи, как задача формирования бумажного полотна.

Поскольку пятнистость оттисков – структура, порождаемая неоднородной структурой бумаги, это позволило бы оперировать и со зрительными образами пятнистости оттисков, соотнести их с образами порождающей их неоднородной структуры бумаги и делать на этой основе определенные выводы о взаимодействии бумаги и краски в печатном процессе.

В настоящее время при решении столь сложных задач находят все большее применение так называемые «экспертные системы», строящиеся на основании обработки мнений специалистов. В формировании таких мнений не последнюю роль могут выполнить графические образы исследуемых объектов.

Ниже рассматривается новый подход к описанию случайного поля, которым является бумажное полотно, с целью дать более детальную, объективную и наглядную его модель, полезную для изучения как вопросов формирования бумажного полотна, так и вопросов пятнистости оттисков.

Пусть, описывая случайную стационарную, эргодическую функцию типа, представленного на рис.3.1, получаем её статистические характеристики, такие как математическое ожидание, с.к.о., корреляционную функцию и т.п. Эти характеристики – обобщенное представление – «сжатая» информация о случайной функции.

На рис.3.1,а дана картина бумажного полотна в проходящем свете, а на рис.3.1,б - график изменения яркости бумажного полотна в проходящем свете, полученный при сканировании.

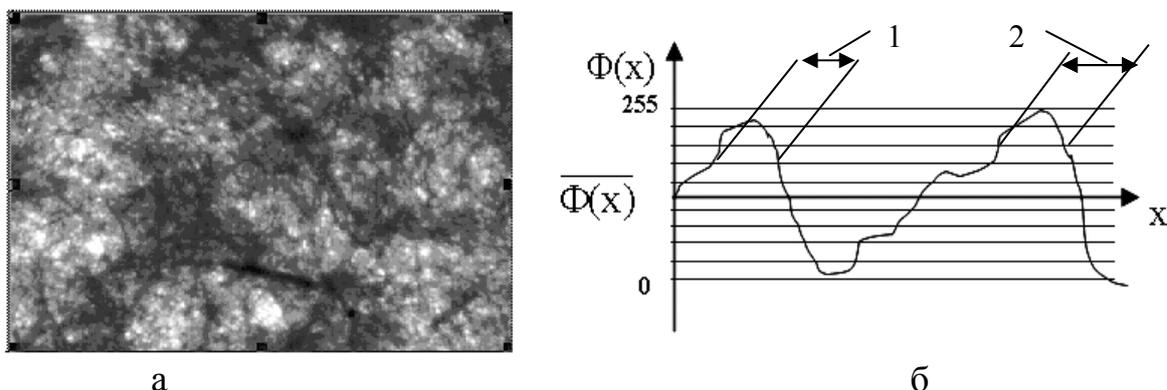


Рис.3.1. Результаты сканирования: а - бумага в проходящем свете ; б - яркость точек $\Phi(x)$ относительно их положения x на линии сканирования; $\overline{\Phi(x)}$ - среднее значение $\Phi(x)$; 1 и 2 – срезы функции $\Phi(x)$ на определенном уровне яркости; 0...255 – градации яркости

По полученным характеристикам можно представить обобщенный образ случайной функции другим способом: одной из регулярных зависимостей вида а, б или в, показанных на рис.3.2.

Для описания неоднородности бумажного полотна выберем функцию б. Далее определим среднестатистические оценки для размеров срезов реальной случайной функции на каждом из уровней яркости (1 и 2 на рис.3.1). В целом это даст сведения о данной случайной функции, которые могут быть представлены графически, в большинстве случаев уже не в виде симметричной функции.

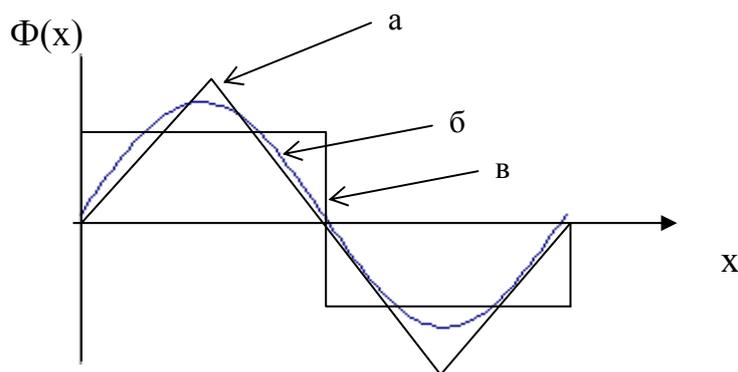


Рис.3.2 Регулярные функции

В случае трехмерного поля, каким является бумажное полотно (рис. 3.3), при рассмотрении неоднородности распределения его массы возможны три варианта регулярных структур, способных заполнить пространство. Таковыми могут быть треугольные, четырехугольные или гексагональные пирамиды (рис.3.4). Две из них: четырехугольная и гексагональная структуры - более подходят для описания, чем первая.

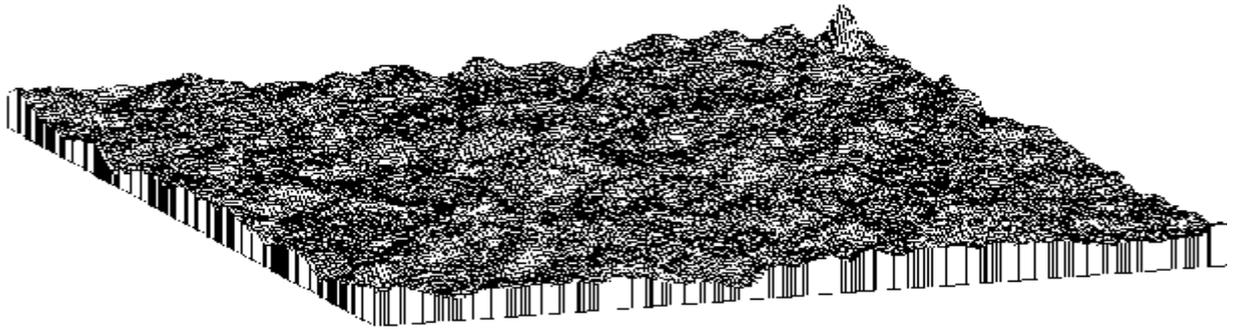


Рис.3.3. Изображение поверхности образца бумаги, полученное при сканировании в проходящем свете

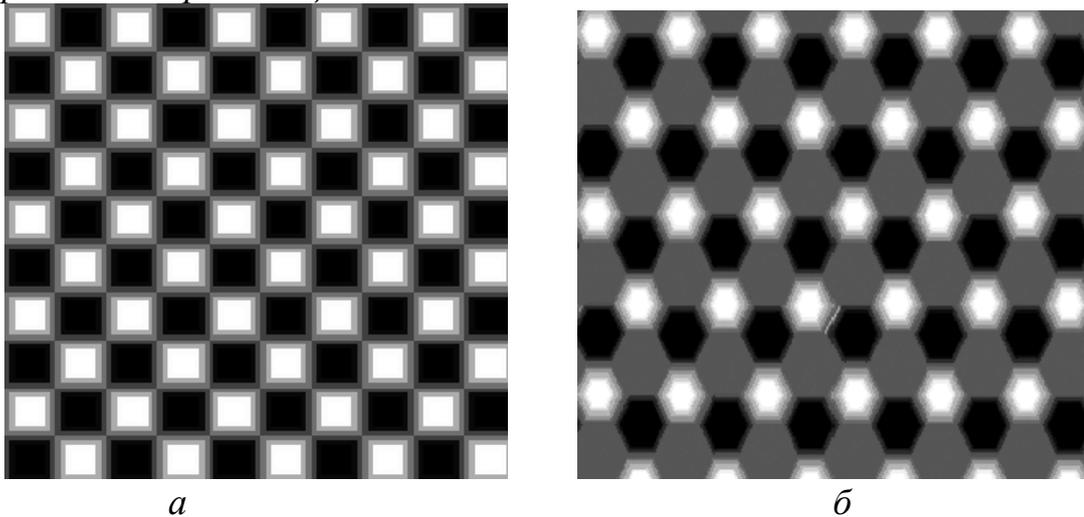


Рис. 3.4. Регулярные пространственные структуры (вид сверху): а – четырехугольные пирамиды; б – гексагональные пирамиды

На рис .3.5 дан поперечный срез пирамиды для случая рис. 3.4,а.

Левая пирамида - с большими значениями яркости, соответствует промоинам, а правая – с меньшими значениями яркости, соответствует флокулам.

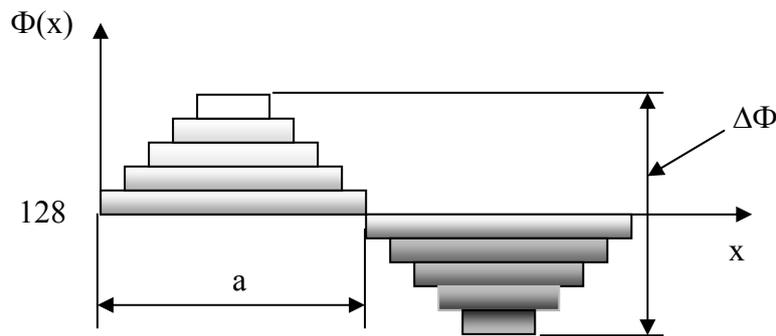


Рис.3.5. Модель пирамид (вид сбоку), соответствующих рис.3.4,а: а – основание пирамиды, 128 – среднее значение градаций яркости $\Phi(x)$

Распространение рассмотренного выше метода на трехмерные пространственные функции заключается в том, чтобы по срезам случайного поля находить эквивалентные ему ступени пирамид.

Для решения задачи требуется:

- 1) разработать математическое описание для пирамид с четырехугольным основанием;
- 2) получить обобщенные оценки и графические образы пирамид на основе среднестатистических оценок размеров срезов случайных функций.

3.2. Функция рельефа как модель структуры бумаги

Ниже рассматривается новый способ описания неоднородности бумажного полотна с помощью функции, названной функцией рельефа.

Основой служит информация, получаемая с помощью системы технического зрения.

Свет от источника проходит через бумажный лист размером 100x100 мм и попадает на фоточувствительную матрицу ПЗС камеры. Получаемое изображение кодируется как полутоновое с градациями яркости от 0 до 255. Таким образом в памяти компьютера записывается трехмерное изображение бумажного листа в проходящем свете (рис.3.1,а).

Бинарный срез, наподобие показанного на рис.3.6, где темные участки соответствуют участкам с уровнем градации, меньшим k , а светлые – с уровнем, большим k , рассматривается для каждой из градаций яркости $k = 0,1,2...255$. Для каждого такого среза площадь образца разбивается на ячейки, как показано на рис.3.6, т.е. подвергается пространственной дискретизации с различной частотой.

На первом шаге эта частота максимальна, т.е. берутся ячейки размером 0,2x0,2 мм бумажного листа, что дает, с учетом его размера, 500x500 отсчетов. На последующих шагах производится разбивка на ячейки больших размеров: 2x2, 3x3 и т.д. до 25x25 исходных отсчетов.

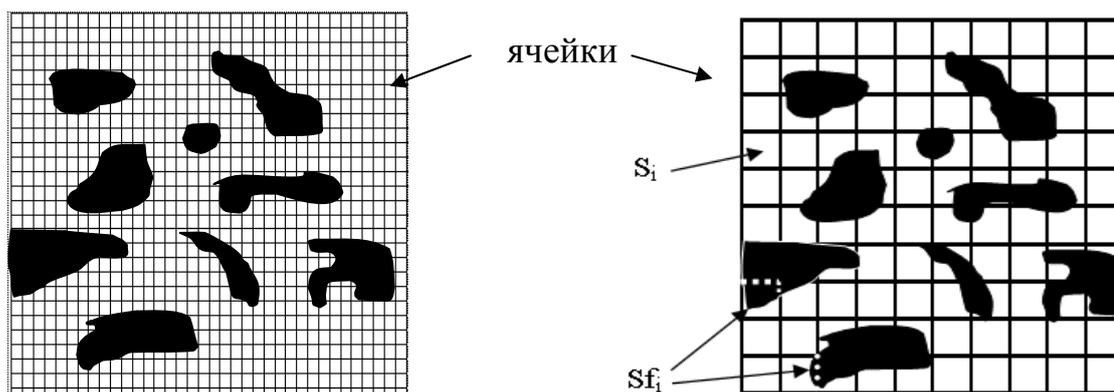


Рис.3.6. Бинарный срез функции яркости точек $\Phi(x)$ образца бумаги на фоне разных по частоте решеток дискретизации его изображения

Для каждого варианта $i = 1,2 \dots 25$ рассчитывается величина d_{ik} по формуле

$$d_{ik} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_i} [(S_{f_i} / S_i) - (S_f / S)]^2}{N_i - 1}}, \quad (3.2.1)$$

где S – площадь всего образца;
 S_f – площадь, занимаемая срезами флокул;
 S_i – площадь i -й ячейки;
 S_{fi} – площадь, занимаемая срезом флокулы в i -й ячейке;
число ячеек $N_i = \text{целое}(500/i)^2$, где функция целое() округляет число до ближайшего меньшего целого.

Пример одного из вариантов для значений d_{ik} отображен на рис.3.7 с помощью маркеров. По этим значениям находится аппроксимирующая функция $D_k = d_{1k} \exp(-(i-1)/a_k)$, где a_k – величина, которая определяется на пересечении касательной, проведенной к точке $(1, d_{1k})$, с осью абсцисс, а d_{1k} – значение d_{ik} при $i = 1$ для k -го среза.

Вид аппроксимирующей функции для различных срезов $k = 0, 1, 2, \dots, 255$ экспоненциальный, с параметрами d_{1k} и a_k (сплошная линия на рис.3.7). При этом, чем меньше размер флокул, тем быстрее данная функция затухает. Далее по полученным значениям a_k рассчитываются обратные величины $\varphi_k = 1/a_k$.

После нахождения значения φ_k для каждого из 256 срезов, по ним строится функция, названная функцией рельефа бумажного листа Ψ .

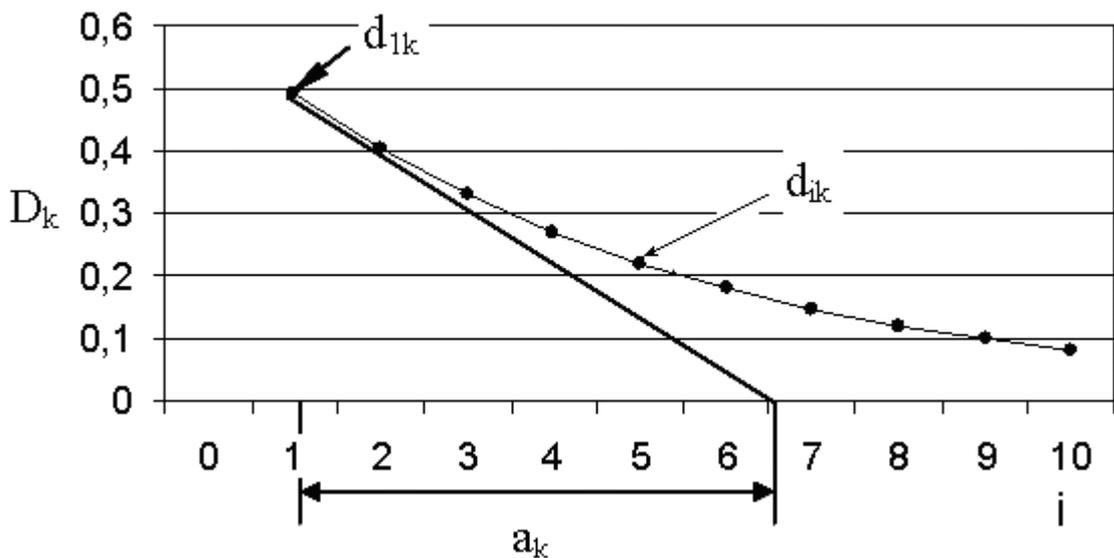


Рис.3.7. Функция D_k для k -го слоя

На рис.3.8 приведена функция рельефа, полученная с помощью системы технического зрения для офсетной бумаги. Как следует из рисунка, данная зависимость близка к параболе, ордината основания которой φ_{128} (при уровне яркости 128) определяет собой масштаб неоднородности, а диапазон градаций яркости $70 \div 170$ – разброс яркости точек бумажного полотна в проходящем свете.

Для получения модели функции рельефа было проведено моделирование пространственных структур, представляющих собой пирамиды, расположенные в шахматном порядке. Среднее значение яркости точек принималось равным 128, флокулам соответствовали пирамиды с

меньшей яркостью, промоинам – с большей. Моделировались пирамиды с разными основаниями и величиной ступеней.

Вместе с тем по такому же принципу моделировались и гексагональные структуры, показанные на рис.3.4,б, что позволило исследовать две из возможных регулярных структур, способных заполнять плоскость листа.

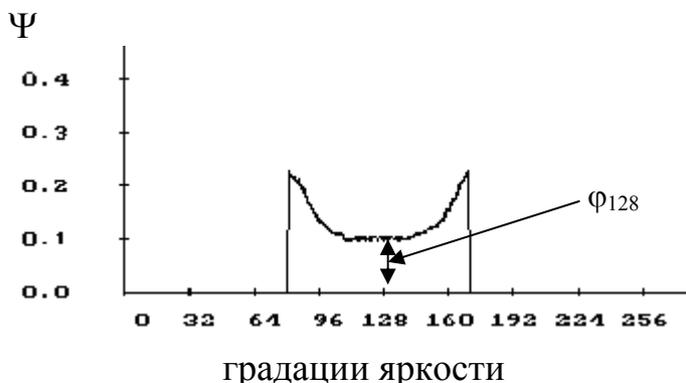


Рис.3.8. Функция рельефа, полученная для образца офсетной бумаги

Функции рельефа для шахматного расположения пирамид были аппроксимированы параболой (рис.3.9). Как следует из рисунка, большим в основании пирамидам (большому масштабу неоднородности) соответствуют параболы с меньшим значением φ_0 (индекс «0» соответствует здесь индексу «128» в предыдущем рассмотрении), так как $\varphi_0 = 1/a$, где a – размер стороны основания пирамиды. Большим же по высоте пирамидам соответствуют параболы с большим значением разности $\Delta\Phi = \Phi - 128$, т.е. большим размахом амплитуды колебания яркости точек моделируемого рельефа.

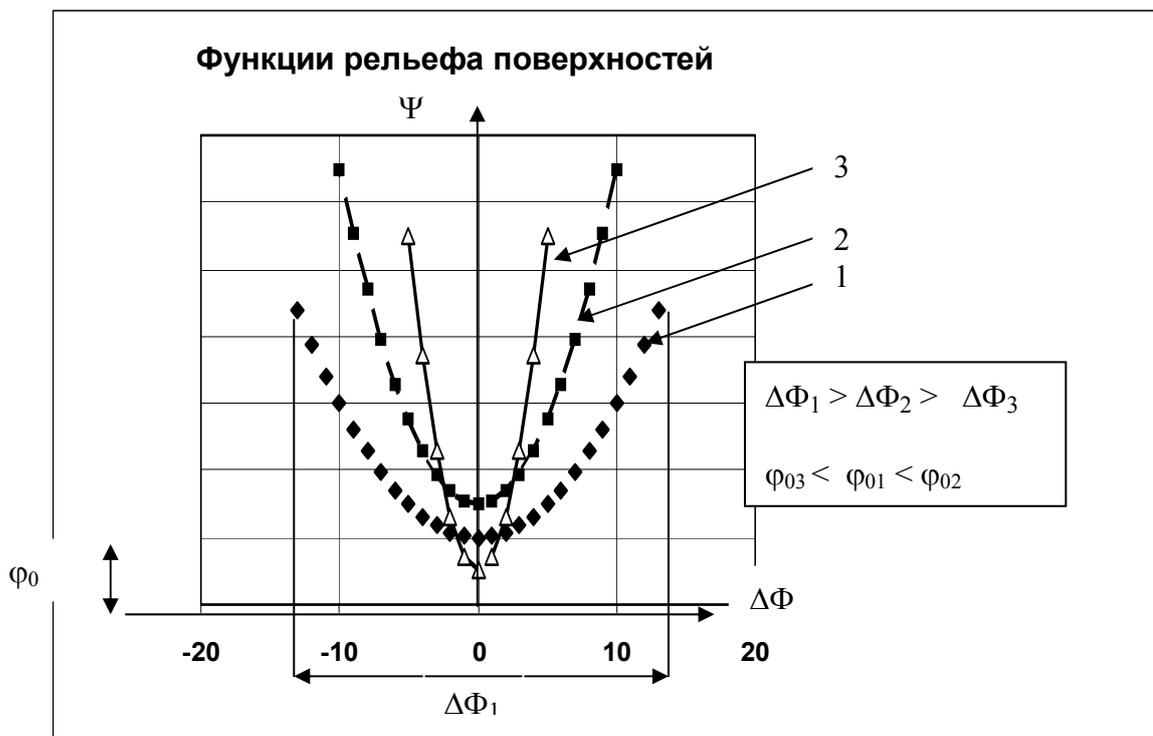


Рис.3.9. Функции рельефа для пирамид разных высот и оснований

В данном случае выражение для функции рельефа поверхности может быть представлено в виде:

$$\Psi = v \cdot \Delta\Phi^2 + \varphi_0 . \quad (3.2.2)$$

Важно отметить, что наряду с известными преимуществами, которые дает применение компактного аналитического описания исследуемого явления или объекта, использование данной функции позволяет решать обратную задачу: реконструировать по полученной функции рельефа рельеф реальных бумаг и выразить его параметры в наглядном и понятном для интерпретации виде, т.е. в виде пирамид с соответствующими параметрами.

Следует также отметить, что при моделировании гексагональных структур имели место аналогичные параболические зависимости, но с более пологими вершинам.

Поворот моделей в плоскости основания не менял параметров функции рельефа, что указывает на ее инвариантность по отношению к ориентации листа. Функции рельефа при исследовании реальных бумаг были не обязательно симметричными. Варианты таких функций показаны на рис.3.10 и в п.3.4.

На рис.3.10 показаны графические модели рельефа для шахматного порядка расположения пирамид, а на рис.3.11 – графики соответствующих им функций рельефа.

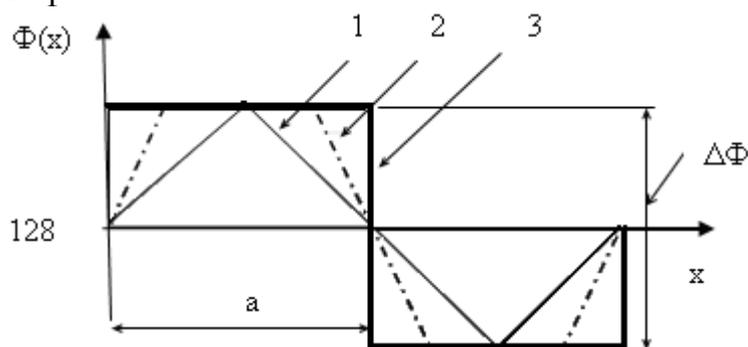


Рис.3.10. Модели рельефа: 1 – пирамиды, 2 – усеченные пирамиды, 3 – кубы



Рис.3.11. Функции рельефа для соответствующих моделей рис.3.10

Чем более плоской является вершина фигуры (рис.3.10), тем меньше крутизна вершин парабол (меньше коэффициент v в уравнении (3.2.2)), а размер основания моделей a определяет собой ординату вершины параболы $1/a$ на рис.3.11.

Как показали исследования автора, симметричность относительно среднего значения яркости $\overline{\Phi(x)}$, имеющая место для моделей (рис.3.5 и рис.3.10), лишь один из вариантов в случае реальных бумаг. Чаще наблюдается несимметричность функций рельефа.

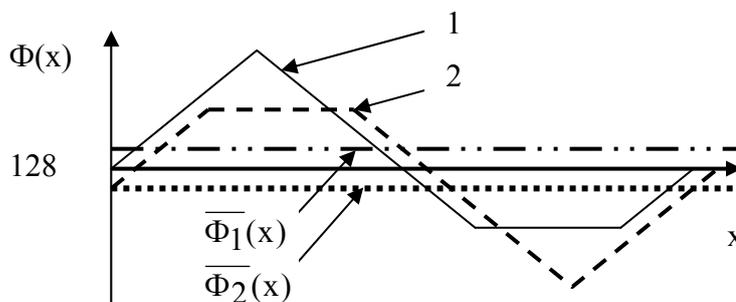


Рис.3.12. Несимметричные модели рельефа: 1 – острая промоина, плоская флоккула, 2 – плоская промоина, острая флоккула

Пример асимметричных моделей дан на рис.3.12, 3.14. На рис.3.13 показаны соответствующие функции рельефа, которые имеют неодинаковые ветви парабол, что отражает факт асимметричности исходных моделей. Следует отметить, что математические ожидания $\overline{\Phi_1(x)}$ и $\overline{\Phi_2(x)}$ отличаются друг от друга, в то время как вершины парабол совпадают (рис.3.13).

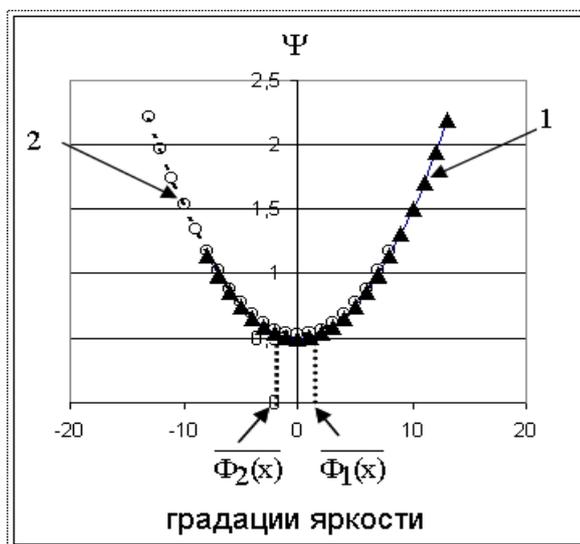


Рис. 3.13. Функции рельефа для соответствующих моделей на рис.3.12

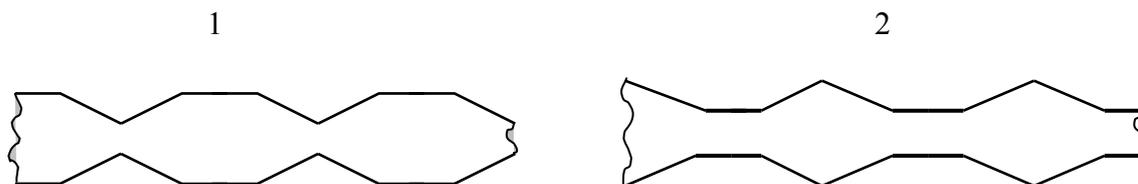


Рис. 3.14. Эквивалентные модели рельефа бумажного листа, соответствующие моделям рис.3.12 и рис. 3.13

Еще один из вариантов функции рельефа показан на рис 3.15.

Здесь левая и правая ветви параболы имеют разные коэффициенты ν по уравнению (3.2.2), что находит отражение в асимметричности модели (б).

Следует указать на одну немаловажную сторону полученных моделей для исследования облачности. И функция рельефа, и реконструированная по ней графическая модель бумажного листа в виде флокул и промоин позволяют воспользоваться идеями когнитивной графики для исследования влияния параметров технологического процесса производства бумаги на облачность.

Поскольку процесс формования еще недостаточно изучен, наглядные образы могут помочь и исследователю, и оператору бумагоделательной машины. Так, например, анализируя модели 1 и 2 рис.3.14, оператор может исследовать, почему в случае 1 имеются более острые промоины и как это связано с обезвоживанием массы на сеточном столе, с уносом волокон в подсеточную ванну, как повлияет на рельеф изменение концентрации и/или помола массы и т.п.

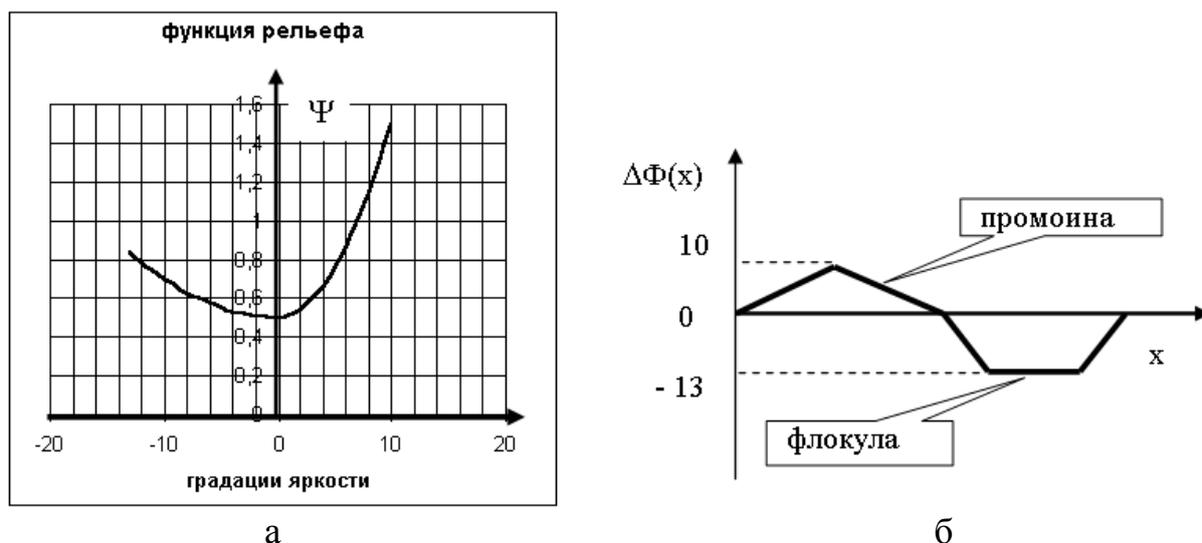


Рис.3.15. Функция рельефа (а) и соответствующая модель рельефа (б)

Необходимо заметить, исследуя бумаги для печати, что заключение о том, какие параметры неоднородности удовлетворительны для конкретного вида печати, должно вырабатываться совместно бумажниками и печатниками. Анализ связи параметров облачности и параметров печатного оттиска позволит сформировать требования к значениям параметров неоднородности бумаги, удовлетворительным для конкретных видов печати.

Наряду с функцией рельефа Ψ в задачах управления процессами формования бумажного полотна может быть использована и обратная ей функция $1/\Psi$. Примеры таких функций показаны на рис.3.16. Здесь функция 1 соответствует флокулам и промоинам с размером основания $a = 2,8$ и $\Delta\Phi \approx 4$, а функция 2 – флокулам и промоинам с $a = 2$ и $\Delta\Phi \approx 16$. В качестве цели, к которой следует стремиться, следует принять функцию с возможно

меньшими значениями a и $\Delta\Phi$. Как следует из рис.3.16 этому будет соответствовать минимум интеграла L , равного

$$L = \int_{-128}^{128} 1/\Psi d\Delta\Phi \quad (3.2.3)$$



Рис.3.16. Обратная функция рельефа

Данный интеграл может служить критерием оптимизации (целевым функционалом) при разработке системы управления процессом формования бумажного полотна.

Подводя итог, можно заключить, что предлагаемая функция рельефа обладает содержательностью, информативностью и наглядностью в интерпретации неоднородного случайного поля и может быть полезна в решении сложных вопросов формования однородного бумажного полотна, оценки облачности и исследовании ее влияния на качество оттисков.

3.3. Алгоритм вычисления оценок неоднородности бумажного полотна

Рассмотрим более подробно реализацию процесса определения эквивалентных пирамид.

В табл. 3.1 даны значения величин T ($T = a_k$ на рис.3.7) и соответствующие значения величин размеров сторон основания пирамид S .

Таблица 3.1

Величины T ($T = a_k$ на рис.3.7) и S - сторона основания пирамид

T	15	22,5	32	36,5	38	40	42,5	45	53,5	60	77,5
S	10	14	20	24	25	26	28	30	35	40	50

На рис.3.17 показана полученная по табличным данным регрессионная зависимость между S и T . Пользуясь данной зависимостью (практически функциональной), можно решать обратную задачу: по смоделированному изображению пирамиды восстановить (реконструировать) ее исходные параметры.

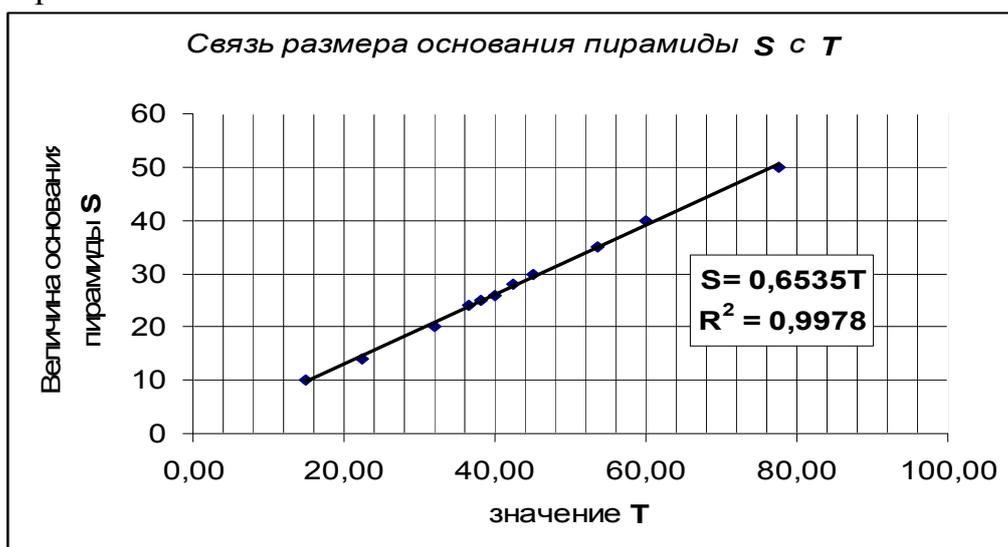


Рис.3.17. Связь размера стороны основания пирамиды S и T

Определив T , находим размер основания пирамиды S по формуле

$$S = 0,6535 \cdot T. \quad (3.3.1)$$

В качестве примера в табл.3.2 даны значения d_{1i} и S_i для размера стороны основания пирамиды $S = 40$.

Таблица 3.2

Значения d_{1i} и S_i для $S = 40$

d_{1i}	0,07	0,14	0,21	0,27	0,33	0,38	0,43	0,46	0,49
S_i	4	8	12	16	20	24	28	32	36

Зависимость S_i от d_{1i} аппроксимировалась для пирамид с различными сторонами основания квадратичной зависимостью вида

$$S_i = A \cdot (d_{1i})^2 + B \cdot d_{1i}. \quad (3.3.2)$$

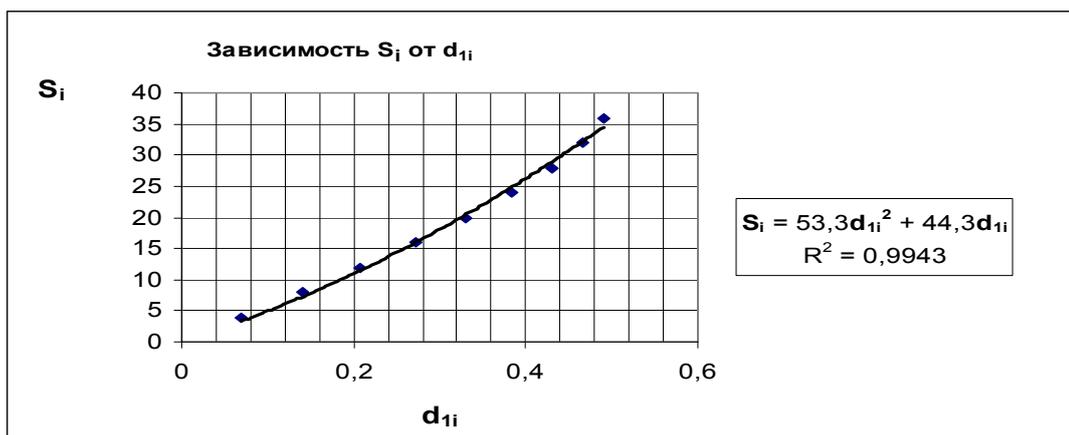


Рис.3.18. Зависимость величины стороны основания срезов пирамиды S_i от d_{1i}

На рис.3.18 дан пример подобной зависимости и квадратичного тренда для пирамиды с основанием 40.

Далее были получены зависимости коэффициентов A (для $S=40$ $A=53,3$) и B (для $S=40$ $B=44,3$) для пирамид с различным основанием (рис.3.19).

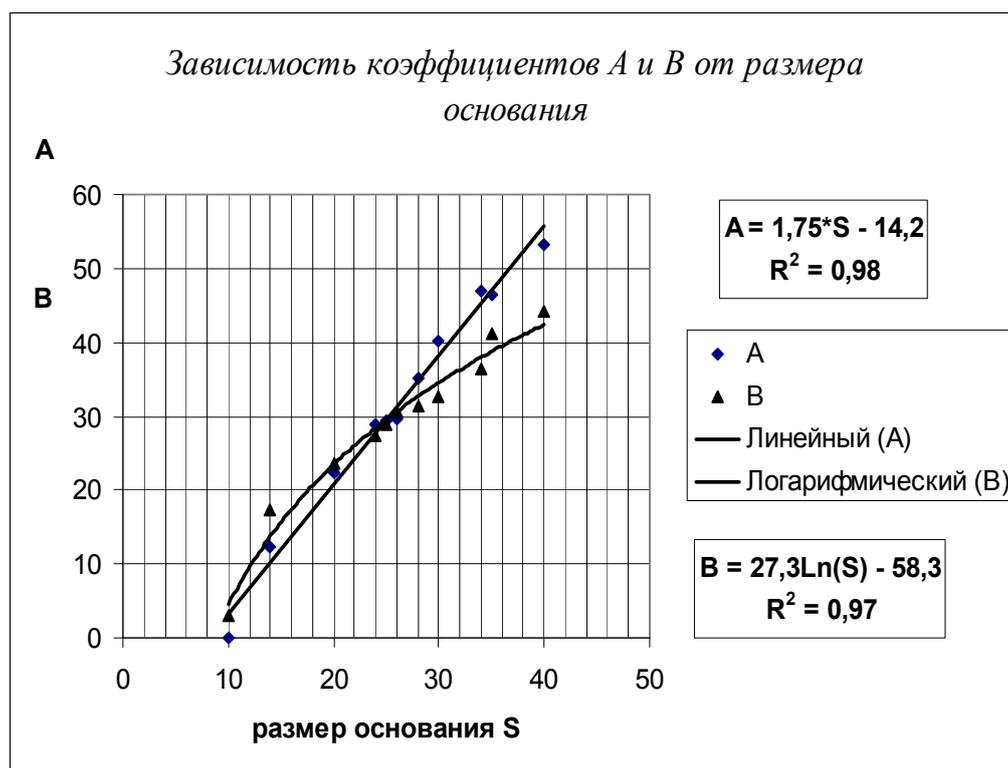


Рис.3.19. Определение коэффициентов A и B для вычисления величин сторон срезов пирамид с различным основанием S

Нахождение параметров пирамиды по ее изображению осуществлялось по нижеследующему алгоритму (рис.3.20).

В качестве контрольных примеров были промоделированы пирамиды с различными основаниями.

Далее полученные изображения пирамид обрабатывались по приведенному ниже алгоритму, т.е. осуществлялась реконструкция исходных пирамид.

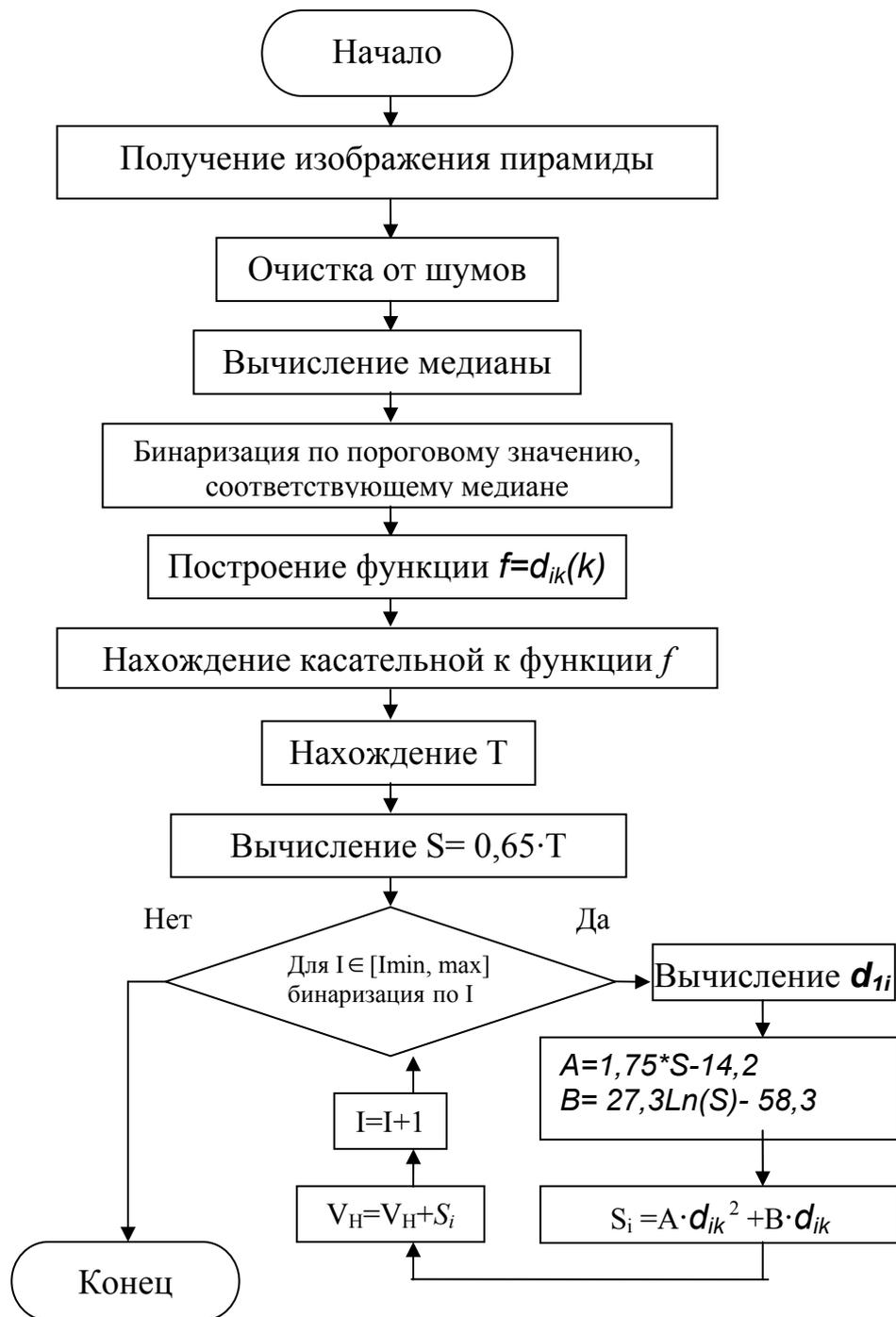


Рис.3.20. Алгоритм определения размеров срезов пирамид

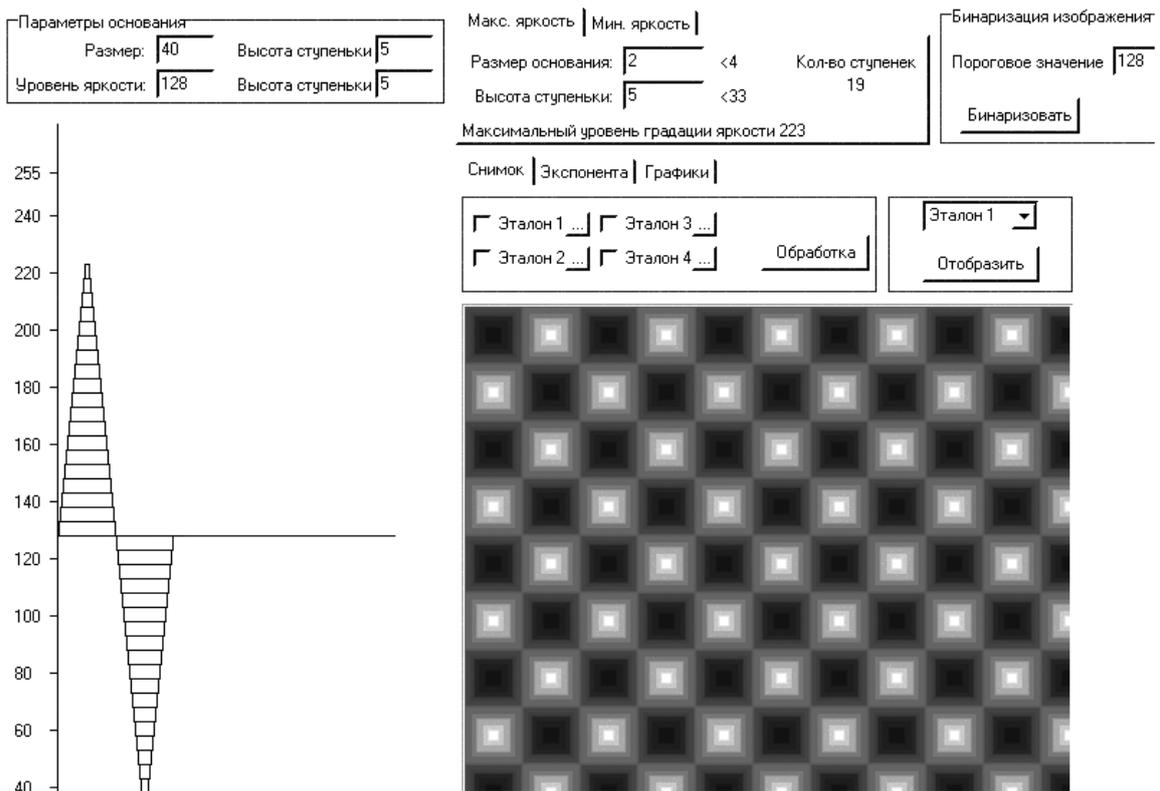


Рис.3.21 Ввод данных и построение пирамиды

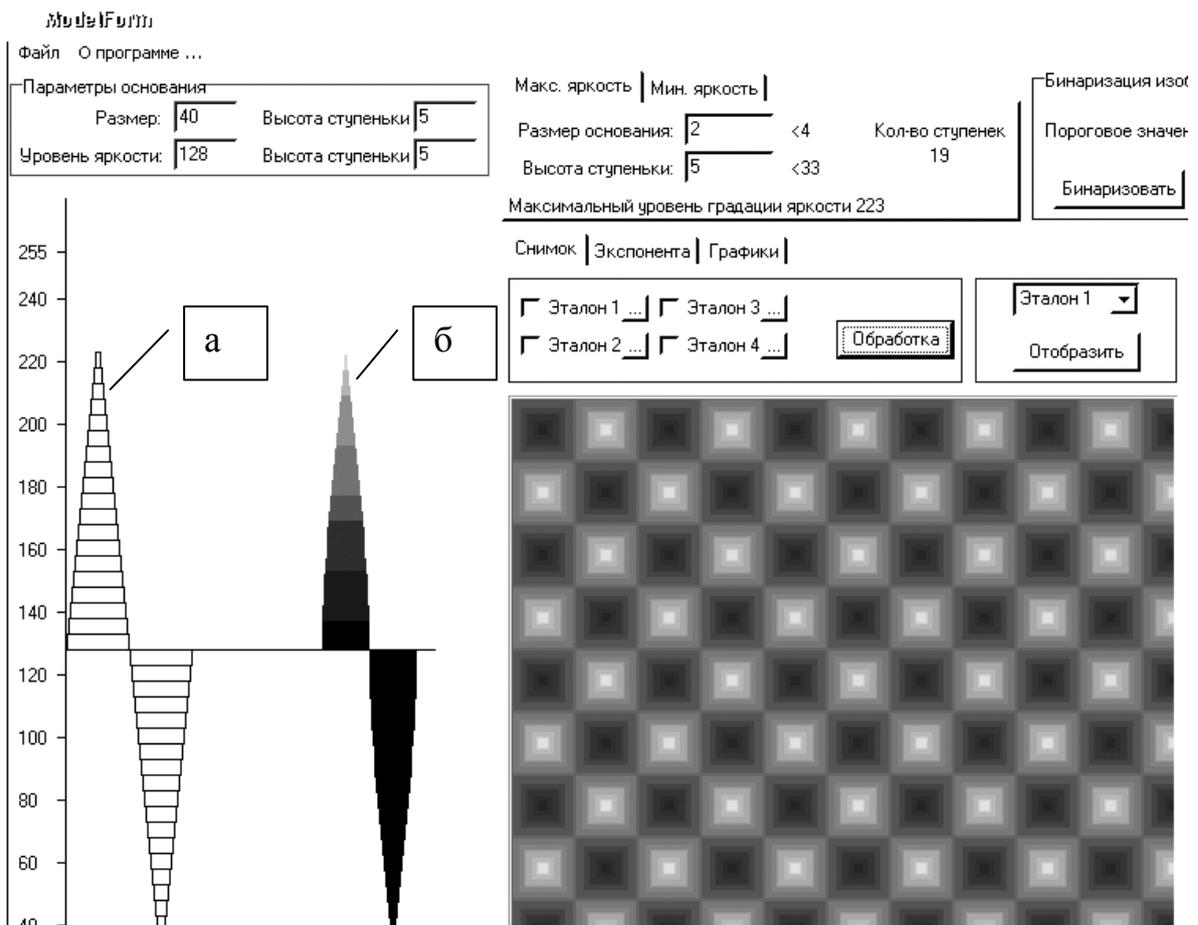


Рис.3.22. Результат реконструкции (б) пирамиды (а)

Погрешность расчетов, т.е. разница между исходной и реконструированной пирамидами не превышала 5%. Пример таких расчетов представлен на рис.3.21 и 3.22.

На рис.3.23 – 3.26 даны графики для двух бумаг, различных по неоднородности на просвет.

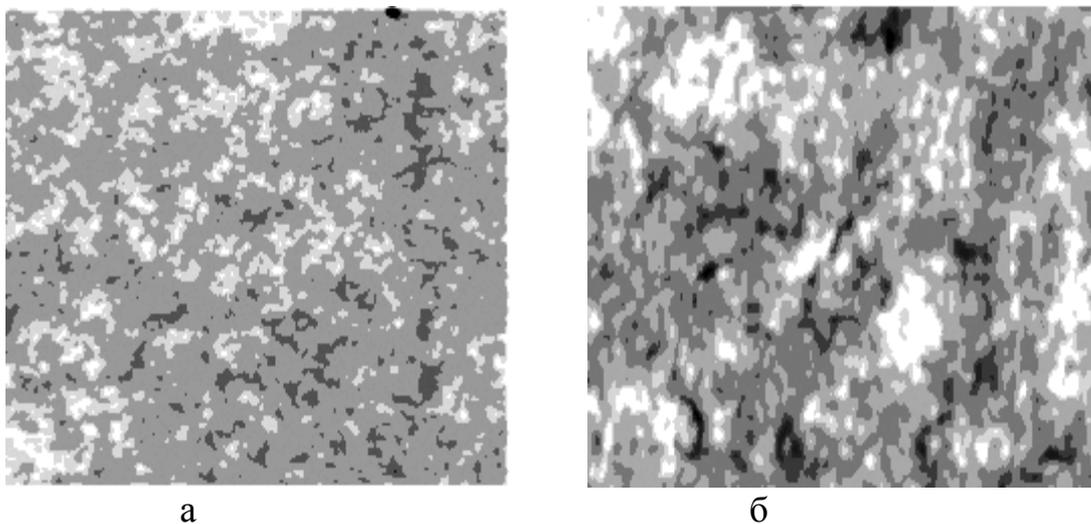


Рис. 3.23. Вид однородной (а) и неоднородной (б) бумаг в проходящем свете

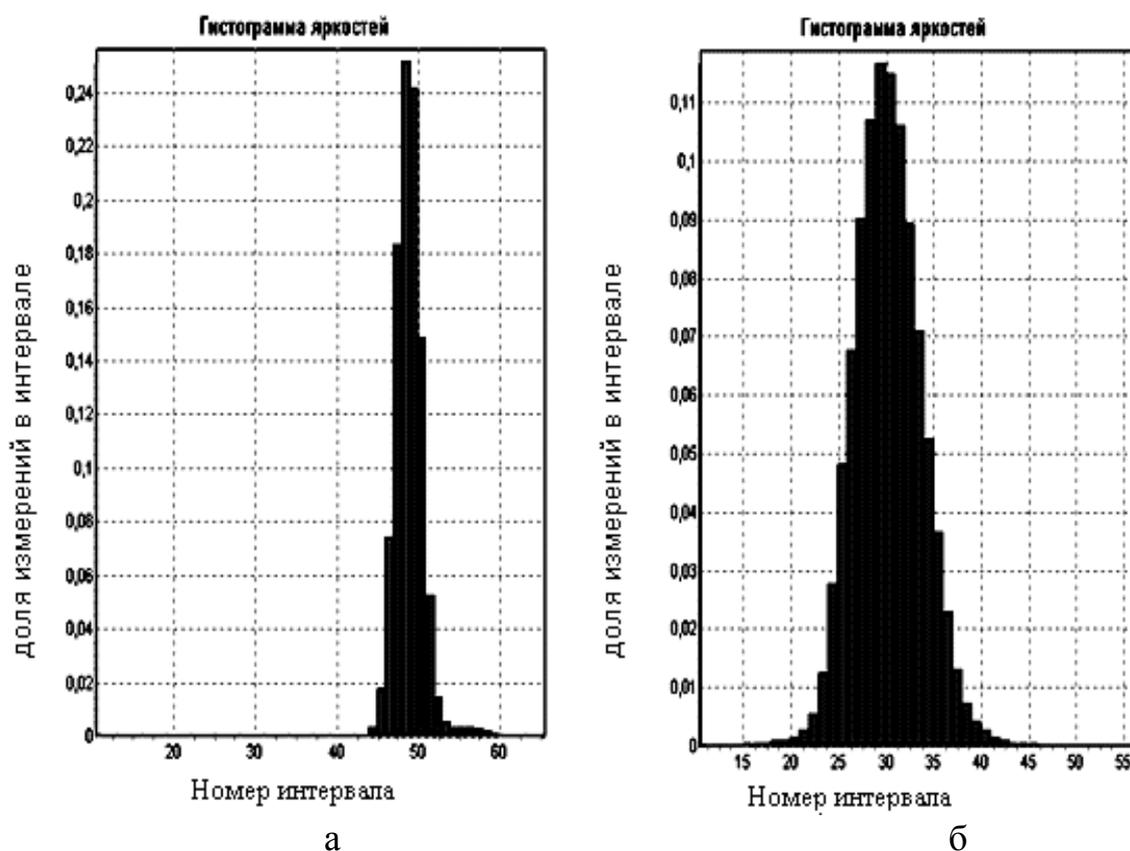


Рис. 3.24 Диаграммы яркостей однородной (а) и неоднородной (б) бумаг

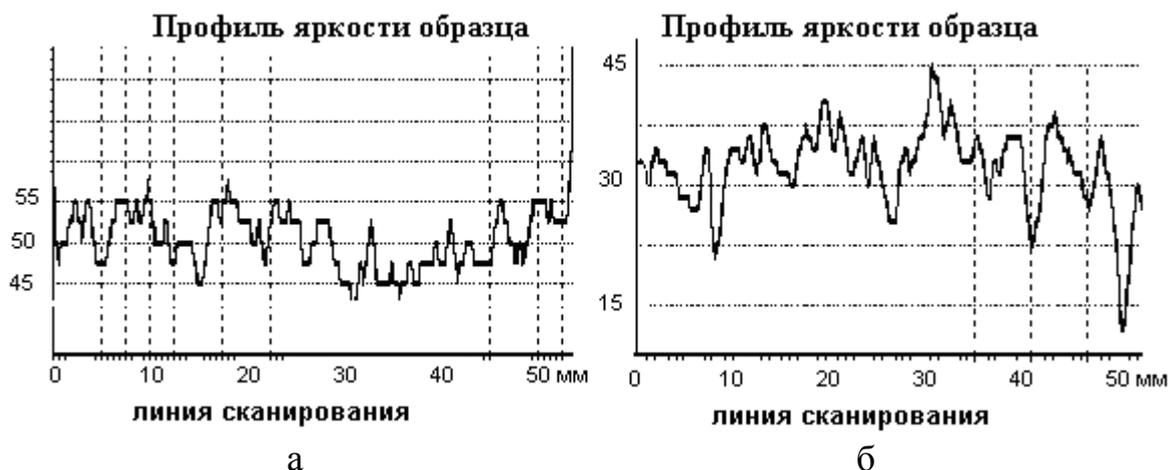


Рис.3.25. Яркость на просвет однородной (а) и неоднородной (б) бумаг по линии сканирования

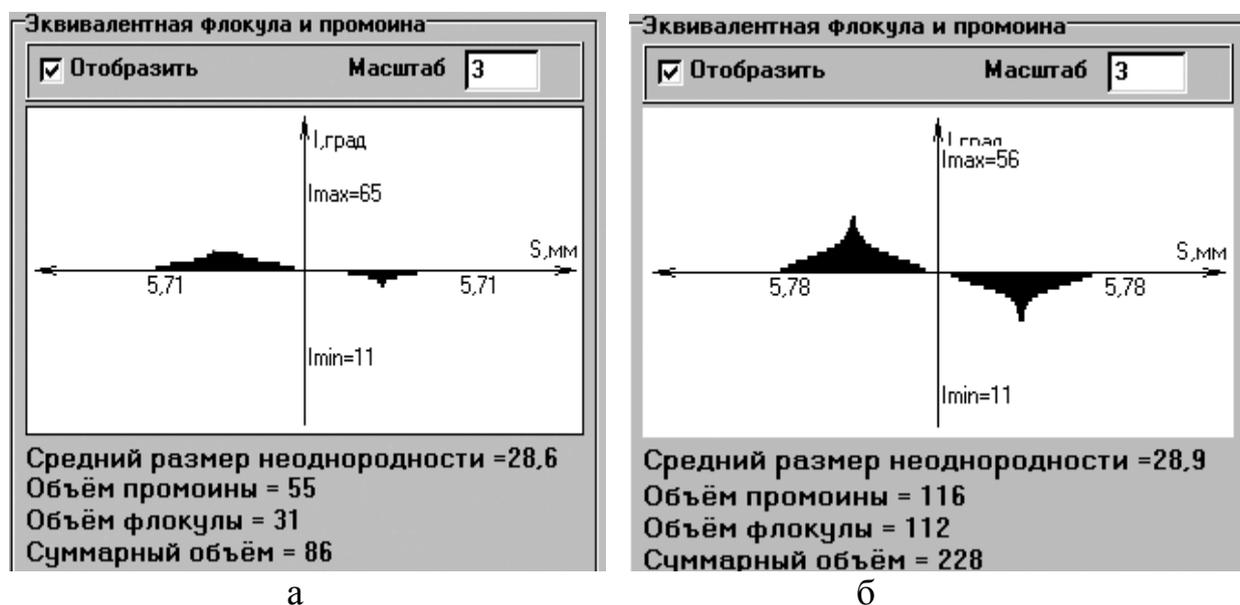


Рис.3.26. Эквивалентные пирамиды для однородной (а) и неоднородной (б) бумаг

По полученным данным, которые визуализировались, как показано на рис.3.27, находились следующие оценки: «условный объем флокул» (V_{fl}), «условный объем промоин» (V_{prom}) и «общий условный объем неоднородности» (V_{sum}), равный сумме двух первых оценок, т.е.

$$V_{sum} = V_{fl} + V_{prom} . \quad (3.3.3)$$

Расчет указанных «условных объемов» производился нахождением соответствующих площадей под кривыми, представленными на рис.3.26.

Здесь понятия «общий условный объем неоднородности (V_{sum})», «условный объем флокул (V_{fl})» и «условный объем промоин (V_{prom})» следует понимать в том смысле, что при исследовании образцов бумаги в проходящем свете приходится иметь дело не с реальным объемом участков тела бумажного листа, а с яркостью участков бумаги на просвет. Если

представить себе трехмерное пространство с двумя пространственными координатами в плоскости листа и третьей координатой – яркостью бумаги в проходящем свете, то сумма отклонений яркостей точек в местах промоин от определенного среднего значения и такая же сумма, но в местах флокул, и будут представлять собой «условные» объемы V_{fl} и V_{prom} . Под средним значением яркости следует понимать значение, соответствующее основаниям пирамид.

Рассмотренные показатели являются интегральными оценками неоднородности бумаги в проходящем свете. Интегральные в том смысле, что в них учитываются и масштаб (в размере основания), и интенсивность неоднородности (в высоте пирамид).

Применение введенных показателей «общий условный объем неоднородности V_{sum} », «условный объем флокул V_{fl} » и «условный объем промоин V_{prom} » рассмотрим на примерах эквивалентных пирамид, полученных для различных образцов бумаг.

При дальнейшем изложении понятия «условный» и «эквивалентный», для простоты изложения, будут опускаться.

На рис.3.27,а слева имеем эквивалентную пирамиду промоины с яркостью вершины $I = 51$ и справа эквивалентную пирамиду флокулы с яркостью вершины $I = 38$ при среднем значении яркости, равном 43. Этому соответствуют высоты пирамид, равные соответственно восьми и пяти градациям яркости, и объемы эквивалентных промоины $V_{prom} = 105$ и флокулы $V_{fl} = 52$ при эквивалентном суммарном объеме $V_{sum} = 157$.

Отметим, что на рис. 3.27 а и б пирамиды не симметричны относительно оси абсцисс S (мм), в других случаях они симметричны (рис.3.29). Несимметричность структуры можно оценить отношением V_{prom}/V_{fl} , которая в случае (а) равняется $105/52 \approx 2$, а в случае (б) – $54/29 \approx 1,9$.

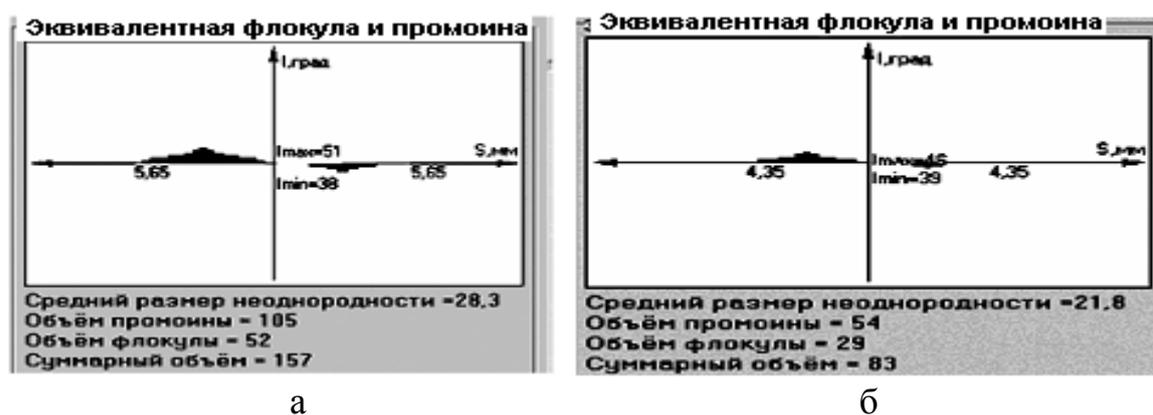


Рис.3.27. Графические модели несимметричных эквивалентных пирамид

Данные о структурных элементах бумажного полотна, представленные как графически, так и в цифровом выражении, содержат информацию о процессе формирования и в частности о важных для качества бумаги процессах удержания массы и наполнителей в бумажном листе.

Такого рода информация не может быть получена с помощью ни одной из существующих оценок интенсивности неоднородности бумаги: ни с.к.о., ни индексом формования и т.п.

3.4. Определение неоднородности (пятнистости) оттисков

Рассмотрим использование приведенных выше показателей для оценки неоднородности оттисков - пятнистости, как принято называть данную неоднородность в полиграфии.

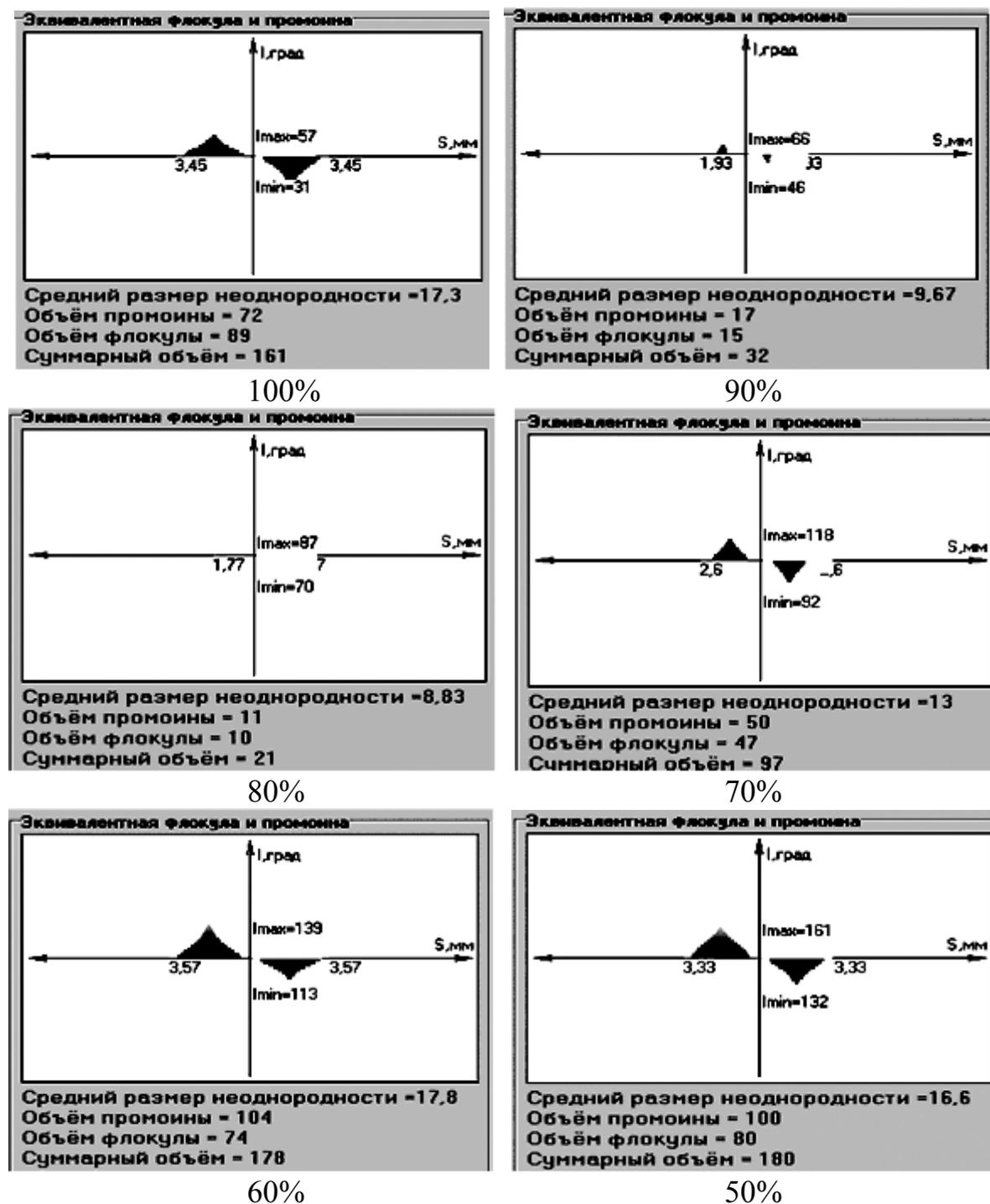


Рис.3.28. Графики эквивалентных пирамид оттисков при различных значениях относительной площади растровых точек от 100% до 50%

Применение эквивалентных оценок позволяет не только использовать одну и ту же метрику для фактически схожих по структуре неравномерности пространственных полей, что само по себе важно, но и оценить их связь, обусловленную самими механизмами процессов взаимодействия бумаги и краски.

Так на рис.3.28 показаны эквивалентные пирамиды, характеризующие участки оттисков с большей и меньшей светлотой (оттиски сделаны на бумаге с неоднородностью, показанной на рис.3.27,а).

Здесь, при использовании той же программы, что и для бумаги, под V_{prom} следует понимать участки оттисков большей светлоты, а под V_{fl} – меньшей светлоты. При этом, учитывая механизм впитывания (п.2.6), следует понимать, что эквивалентные пирамиды оттисков справа, для 100% и 90% относительной площади растровых точек соответствуют участкам бумаги с промоинами, а после 80% - участкам с флокулами. При 80% имеем однородный по светлоте оттиск, что совпадает как с результатами исследования механизма впитывания краски (п.2.6), так и с результатами исследования информационного потенциала бумаг (п.2.8). Меньшая разность $V_{prom} - V_{fl} = 20$ при 50%, чем при 60% (30), соответствует проявляющему себя на этом участке эффекту большего растискивания растровых точек (п.4.2).

Величина V_{sum} позволяет количественно характеризовать такой дефект оттисков, как пятнистость: чем больше значение V_{sum} , тем пятнистость больше.

На рис.3.29 представлены графические модели оттисков для более однородной, чем на рис. 3.28,а, бумаги. Однако, как уже было показано, оценки неоднородности бумаги не коррелируют достаточно хорошо с оценками пятнистости оттисков.



Рис.3.29. Графическая модель малооблачной бумаги

Так, например, образец бумаги имеющий хорошие показатели с.к.о., индекса формования и условного объема неоднородности, эквивалентные пирамиды для которого показаны на рис.3.30, отличается большой пятнистостью оттиска при сплошном красочном слое 100% и вместе с тем

понимания процессов взаимодействия бумаги и краски, а также помощью в настройке параметров режима печати.

Таблица 3.3

Графические модели оттисков при различных относительных площадях растровых полей для различных по неоднородности бумаг

%	Бумага малооблачная	Бумага среднеоблачная	Бумага облачная
100			
90			
80			

Обобщения и выводы

1. Полученная эквивалентная в статистическом смысле пространственная модель неоднородной структуры бумажного полотна позволяет получать более детальное представление о форме и параметрах флокул и промоин, как в виде аналитического выражения (в виде функции рельефа), так и в виде графических моделей этих структурных элементов бумажного полотна.

Вместе с тем, данная модель служит и для более детального представления о пятнистости оттисков, обусловленной неодинаковостью впитывания краски флокулами и промоинами.

Это дает возможность, сопоставляя данные о пятнистости оттисков и неоднородности структуры бумаги, проводить углубленное изучение влияния структуры бумаги на качество печати.

2. Предложенный функционал, в виде интегрального критерия, равный интегралу от обратной функции рельефа, позволяет ставить и решать задачу построения оптимальной системы управления формированием бумажного полотна, обеспечивающей достижение минимально возможной в условиях реального процесса неоднородности бумаги.

3. Применение алгоритма получения моделей эквивалентных флокул и промоин, реализуя идеи когнитивной графики, дает наглядное

представление как о флокулах и промоинах бумажного полотна, так и о пятнистости оттисков.

Информативность и наглядность полученных оценок облачности бумаги и пятнистости оттисков позволяет более успешно решать задачи совершенствования печатных свойств бумаг и качества печати.

Глава 4. Модели процессов формирования печатных свойств бумажного полотна и оптимизация системы «бумага – краска – оттиск»

4.1. Сравнительный анализ влияния технологических параметров производства бумаги на неоднородность бумаги и неоднородность оттисков

Для оценки возможностей предлагаемого системного подхода к исследованию печатных свойств бумаги был проведен сравнительный статистический анализ влияния технологических параметров производства офисной бумаги марки С Светогорского комбината на ее неоднородность и неоднородность оттисков.

Для анализа был использован статистический пакет Statistica. Обозначения, используемые в данном пакете, даны в приложении 1.

Предварительное исследование содержания лиственной (L_{list}) и хвойной (L_{hv}) целлюлоз показало (рис.4.1) их практически функциональную связь (коэффициент корреляции $R=0,99$), что позволило исключить одну из них (лиственную целлюлозу) из статистического анализа.

Regression Summary for Dependent Variable: Lhv						
R= ,99982871 R?= ,99965746 Adjusted R?= ,99965301						
F(1,77)=2247E2 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,01874						
N=79	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(77)	p-level
Intercept			0,000022	0,002108	0,011	0,991622
Llist	-0,999829	0,002109	-0,999823	0,002109	-474,038	0,000000

Рис. 4.1. Результаты регрессионного анализа связи лиственной (L_{list}) и хвойной (L_{hv}) целлюлоз ($R=0,99$)

Regression Summary for Dependent Variable: Vott						
R= ,48210914 R?= ,23242922 Adjusted R?= ,21794675						
F(1,53)=16,049 p<,00019 Std.Error of estimate: ,89193						
N=55	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(53)	p-level
Intercept			0,04	0,12	0,33	0,74
Vsum	-0,48	0,12	-0,51	0,13	-4,01	0,00

Рис.4.2. Параметры линейного уравнения регрессии между V_{sum} и V_{ott}

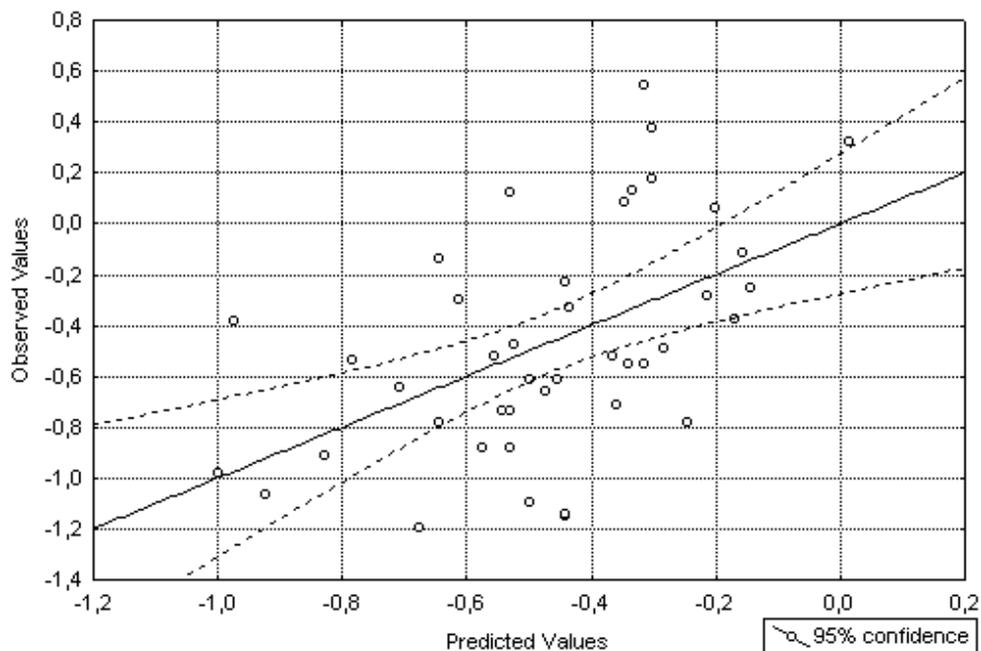


Рис.4.3. Действительные (Observed Values) и предсказанные (Predicted Values) значения V_{ott}

Исследование влияния неоднородности бумажного полотна (V_{sum}) на неоднородность оттисков (V_{ott}) привело также к известному результату: $R=0,48$ (рис.4.2,4.3), - что подтвердило невозможность объяснить неоднородность оттисков лишь неоднородностью бумаги на просвет.

Вместе с тем, проверка предположения о линейном характере влияния параметров производства бумаги на ее неоднородность показала малую информативность линейной модели: коэффициент множественной корреляции R был равен $0,57$, а коэффициент детерминации $R^2 = 0,33$ (рис.4.4, 4.5).

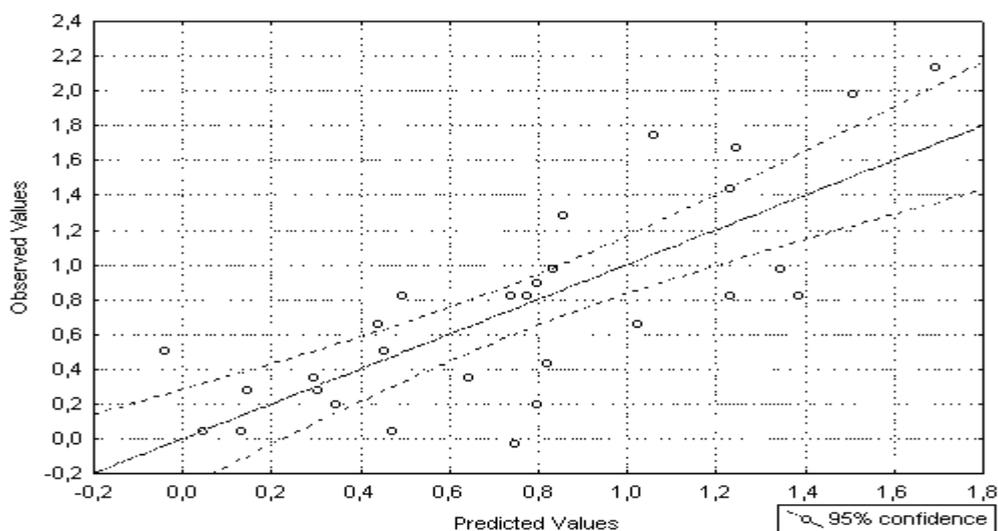


Рис.4.4. Действительные (Observed Values) и предсказанные (Predicted Values) значения суммарной неоднородности бумаги V_{sum} при линейной модели ($R=0,57$)

Regression Summary for Dependent Variable: Vsum
 R= ,57531494 R²= ,33098728 Adjusted R²= ,20187956
 F(11,57)=2,5637 p<,01033 Std.Error of estimate: ,77966

	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(57)	p-level
V=69						
Intercept			-0,099067	0,094761	-1,04544	0,300232
Llist	-0,265510	0,156776	-0,222514	0,131388	-1,69356	0,095807
Brak	0,185447	0,137581	0,157803	0,117073	1,34791	0,183021
V	-0,026075	0,150373	-0,023290	0,134311	-0,17340	0,862949
V2/V1	0,151634	0,137539	0,148250	0,134469	1,10248	0,274887
C	0,300645	0,132807	0,277567	0,122613	2,26377	0,027412
Shp	-0,232726	0,150276	-0,196869	0,127122	-1,54865	0,127000
Ph	-0,010858	0,159557	-0,009297	0,136609	-0,06805	0,945983
AKD	-0,030772	0,138249	-0,029085	0,130669	-0,22259	0,824654
Napol	-0,164489	0,142003	-0,144728	0,124944	-1,15835	0,251552
Krahm	-0,068080	0,142373	-0,060680	0,126898	-0,47818	0,634350

Рис.4.5. Линейная регрессионная модель для суммарного объема неоднородности бумаги (V_{sum})

В результатах использованы обозначения параметров, данные в приложении 1 (с.131).

В связи с нелинейным характером влияния параметров процесса производства бумаги на показатели неоднородности бумажного полотна и оттисков для исследований был применен метод Розенбрука, позволяющий описать нелинейную зависимость функцией регрессии, состоящей из двух участков прямых, разделенных точкой разрыва (breakpt).

Результаты исследования влияния параметров процесса производства бумаги на ее неоднородность V_{sum} показаны на рис.4.6, 4.7.

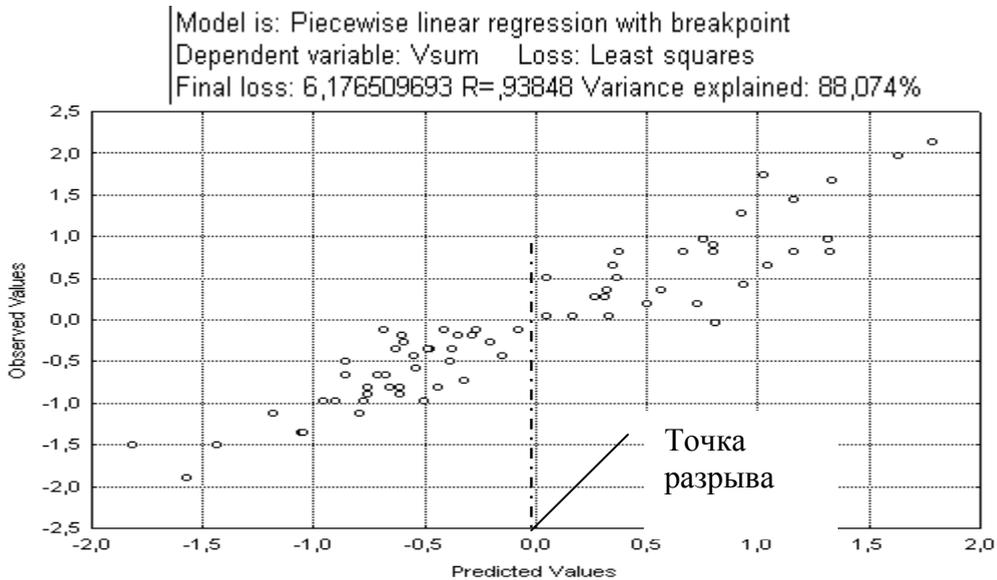


Рис.4.6. Действительные (Observed Values) и предсказанные (Predicted Values) значения суммарной неоднородности бумаги V_{sum} ($R=0,94$)

Model is: Piecewise linear regression with breakpoint
 Dependent variable: Vsum Loss: Least squares
 Final loss: 2,669886912 R=,95399 Variance explained: 91,010%

N=51	Const.B0	Lhv	Brak	Zol	V	V2/M1	C
Estimate	-0,44	-0,10	-0,12	-0,04	-0,30	0,21	0,12
	Shp	Ph	Sud	UdNap	AKD	Per	Ben
	-0,29	0,18	-0,23	-0,13	0,15	-0,09	0,10
	KrV	KrC	Napol	} Const.B0	Lhv	Brak	Zol
	-0,07	-0,09	-0,16		0,63	0,35	0,22
	V	V2/M1	C	Shp	Ph	Sud	UdNap
	-0,76	-0,04	0,23	0,57	-0,15	-0,21	0,04
	AKD	Per	Ben	KrV	KrC	Napol	Breakpt.
	-0,41	-1,02	0,37	0,47	0,53	0,31	0,04

Рис. 4.7. Результаты применения метода Розенбрука для V_{sum}

Результаты исследования влияния параметров процесса производства бумаги на неоднородность оттисков V_{ott} показаны на рис.4.8.

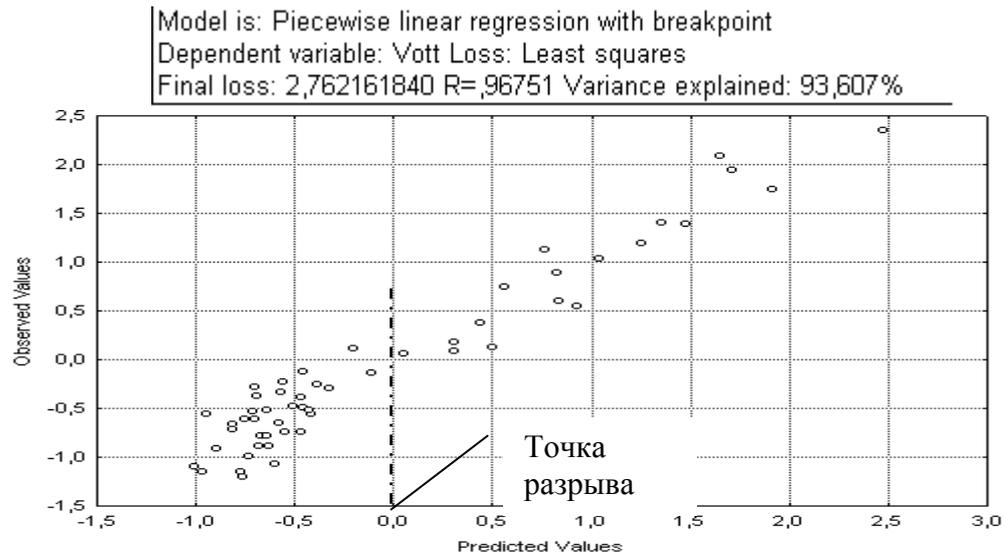


Рис.4.8. Действительные (Observed Values) и предсказанные (Predicted Values) значения неоднородности оттисков V_{ott} ($R=0,97$)

Недостатком метода Розенбрука является то, что данный метод не дает сведений о значимости коэффициентов получаемых моделей.

В связи с этим, для уточнения регрессионных зависимостей до и после точек разрыва был использован метод множественной регрессии.

В качестве примера, на рис.4.9, 4.10 показаны результаты множественного регрессионного анализа для показателя V_{sum} на участке после точки разрыва.

Regression Summary for Dependent Variable: Vsum R= ,97114228 R ² = ,94311733 Adjusted R ² = ,86490367 F(11,8)=12,058 p<,00081 Std.Error of estimate: 9,0631						
N=20	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(8)	p-level
Intercept			724,13	542,54	1,33	0,22
Per	-1,73	0,32	-32,59	6,00	-5,43	0,00
Ben	0,64	0,19	1,31	0,39	3,35	0,01
Shp	1,21	0,19	9,71	1,50	6,47	0,00
KrV	0,76	0,12	2,72	0,42	6,44	0,00
Zol	-0,17	0,13	-6,03	4,50	-1,34	0,22
V	-0,68	0,25	-0,97	0,36	-2,69	0,03
KrC	0,62	0,16	0,71	0,18	3,84	0,00
Sud	0,10	0,12	1,06	1,23	0,86	0,42
UdNap	0,36	0,15	3,17	1,33	2,39	0,04
C	0,24	0,14	102,90	59,58	1,73	0,12
Napol	-0,17	0,13	-0,07	0,06	-1,24	0,25

Рис. 4.9 Основные результаты регрессионного анализа для V_{sum}

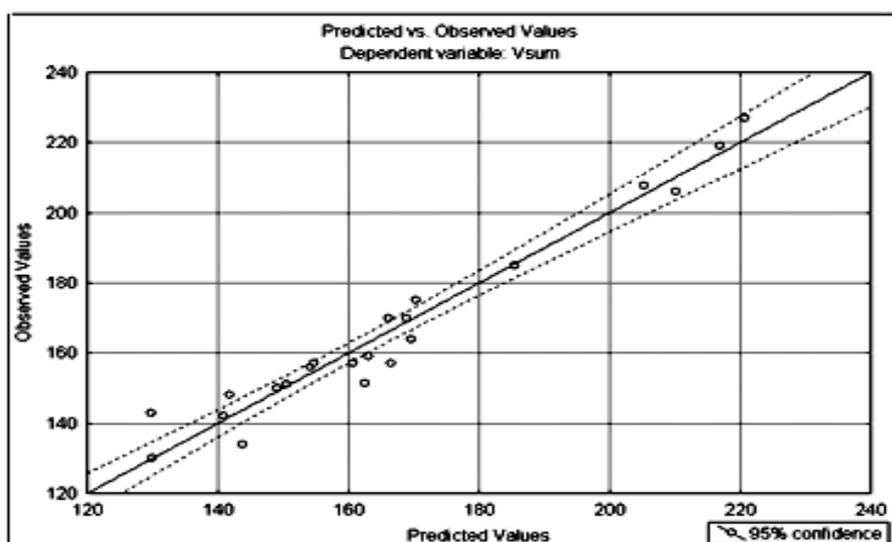


Рис.4.10. Действительные (Observed Values) и предсказанные (Predicted Values) значения суммарной неоднородности бумаги V_{sum} ($R=0,97$)

Полученные в результате статистических исследований данные (табл.4.1) позволяют сформулировать рекомендации по выбору параметров процесса производства бумаги для улучшения однородности структуры бумажного полотна и снижения неоднородности (пятнистости) печати.

В табл. 4.1 даны β - коэффициенты регрессионных уравнений, рассчитанные по стандартизованным значениям переменных [55]. Известно, что по их величине можно оценить значимость зависимых переменных, так как β -коэффициент показывает, на сколько единиц стандартного отклонения изменится зависимая переменная при изменении на одно стандартное отклонение независимой переменной при условии постоянства остальных переменных.

Таблица 4.1

β -коэффициенты регрессионных моделей для показателей суммарной неоднородности бумажного полотна V_{sum} , неоднородности оттисков V_{ott} , а также оценок флокул V_{fl} и промоин V_{prom}

Точка разрыва	V_{sum}		V_{prom}		V_{fl}		V_{ott}	
	$V_{sum} = 136$		$V_{prom} = 60$		$V_{fl} = 77$		$V_{ott} = 147$	
	до	после	до	после	до	после	до	после
Lhv							0,68	
Brak	-0,45			0,33	0,38			0,5
AKD					0,31			
Per	1,53	-1,73			2,95	-0,52	0,85	
Ben		0,64	-0,44	-0,61	-0,94	0,57		-0,7
KrC			-0,57		0,99			
KrV	0,36				-0,52		0,41	
Napol	-0,44				-1,07			0,56
Shp		1,21		1,26		0,9	0,62	
UdNap	-0,58	0,36			-0,47	-1,3	-0,78	
C	-0,69					0,93	0,41	
Ph	-0,49			-0,78	-1,7	-0,86		
V	1,29							0,53
V2/V1	0,87				2,22			-1,42
Sud			-0,48		0,37			
Zol			-0,51	-1,16	0,44		-0,56	

Таблица 4.2

Коэффициенты множественной корреляции для линейных моделей неоднородности бумажного полотна, флокул, промоин и оттисков до и после точек разрыва

Точка разрыва	V_{sum}		V_{prom}		V_{fl}		V_{ott}	
	$V_{sum} = 136$		$V_{prom} = 60$		$V_{fl} = 77$		$V_{ott} = 147$	
	до	после	до	после	до	после	до	после
R	0,99	0,97	0,91	0,97	0,99	0,97	0,96	0,97

Регрессионные уравнения для показателей неоднородности бумажного полотна и оттисков имеют следующий вид (жирным выделены параметры, существенно влияющие на оценки неоднородности):

$$V_{sum} = -5780 + 5285 \mathbf{V2/V1} + 14,1 \mathbf{Per} - 0,99 \mathbf{Brak} + 0,55 \mathbf{KrV} - 0,09 \mathbf{Napol} - 2,45 \mathbf{UdNap} - 194 \mathbf{C} - 32 \mathbf{Ph} + 0,99 \mathbf{V}; \quad (4.1.1)$$

$$V_{sum} = -32,6 \mathbf{Per} + 9,7 \mathbf{Shp} + 1,31 \mathbf{Ben} + 3,17 \mathbf{UdNap}; \quad (4.1.2)$$

неоднородность промоин до точки разрыва

$$V_{\text{prom}} = 323 - 0,3 \text{ Ben} - 0,11 \text{ KrC} - 2,34 \text{ Sud} - 4,18 \text{ Zol}; \quad (4.1.3)$$

неоднородность промоин после точки разрыва

$$V_{\text{prom}} = 2206 + 1,02 \text{ Ben} + 6,9 \text{ Shp} - 38 \text{ Ph} - 38,6 \text{ Zol} + 1,32 \text{ Brak}; \quad (4.1.4)$$

неоднородность флокул до точки разрыва

$$V_{\text{fl}} = - 5117 + 10,1 \text{ Per} - 0,37 \text{ Ben} + 0,15 \text{ KrC} - 0,09 \text{ Napol} - 63,5 \text{ Ph} + \\ + 5402 \text{ V2/V1} + 0,34 \text{ Brak} + 3,86 \text{ AKD} - 0,36 \text{ KrV} - 0,8 \text{ UdNap} + \\ + 0,9 \text{ Sud} + 3,29 \text{ Zol}; \quad (4.1.5)$$

неоднородность флокул после точки разрыва

$$V_{\text{fl}} = 254 + 1,64 \text{ Shp} - 2,51 \text{ UdNap} + 93 \text{ C} - 12,6 \text{ Ph} - \\ - 2,93 \text{ Per} + 0,3 \text{ Ben}; \quad (4.1.6)$$

неоднородность оттисков до точки разрыва

$$V_{\text{ott}} = 532 + 1,95 \text{ Lhv} + 8,5 \text{ Per} + 3,52 \text{ Shp} - 3,81 \text{ UdNap} + 124 \text{ C} - \\ - 14,3 \text{ Zol} + 0,98 \text{ KrV} + 124 \text{ C}; \quad (4.1.7)$$

неоднородность оттисков после точки разрыва

$$V_{\text{ott}} = 66715 + 11,03 \text{ Brak} - 6,63 \text{ Ben} + 0,71 \text{ Napol} + 1,27 \text{ V} - 67672 \text{ V2/V1}. \quad (4.1.8)$$

Разница коэффициентов моделей всех показателей неоднородности бумаги и оттисков для двух участков до и после точек разрыва подтверждает нелинейный характер зависимостей данных показателей от параметров процесса производства бумаги. Высокие коэффициенты множественной корреляции при уровне доверительной вероятности менее 0,5% как для бумаг, так и для оттисков, указывают на компетентность полученных моделей (табл. 4.2).

Важно отметить, что в обоих случаях используется один и тот же показатель неоднородности, полученный на основе функции рельефа, что с методической точки зрения следует признать более правильным, чем использование различных показателей для бумаги и оттиска, как это имеет место в известных на настоящее время исследованиях.

Модели для флокул и промоин позволяют сравнить степень влияния того или иного параметра производства бумаги на эти элементы структуры бумажного полотна и таким образом получить дополнительные сведения о механизмах как флокуляции, так и удержания бумажной массы на сеточном столе.

Подробный анализ и исследование регрессионных моделей - достаточно сложная и большая тема. Она не является основным предметом рассматриваемых вопросов. Однако можно кратко охарактеризовать полученные результаты, показав возможности, заложенные в предлагаемом подходе и используемых оценках.

Из предыдущих выводов следует, что неоднородность бумаги и пятнистость оттисков тем хуже, чем оценки V_{sum} , V_{fl} , V_{prom} и V_{ott} больше.

При выборе параметров процесса производства бумаги для управления неоднородностью бумаги и печати необходимо учитывать значимость каждого из параметров по его влиянию на показатели неоднородности как

бумажного полотна, так и печати. Параметр считается значимым, если его β -коэффициент больше в 1,3 – 1,5 раза β -коэффициента для другого параметра [55].

В табл.4.1 β -коэффициенты для значимых параметров выделены жирными рамками, а в уравнениях (4.1.1 – 4.1.8) жирным шрифтом выделены сами значащие переменные.

Одним из таких параметров, существенно влияющих на неоднородность бумаги, является перкол (Per). Для бумаг с сильно выраженной неоднородностью его количество следует увеличивать, в то время как для бумаг более однородных его количество следует ограничивать и даже уменьшать. Это, в свою очередь, означает, что среднее значение количества перкола, наблюдавшееся в ходе эксперимента, соответствует его наилучшему значению.

Наличие детальной информации о структурных элементах бумажного полотна (флокулах и промоинах) позволяет заключить, что основное влияние перкол оказывает на параметры флокул, что соответствует его назначению как флокулянта.

Важно отметить и его существенное влияние на неоднородность печати (V_{ott}). Вместе с тем, одинаковость знаков β -коэффициентов у V_{sum} , V_{fl} и V_{ott} свидетельствует о том, что управление расходом перкола приводит к одновременному улучшению как однородности бумаги, так оттисков.

Бентонит по-иному влияет на структурные элементы бумажного полотна. Так, если в целом (V_{sum}) для снижения неоднородности существенно неоднородных бумаг расход бентонита следует уменьшать, его расход при получении более однородных бумаг следует увеличивать. Это приведет к уменьшению промоин, однако ухудшит флокулы. Важно, что при этом пятнистость оттисков уменьшится. Такое поведение флокул и промоин при восприятии краски в печати можно объяснить на основании результатов, полученных при исследовании впитывания краски бумагой (п.2.6). Снижение светопропускаемости промоин происходит за счет сосредоточения в местах промоин наряду с мелочью крупных волокон, что в свою очередь приводит к удержанию большего количества наполнителя и меньшему пробиванию краски на обратную сторону бумажного листа.

Поверхностный крахмал (KrV) по-разному влияет на неоднородность флокул и промоин. Роль его существенна, но не однозначна для более однородных бумаг. Увеличение его расхода улучшает промоины, но ухудшает флокулы, хотя на неоднородность оттисков это влияния не оказывает.

Количество наполнителя (Napol), с точки зрения общей неоднородности структуры бумаги (V_{sum}) и флокул (V_{fl}), следует держать на максимуме значений, имевших место в ходе эксперимента. Однако для существенно неоднородных по печати бумаг его количество не следует увеличивать, а необходимо понижать при увеличении неоднородности бумажного полотна. Увеличение количества наполнителя приводит к

уменьшению просвета, особенно в местах промоин, что соответствует физике прохождения света через бумагу. Однако, как следует из полученных результатов, влияние наполнителя противоречиво. Улучшение однородности бумаги при его увеличении сопровождается ухудшением неоднородности оттисков, что связано с изменением пористости бумажного листа. В данном случае находит отражение то, что однородность бумаги, измеряемая на просвет, как уже было установлено ранее, не определяет однозначно однородность оттисков.

Величину помола (Shp), как следует из табл. 4.1, следует уменьшать, что улучшит однородность как структуры бумаги, так и оттисков.

При реализации большего удержания наполнителя ($UdNap$) однородность бумажного полотна и однородность печати улучшаются.

Скорость БДМ (V) необходимо держать на значениях, близких к минимальным, которые были зафиксированы в данном эксперименте. Следует заметить, что в настоящее время бумага производится на скоростях выше расчетной для данной БДМ, что позволяет снизить ее себестоимость. Однако при этом печатные свойства бумаги ухудшаются.

Существенное, но не одинаковое влияние оказывает на неоднородность бумаги и оттисков соотношение «скорость напуска – скорость сетки» (V_2/V_1). Поддержание его наименьшего значения соответствует большей однородности бумаги, однако для достижения большей однородности оттисков данное соотношение следует поддерживать на его верхнем диапазоне значений. Здесь вновь имеется противоречие, в данном случае между влиянием указанного соотношения на однородность бумаги и печати.

Общее удержание (Sud) в основном влияет на промоины, что естественно. При большем удержании бумажной массы на сеточном столе роль промоин в неоднородности бумаги снижается, чему соответствует и большая однородность оттисков.

Зольности (Zol), при больших ее значениях, также сопутствует меньшая светопроницаемость промоин и лучшая однородность оттисков.

Выработку рекомендаций по управлению неоднородностью бумажного полотна на первом этапе следует начинать с рассмотрения коэффициентов регрессии при больших значениях показателей неоднородности, т.е. для их значений после точек разрыва. Это позволит улучшить неоднородность бумаги и стабилизировать процесс ее производства. Поскольку в настоящее время неоднородность бумажного полотна на БДМ не регулируется, коэффициент вариации, полученный в эксперименте, например для V_{sum} , составил 43%. Уменьшение разброса параметров позволит вновь провести эксперименты, но в более узком диапазоне, что позволит получить более точную и более простую линейную модель влияния параметров процесса производства бумаги на ее неоднородность.

4.2. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на интервал оптических плотностей

Цель проводимого исследования заключалась в системном изучении влияния параметров производства бумаги на интервал оптических плотностей.

Для оценки печатных свойств бумаг были взяты образцы офисной бумаги, производимой Светогорским целлюлозно-бумажным комбинатом.

На них, используя струйный принтер, были получены растровые поля размером $8 \times 8 \text{ см}^2$ с относительными запечатываемыми площадями от 50 до 100%.

После сканирования запечатанных растровых полей в отраженном свете для каждого из них были найдены средние арифметические значения яркости. Это позволило исключить из рассмотрения такой дефект, как пятнистость оттисков, связанный с неоднородностью бумаги, сосредоточив внимание на интервале оптических плотностей и контрасте печати.

Для каждого из образцов бумаг по значениям указанных яркостей были построены графики зависимости средней яркости растрового поля I от запечатываемой площади S .

В табл.4.3 даны значения яркостей растровых полей I_1 и I_2 для двух образцов бумаг при различных относительных запечатываемых площадях S , а на рис.4.11 – соответствующие графики $I(S)$.

Таблица 4.3

Значения яркостей растровых полей с разной относительной площадью для двух образцов бумаг

S	50	60	70	90	100
I_1	40	67	118	140	170
I_2	47	60	99	121	144

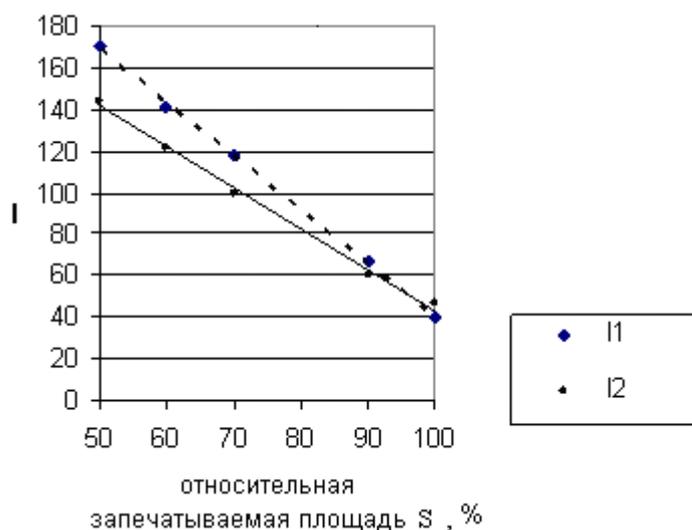


Рис.4.11. Зависимость среднего значения яркости растрового поля I от значения относительной запечатываемой площади S

По каждому из графиков в результате линейной аппроксимации были найдены коэффициенты уравнения линейной регрессии α и b_0

$$I = b_0 + \alpha \cdot S \quad (4.2.1)$$

Значение коэффициентов для 28 различных образцов бумаг сведены в табл.4.4.

Таблица 4.4

Значения коэффициентов уравнения (4.2.1) для различных образцов бумаг

α (Alpha)	b_0	α (Alpha)	b_0
-2,8	306,3	-2,23	263
-2,9	311	-2,2	256
-2,9	316	-2,3	270
-2,35	269	-2,2	260
-2,5	288	-2,21	263
-2,49	283	-2,1	253
-2,35	269	-2	242
-2,39	275	-2,1	250
-2,4	277	-2,26	272
-2,2	254	-2,1	252
-2,2	259	-2	251
-2,2	259	-2,2	264

Далее исследована связь коэффициентов b_0 и α . Полученное уравнение регрессии имеет вид

$$b_0 = -76 \cdot \alpha + 93 \quad (4.2.2)$$

Коэффициент детерминации при этом равен 0,96 (уровень доверительной вероятности 0,05) (рис.4.12).

Имеем практически функциональную зависимость коэффициентов, воспользовавшись которой, можно переписать уравнение (4.2.1) в виде

$$I = -76 \cdot \alpha + 93 + \alpha \cdot S = (S - 76) \cdot \alpha + 93 \quad (4.2.3)$$

Как следует из экспериментальных данных, значение α для исследуемых образцов лежит в диапазоне [-2,9; -2]. В табл.4.5 и на рис.4.13 приведены данные и соответствующие графики яркости растровых полей I_1 и I_2 для двух крайних значений α : I_1 для $\alpha = -2,9$ и I_2 для $\alpha = -2$.

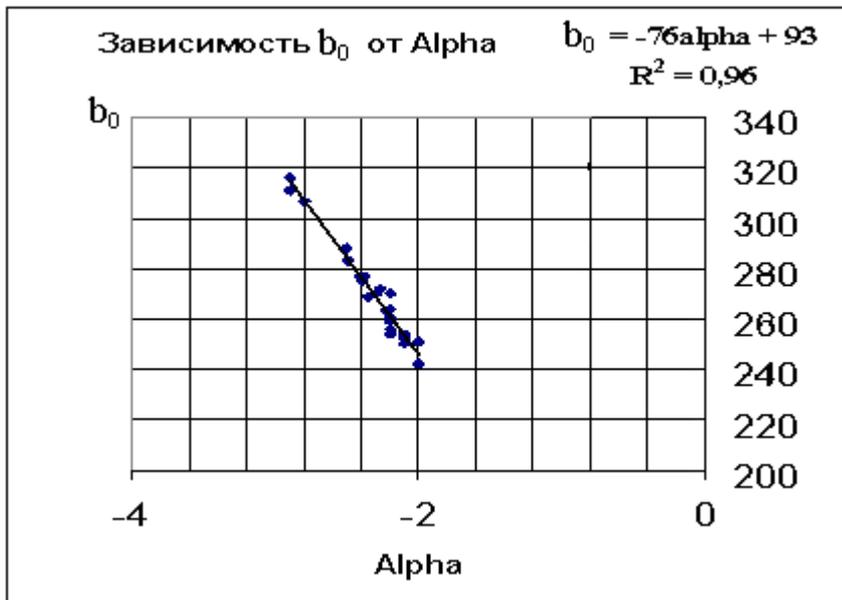


Рис.4.12. Зависимость b_0 от α (Alpha)

Таблица.4.5.

Значения яркости растровых полей для двух крайних значений α

S	50	60	70	80	90	100
I_1	168,4	139,4	110,4	81,4	52,4	23,4
I_2	145	125	105	85	65	45

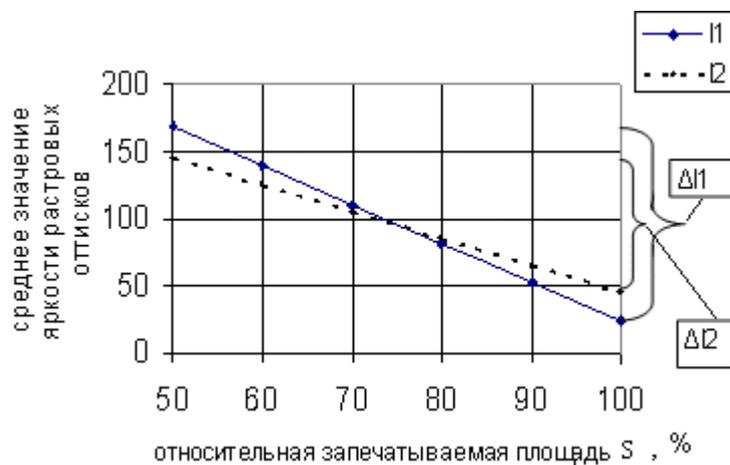


Рис.4.13. Зависимость яркости растровых оттисков I от относительной запечатываемой площади S : I_1 при $\alpha = -2,9$, I_2 при $\alpha = -2$

Таблица 4.6.

Диапазон яркостей оттисков для двух различных бумаг

Диапазон яркостей	
ΔI_1	ΔI_2
145	100

В табл.4.6 представлены диапазоны яркостей растровых оттисков для двух рассмотренных случаев. Рассматриваемые образцы бумаг характеризуются существенной разницей печатных свойств в отношении воспроизводимого интервала яркостей и, следовательно, контраста. Последний определяется, как известно [34] разностью логарифмов оптических плотностей оттиска в светах и тенях.

Так на бумаге с коэффициентом $\alpha = -2$ на оттиске число воспроизводимых перепадов (деталей) яркости меньше, чем на бумаге с коэффициентом $\alpha = -2,9$.

Таблица 4.7

Связь α с Δ_{50-100}

100%	50%	Δ_{50-100} (delta)	α (Alpha)	100%	50%	Δ_{50-100} (delta)	α (Alpha)
40	158	118	-2,49	41	156	115	-2,4
36	150	114	-2,35	43	149	106	-2,2
40	152	113	-2,35	44	157	114	-2,38
52	150	98	-2	44	151	106	-2,23
52	149	98	-2,1	38	160	121	-2,5
50	148	98	-2,1	42	146	104	-2,2
59	163	103	-2,2	40	154	114	-2,39
53	157	104	-2,2	32	168	136	-2,9
26	162	136	-2,8	27	164	136	-2,9
44	150	107	-2,2	45	148	103	-2,2
47	144	97	-2	50	159	108	-2,26
46	148	102	-2,1	46	151	105	-2,21
45	155	110	-2,3	45	150	104	-2,2
43	148	105	-2,2	55	153	98	-2,1

О том, что α (Alpha) достаточно хорошо коррелирует с печатными свойствами бумаги, говорят данные, связанные с оценкой разности (delta) яркостей 100% и 50% растровых полей (табл.4.7, рис.4.14).

Здесь, при линейной аппроксимации экспериментальных точек, уравнение регрессии имеет вид

$$\Delta_{50-100} = -47 \cdot \alpha + 1,25 \quad (4.2.4)$$

при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,98$ (уровень доверительной вероятности 0,05).

Для подчеркивания того, что рассматривается лишь половина всего интервала яркостей оттисков, вместо Δ применен символ Δ_{50-100} .

Из уравнения регрессии (4.2.4) следует, что, чем больше коэффициент наклона α по абсолютной величине, тем больше будет рассматриваемый диапазон яркостей оттисков.

Далее следует пояснить выбор 50% и 100% растровых полей.

Известно, что в полиграфии денситометрическая функция так называемого «контраста печати» (K) определяется не отношением яркостей, как это принято в фотографии и телевидении, а формулой Ширмера-Ренцера [53] как разность

$$K = D_{100} - D_{80} \quad (4.2.5)$$

плотностей сплошного красочного слоя (D_{100}) и поля с относительной площадью точек 80% (D_{80}), связанных с яркостями по логарифмическому закону.

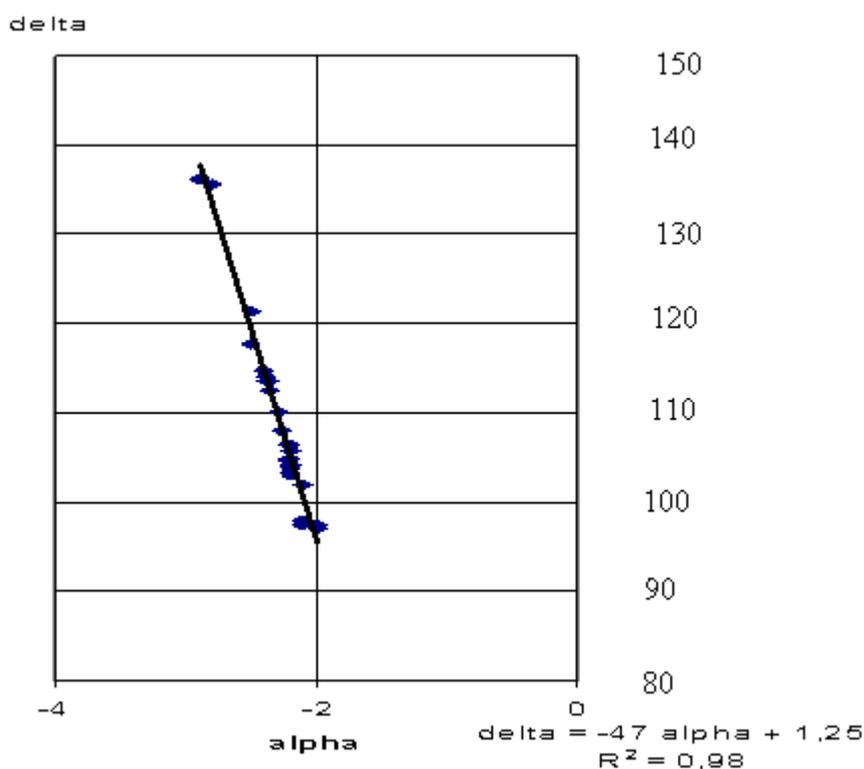


Рис.4.14. Зависимость Δ от α .

В работе [53] отмечается, что правильная подача краски - это баланс между максимальной оптической плотностью на плашках и минимальным увеличением растровых элементов на изображении, а самый логичный и объективный метод нахождения этого баланса заключается в применении формулы Ширмера – Ренцера. Объясняется эта логичность и объективность тем, что 80%-я зона располагается на крайней границе серого, где находится большинство полутонов. На самом деле выбор 80% обусловлен субъективным моментом, заключающемся в том, что круглые точки этой площади касаются друг друга (площадь круга, вписанного в квадрат составляет, около 79%), и результат растискивания легко обнаруживается глазом по частичному или полному затеканию краски в пробелы.

При наличии объективных средств контроля данный показатель можно оценивать по-иному.

Так, в той же работе утверждается, что наибольшие искажения из-за растискивания растровых точек имеют место при площади запечатывания $S = 50\%$, из чего можно сделать вывод, что чувствительность к

растискиванию наибольшая именно при $S = 50\%$. И это действительно так для квадратных точек, устанавливаемых в шахматном порядке. Поэтому для рассматриваемых оценок, как наиболее представительный, был выбран диапазон относительной запечатываемой площади, начинающийся со значения $S = 50\%$.

Полученные результаты показывают, что как параметр α , так и параметр Δ_{50-100} адекватно отображают печатные свойства бумаг при исследовании влияния параметров процесса производства бумаги на качество печати.

Для оценки этой связи для каждого из образцов бумаг в ходе их производства были зафиксированы сопутствующие значения технологических параметров процесса производства бумаги.

Исследование зависимости α от этих параметров было проведено с помощью программного пакета Statistica. Результаты исследования представлены на рис.4.15, 4.16.

R= ,97408598 R²= ,94884350 Adjusted R²= ,92691929 F(6,14)=43,278 p<,00000 Std.Error of estimate: ,26870						
N=21	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(14)	p-level
Intercept			-0,06615	0,064722	-1,0221	0,324059
AKD	-0,92451	0,073001	-0,92114	0,072761	-14,0342	0,000000
Napol	0,24536	0,069562	0,27854	0,078970	3,5272	0,003349
Brak	0,25812	0,075365	0,23904	0,069796	3,4249	0,004105
C	-0,61619	0,095217	-0,64408	0,099525	-6,4715	0,000015
V	0,41703	0,105843	0,45054	0,114349	3,9400	0,001480
Krahm	0,25452	0,084792	0,25845	0,086101	3,0017	0,009520

Рис.4.15. Результаты статистического анализа влияния параметров процесса производства бумаги на интервал оптических плотностей Δ_{50-100}

Обозначения, принятые в пакете Statistica даны в приложении 1.

Statistic	Summary Value
Multiple R	0,97409
Multiple R²	0,94884
Adjusted R²	0,92692
F(6,14)	43,27834
p	0,00000
Std.Err. of Estimate	0,26870

Рис.4.16. Обобщенные результаты статистического анализа

В соответствии с полученными данными линейная регрессионная модель, описывающая влияние параметров производства бумаги на коэффициент α , имеет следующий вид

$$\alpha = -0,92 \cdot \text{AKD} + 0,28 \cdot \text{Napol} + 0,24 \cdot \text{Brak} - 0,64 \cdot \text{C} + 0,45 \cdot \text{V} + 0,26 \cdot \text{Krahm} \quad (4.2.6).$$

Здесь

AKD – расход алкилкетендимера (AKD), Napol – расход наполнителя;

Brak – содержание брака; C – концентрация массы в напорном ящике;

V – скорость бумагоделательной машины; Krahm – расход крахмала.

Коэффициент множественной корреляции R (Multiple R) при этом равен 0,97. Уравнение объясняет 95% вариации переменной α . Все коэффициенты, входящие в уравнение значимы на уровне доверительной вероятности менее 5%. Все это говорит о высоком качестве полученной модели, что подтверждают и данные, приведенные на рис.4.17.

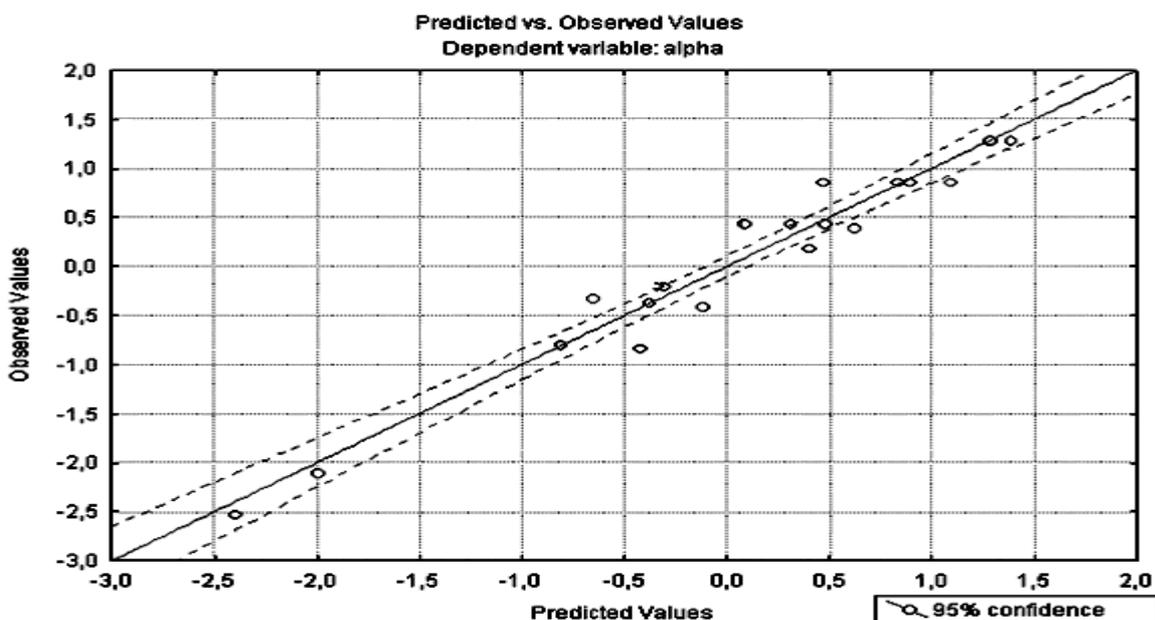


Рис.4.17. График предсказанных по модели (Predicted Values) и действительных значений (Observed Values) α

С учетом уравнения (4.2.4) можно записать выражение для интервала яркостей растровых полей с запечатываемой площадью от 50 до 100%

$$\Delta_{50-100} = 1,25 + 43 \cdot \text{AKD} - 13 \cdot \text{Napol} - 11 \cdot \text{Brak} + 30 \cdot \text{C} - 21 \cdot \text{V} - 12 \cdot \text{Krahm}. \quad (4.2.7)$$

Поскольку исследованию подлежит интервал яркостей Δ_{50-100} , присутствие в уравнении (4.2.7) AKD и крахмала выглядит вполне закономерным, так как данные качества печати во многом зависят от поверхностных свойств бумажного полотна.

Известно, что одним из наиболее важных свойств бумаги для офисной техники является характер ее взаимодействия с красителями струйной и тонером электрофотографической печати. Этот характер в существенной мере определяется степенью проклейки бумаги.

В качестве агентов для нейтральной проклейки офисной бумаги доминирующее положение занимают синтетические проклеивающие материалы, в частности алкилкетендимеры (AKD). AKD вступает в

химическую реакцию с целлюлозой, образуя химическую ковалентную связь, которая обеспечивает высокую устойчивость целлюлозной поверхности по отношению к жидкости.

Обычно для проклейки в массе наряду с АКД в качестве второго проклеивающего агента применяется катионный крахмал. Режим проклейки с АКД и катионным крахмалом обеспечивает достижение устойчивой высокой гидрофобности бумаги. Степень проклейки бумаги повышается по мере увеличения удержания частиц клея на волокне и наполнителе.

При оптимальных расходах АКД дисперсные частицы клея равномерно адсорбируются на целлюлозном волокне и мелочи. Наблюдается так называемая гетерофлокуляция, обеспечивающая хорошее удержание клея, что в свою очередь повышает степень проклейки бумаги. При перерасходе АКД наблюдается так называемая гомофлокуляция частиц клея, приводящая к образованию крупных агломератов, что снижает удержание клея. При увеличении расхода АКД степень проклейки бумаги увеличивается и проходит через максимум. В отдельных случаях крахмал добавляется для диспергирования. Так, например, для улучшения формования тонких бумаг добавляется значительное количество крахмала, достигающее 12—15% от веса волокна.

Уравнение (4.2.7) позволяет не только оценить степень влияния основных параметров технологического процесса производства бумаги на интервал яркостей Δ_{50-100} , но и решать вопросы управления печатными свойствами бумаги.

Так из данного уравнения следует, что наибольшее влияние на печатные свойства оказывает не только содержание АКД, но и концентрация массы C в напорном ящике. Улучшения печатных свойств можно добиться и/или увеличив содержание АКД, и/или увеличив C , и/или уменьшая скорость V , и/или брак ($Brak$), и/или содержание наполнителя ($Napol$), и/или крахмала ($Krahm$).

Таким образом видно, что задача - как и чем управлять - не проста в своем решении. Однако полученная модель дает представление о направлении и величинах изменения технологических параметров производства бумаги для улучшения печатных свойств.

Следует иметь в виду, что выбор управляющих параметров связан как с экономическими соображениями (увеличение содержания АКД или уменьшение скорости приводит к удорожанию бумаги), так и с необходимостью учитывать влияния параметров производства бумаги на ее прочностные свойства.

4.3. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати

Эффективность применения системного подхода была оценена применительно к таким показателям качества печати, как

- градационная передача;

- контраст печати;
- оптическая плотность плашки,
- площадь цветового охвата в пространстве $a^* b^*$;
- объем цветового охвата в пространстве $L^*a^*b^*$.

Для анализа влияния параметров процесса производства бумаги на указанные качества были рассмотрены образцы офсетной бумаги марки С Светогорского целлюлозно-бумажного комбината массой 85г/м^2 с сопутствующими параметрами их производства.

Для оценки градационной передачи использовался один из методов ее оценки [33], основанный на учете особенностей тонопередачи на разных участках градационной кривой (света, полутона и тени). Определение показателя градационной передачи (n) в этом случае заключается в подсчете числа порогов светоразличия в каждой области по следующему выражению:

$$n = \frac{\Delta D_{0-25\%}}{\Delta D_1} + \frac{\Delta D_{25-75\%}}{\Delta D_2} + \frac{\Delta D_{75-100\%}}{\Delta D_3}, \quad (4.3.1)$$

где ΔD_i - число переходов оптической плотности, выраженное в значениях пороговой чувствительности глаза для ахроматических изображений и в цветовых различиях при соблюдении баланса «по серому» для цветных изображений ($i = 1,2,3$). Для черного цвета для трех указанных участков значение пороговой чувствительности соответствует средним значениям, определенным по Лаури: $\Delta D_1=0,01$, $\Delta D_2=0,02$ и $\Delta D_3=0,31$.

Измерения оптических плотностей производились спектроденситометром SpectroEye.

Контраст печати (K) определялся по следующей формуле

$$K = \frac{D_{100} - D_{80}}{D_{100}}, \quad (4.3.2)$$

где D_{100} - плотностью сплошного красочного слоя;

D_{80} - значение оптической плотности 80% растрового поля.

С помощью этого параметра определяют возможность воспроизведения деталей яркости в тенях изображений.

Измерения производились также с помощью спектроденситометра SpectroEye.

Оптическая плотность сплошного красочного слоя задает верхний предел интервала оптических плотностей печати и, тем самым, число различимых градаций яркости оттисков. Она является одним из важнейших показателей качества печати, что и обусловило ее выбор для исследования.

Показатели цветового охвата позволяют оценить максимальное количество цветов, которые способна воспроизвести печатная система [34]. Одна из количественных оценок цветового охвата производится по площади шестиугольника - проекции тела цветовой модели Lab МКО на плоскость a^*b^* , вторая - по величине объема цветового охвата в пространстве $L^*a^*b^*$. Расчет площади и объема цветового охвата

производится по координатам цвета полей, представленных на тест-объекте - цветовой мишени Gretag Macbeth Eye One RGB Target 1.5 (рис. 4.18), измеряемым с помощью спектрофотометра Spectro Scan Gretag Macbeth. Данный тест-объект печатался на струйном принтере HP Desk Jet 1125 с разрешением 25 лин/мм (600 dpi).

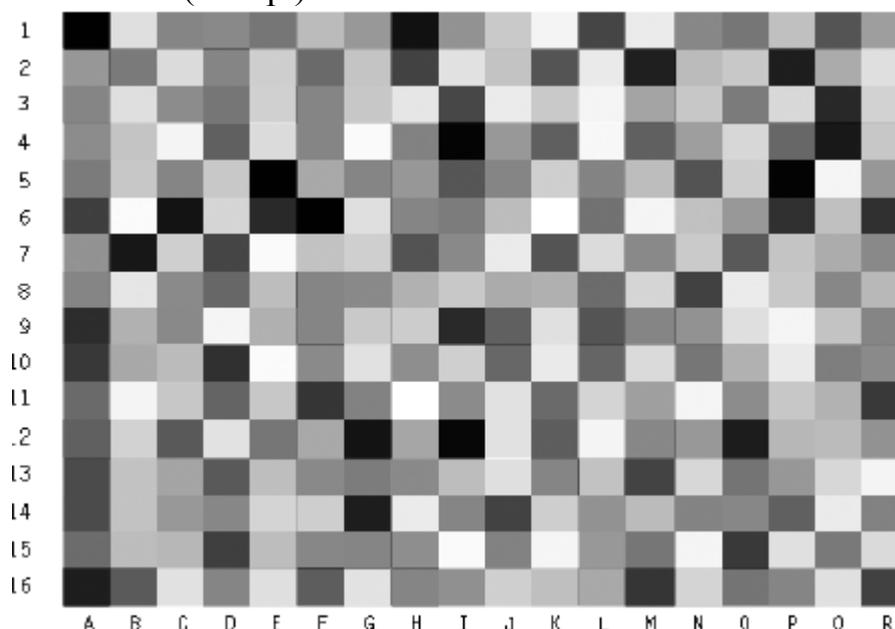


Рис.4.18. Цветовая мишень Gretag Macbeth Eye One RGB Target 1.5 для определения показателей цветового охвата

По полученным значениям $L^*a^*b^*$, с использованием программной оболочки программы MATLAB, рассчитывались значения площади и объема цветового охвата, а также создавались их графические представления в виде точечного и плоского шестиугольника и в виде точечного и объемного многоугольника, соответственно. Алгоритм, используемый в MATLAB, позволяет выполнять триангуляцию неравномерно распределенных пространственных данных и строить по этим данным объемные каркасные модели, аппроксимирующие объем и форму их поверхности. В MATLAB этот алгоритм реализуется с помощью функций **convhull** (двухмерная триангуляция данных по алгоритму QHull) и **convhulln** (многомерная триангуляция данных по алгоритму QHull) [54].

Модификация программы осуществляет построение объемной модели тела цветового охвата, окрашивая ее грани в соответствующие им цвета с использованием средств трехмерной визуализации.

Алгоритм расчета площади и объема тела цветового охвата и представления их в графическом виде представлен ниже:

```
%Вычисляет объем и строит тело цветового охвата
abL = [a b L];
[C,V] = convhulln(abL);
axis([-100 100 -100 100 0 100]); axis equal;
grid on; xlabel('a*'); ylabel('b*'); zlabel('L*'); title("");
view(-44,17);
for i = 1 : size(C,1);
```

```

j = C(i,[1 2 3]);
patch('XData',a(j,1),'YData',b(j,1),'ZData',L(j,1),'FaceVertexCData',RGB(j,:), 'Edge
Color','none','FaceColor','interp');
end;
clear i j abL C.

```

Примеры полученных моделей площади и объема цветового охвата показаны на рис. 4.19, 4.20.

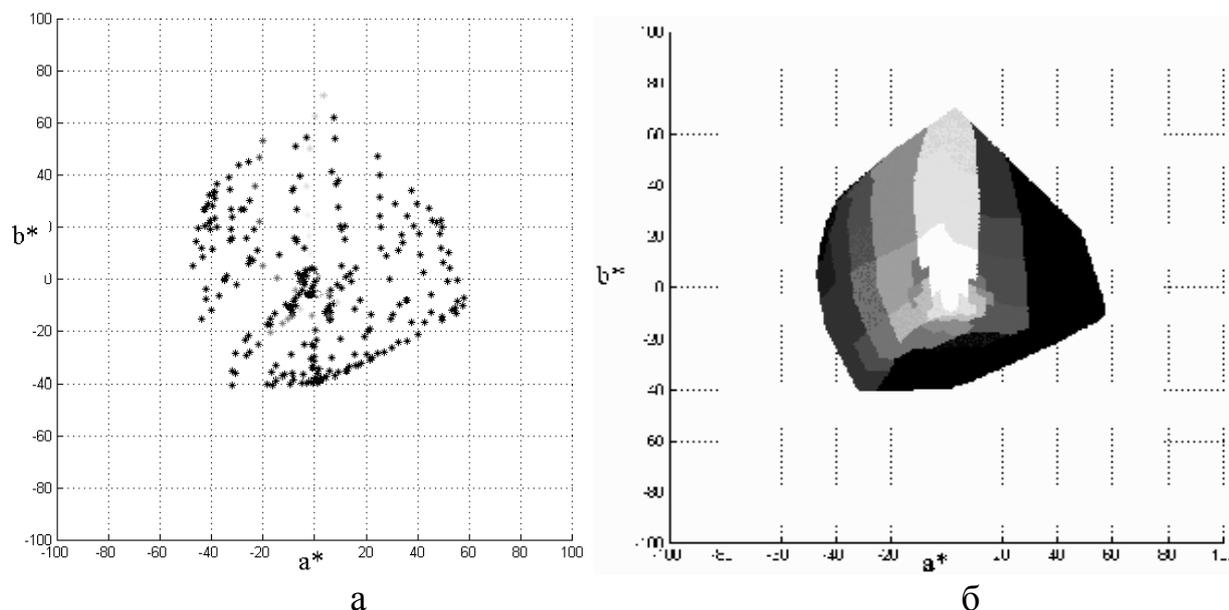


Рис. 4.19. Точечная (а) и плоская(б) модели цветового охвата в пространстве a^*b^*

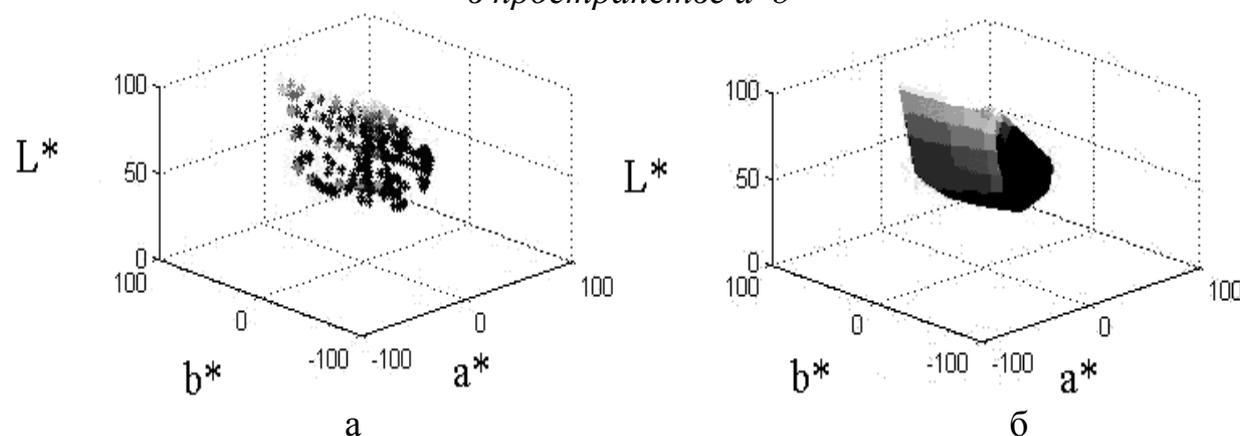


Рис. 4.20. Точечная(а) и объемная (б) модели тела цветового охвата в пространстве $L^*a^*b^*$

Статистический анализ влияния параметров процесса производства бумаги на показатели качества печати был осуществлен поэтапно, как в разделе 4.1: на первом этапе был применен метод Розенбрука для оценки нелинейных зависимостей между параметрами с помощью функций регрессии, состоящих из двух участков прямых, разделенных точками разрыва, затем для каждого из участков был применен метод множественной регрессии, позволивший определить коэффициенты уравнений регрессии и оценить их значимость на 5% уровне.

В качестве параметров процесса производства бумаги были рассмотрены те же параметры процесса производства бумаги: процентное содержание хвойной целлюлозы и брака в композиции (Хвоя, Брак - L_{hv} , Brak соответственно); расход крахмала в массу (KrV); расход АКД (алкилкетендимер); расход бентонита и перкола - двойная полимерная система для удержания мелочи и наполнителя (бентонит, перкол - Ben, Per соответственно); расход крахмала, подаваемого на клеильный пресс (KrC); расход наполнителя (Napol); степень помола (Shp), и концентрация массы в напорном ящике (C), - за исключением скорости БДМ (V) и соотношения скорость сетки/скорость напуска ($V1/V2$), поскольку в процессе эксперимента они оставались постоянными.

На рис.4.21 и 4.22, в качестве примера, приведены основные результаты множественного регрессионного анализа для показателя «объем цветового охвата» до и после точки разрыва соответственно.

Regression Summary for Dependent Variable: Vcol (данныебум)

R= ,93684928 R?= ,90479753 Adjusted R?= ,86132921

F(8, 38)=21,505 p<,00000 Std.Error of estimate: 309,45

N=46	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(38)	p-level
Intercept			142671,8	10801,28	13,20878	0,000000
Ben	-0,597931	0,086957	-2103,0	305,83	-6,87615	0,000005
Shp	0,191691	0,081077	104,0	43,99	2,36431	0,031975
Brak	-0,560308	0,082688	-77,1	11,37	-6,77619	0,000006
Ph	0,619216	0,089160	3949,4	568,67	6,94499	0,000005
KrV	0,310462	0,095597	689,8	212,39	3,24760	0,005410
C	-0,353778	0,081797	-8313,2	1922,10	-4,32507	0,000601
Per	0,359586	0,088186	14782,9	3625,39	4,07759	0,000990

Рис.4.21. Параметры линейной регрессионной модели объема цветового охвата (Vcol) до точки разрыва ($R = 0,97$)

Regression Summary for Dependent Variable: Vcol (данныебумагапечаты)

R= ,90599921 R?= ,82083457 Adjusted R?= ,73125186

F(7, 41)=9,1629 p<,00004 Std.Error of estimate: 580,22

N=48	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(41)	p-level
Intercept			288670,58	35713,09	8,08	0,00
Ben	0,97	0,16	4549,55	764,54	5,95	0,00
C	0,94	0,14	34199,32	5056,26	6,76	0,00
KrC	-0,59	0,13	-251,93	55,99	-4,50	0,00
Ph	-0,62	0,16	-5201,51	1378,41	-3,77	0,00
Zol	-0,58	0,16	-4741,87	1290,99	-3,67	0,00
Napol	0,37	0,12	25,50	8,55	2,98	0,01

Рис.4.22. Параметры линейной регрессионной модели объема цветового охвата (Vcol) после точки разрыва ($R = 0,91$)

В табл. 4.9 представлены результаты статистического анализа (β - коэффициенты уравнений регрессий для каждого из двух участков аппроксимируемых данных) для всех рассматриваемых показателей качества печати.

Таблица 4.8 Статистические значения показателей качества печати и параметров производства бумаги

n - показатель градационной передачи;

Scol - показатель цветового охвата на плоскости a^*b^* ;

Vcol - показатель объема цветового охвата в пространстве $L^*a^*b^*$;

K - контраст печати;

D₁₀₀ - оптическая плотность сплошного красочного слоя.

Значения	K	D ₁₀₀	n	Vcol	Scol
Минимальное	0,1	0,907	71	176020	7948
Среднее	0,15	0,997	78	181486	8121
Точка разрыва	0,15	0,997	78	181433	8116
Максимальное	0,29	1,33	85	186040	8278
Коэффициент вариации	127%	42%	18%	6%	4%

Параметры процесса		Минимальное значение	Среднее значение	Показатели качества печати					Максимальное значение	Коэффициент вариации
				K	D ₁₀₀	n	Vcol	Scol		
		Значения параметров процесса производства бумаги в точках разрыва								
AKD	AKD кг/т	0,15	1,43	1,40	1,42	1,50	1,53	1,50	1,68	107%
Брак	Brak %	10	20	25	22	18	19	21	30	102%
Крахмал поверхностный	KrC кг/т	17,5	19,7	19,5	19,4	20,1	21,1	19,7	30	64%
Бентонит	Ben кг/т	1,1	1,6	1,7	1,7	1,5	1,5	1,45	2,1	61%
Перкол	Per кг/т	0,1	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,19	60%
Мощность мельниц	N кВт.ч	4,0	4,6	4,1	5,2	5,0	4,7	4,8	6,3	50%
Содержание хвойной целлюлозы	Lhv %	25	32	32	30	33	30	31	40	47%
Крахмал в массе	KrV кг/т	5,7	6,8	6,45	6,8	6,8	6,95	6,8	7,8	31%
Помол ШР ⁰	Shp ШР ⁰	24	27	28	27	27,5	27	27	31,5	27%
Наполнитель	Napol кг/т	181	140	193	182	191	179	184	219	27%
Удержание наполнителя	UdNap %	65	69	68	69	70	68	68	77	17%
Концентрация массы	C %	0,8	0,88	0,87	0,9	0,89	0,88	0,89	0,95	15%
pH	pH	8,3	8,5	8,7	8,5	8,5	8,5	8,5	9,0	8%
Зольность	Zol %	21	22	22	22	22	22	22	23	6%

 - цветом выделены параметры процесса производства бумаги, оказывающие значащее влияние на показатели качества печати

Таблица 4.9

β -коэффициенты линейных регрессионных уравнений на линейных участках до (До) и после (После) точек разрыва

R	0,87	0,8	0,8	0,93	0,89	До
	0,92	0,90	0,86	0,91	0,85	После
	<i>K</i>	<i>D</i> ₁₀₀	<i>n</i>	<i>V</i> _{col}	<i>S</i> _{col}	Области аппроксимации относительно точек разрыва
AKD	0,22	0,42			-0,21	До
		-0,53				После
Brak	0,59			-0,6	-0,54	До
			-0,41			После
KrC	0,22					До
			-0,57	-0,59		После
Ben				-0,59	-0,34	До
	0,53	0,43	0,45	0,97	0,43	После
Per	0,26	0,31	0,96	0,36		До
	-0,6	-0,61			0,65	После
N		-0,53	0,63			До
		-0,42				После
L _{hv}		-0,27				До
	0,45					После
KrV	-0,27		-0,98	0,3	0,34	До
		0,6				После
Shp	0,31			0,19		До
		0,27	-0,42			После
Napol	0,47	0,39	0,67			До
			-0,63	0,37		После
UdNap						До
					0,19	После
C				-0,35		До
				0,94	-0,78	После
Ph			0,87	0,62		До
	0,22			-0,62	-0,62	После
Zol			-0,66			До
		0,5	0,61	-0,58	-0,68	После

В табл. 4.9 выделены β -коэффициенты, полученные для значимых параметров процесса производства бумаги. Данные коэффициенты (столбец «Beta» на рис. 4.21, 4.22) рассчитываются по стандартизованным значениям переменных.

Таблица 4.10

Регрессионные уравнения для показателей качества печати

Регрессионные уравнения	ДО и ПОСЛЕ точек разрыва
$D_{100} = 0,83 - 0,02 N + 0,04 AKD + 0,001 Napol - 0,002 Lhv + 0,31 Per$	ДО
$D_{100} = - 2,31 Per + 0,14 KrV - 0,47AKD + 0,12 Zol - 0,06 N + 0,18 Ben$	ПОСЛЕ
$K = 0,002 Brak + 0,0004 Napol + 0,003 Shp + 0,014 AKD + 0,19 Per - 0,01 KrV + 0,002 KrC$	ДО
$K = 0,005 - 1,17 Per + 0,11 Ben + 0,005 L_{hv} + 0,09 Ph$	ПОСЛЕ
$n = 89,8 + 80 Per - 4,26 KrV + 11,6 Ph - 5,18 Zol + 1,37 N + 0,06 Napol$	ДО
$n = 112 - 0,52 KrC - 0,04 Napol - 0,07 Brak + 1,8 Ben + 4,2 Zol$	ПОСЛЕ
$Scol = 9341 - 3,2 Brak - 69 AKD - 48,6 Ben + 34,7 KrV$	ДО
$Scol = 9637 + 699 C - 120 Ph + 758 Per - 62 Zol - 120 Ph + 1,8 UdNap + 53 Ben$	ПОСЛЕ
$Vcol = 142672 - 77 Brak + 3949 Ph - 2103 Ben + 14783 Per + 104 Shp + 690 KrV - 8313 C$	ДО
$Vcol = 288671 + 34199 C + 4550 Ben - 252 KrC - 5201 Ph - 4742 Zol + 25 Napol$	ПОСЛЕ

Чем больше значение любого из исследуемых показателей качества печати, тем печатные свойства бумаги лучше.

В связи с этим большой интерес на первых шагах стабилизации процесса с точки зрения печатных свойств бумаг представляет информация, заключенная в β -коэффициентах до точек разрывов, т.е. для малых значений показателей качества печати. На основании ее можно настроить процесс производства бумаги таким образом, чтобы попасть в область относительно высоких показателей качества печати. Далее, стабилизировав процесс, следует уточнить модели для более узких диапазонов изменения параметров процесса производства бумаги и вывести показатели качества печати на возможно большие и, следовательно, лучшие значения.

Из данных табл. 4.9 следует, что влияние параметров производства бумаги на показатели качества печати носит нелинейный характер. На это указывают не только различные значения коэффициентов для участков до и после точек разрыва, но и их знаки.

В табл. 4.9 коэффициенты параметров процесса производства бумаги, наиболее значимых для показателей качества бумаги, выделены черным фоном, исходя из того, что различная значимость коэффициентов признается при различии более чем в 1,3 – 1,5 раза [55].

В табл. 4.10 даны регрессионные уравнения для исследуемых показателей качества печати. Они получены с использованием значений

коэффициентов, представленных на рис. 4.21, 4.22 (столбец В). Здесь параметры, оцененные как более значимые, также выделены жирным шрифтом. Данные уравнения позволяют оценить, насколько изменится тот или иной показатель качества печати при изменении конкретного параметра процесса производства бумаги.

В табл.4.8 даны минимальные, максимальные, средние значения, а также коэффициенты вариации, выраженные в процентах, для всех рассматриваемых переменных.

Следует отметить, что для всех параметров процесса производства бумаги точки разрыва аппроксимирующих участков линий регрессии лежат в области их средних значений. Это позволяет сформулировать рекомендации по выбору данных параметров для обеспечения требуемых показателей качества печати.

В табл. 4.9 показатели качества печати расположены слева направо по мере убывания их коэффициентов вариации, а параметры процесса производства бумаги по тому же принципу, но сверху вниз.

Из полученных данных следует, что наибольшее влияние изменения параметров процесса получения бумаги оказывают на контраст печати (K), оптическую плотность сплошного красочного слоя (D_{100}), в меньшей мере на показатель градационной передачи (n) и с практической точки зрения мало влияют на показатель объема цветового охвата в пространстве $L^* a^* b^*$ (V_{col}) и показатель цветового охвата на плоскости $a^* b^*$ (S_{col}).

Сравнение результатов, полученных при печати тем же струйным принтером, но на глянцевой бумаге Lomond gloss photo, для которой $V_{col} \approx 430\ 500$, а $S_{col} \approx 13\ 300$, позволяет оценить печатные свойства Светогорской бумаги Sveto Copy как посредственные ($V_{col} \approx 186\ 000$, а $S_{col} \approx 8\ 300$). Однако, учитывая назначение и стоимость, Светогорскую бумагу можно отнести к приемлемым для офисной печати. Так, при печати на ней лазерным принтером HP Color Laser Jet2600n $V_{col} \approx 330\ 500$, а $S_{col} \approx 11\ 000$, а на бумаге Lomond gloss photo $V_{col} \approx 500\ 000$, а $S_{col} \approx 13\ 500$.

Большой разброс K и D_{100} нежелателен и обусловлен необоснованно большими изменениями АКД, брака, поверхностного крахмала, бентонита, перкола, мощности мельниц, содержания хвойной целлюлозы, крахмала в массе, помола и наполнителя.

С учетом рассмотренных особенностей построения табл.4.9 и сделанных выводов для выработки практических рекомендаций по улучшению печатных свойств бумаги необходимо обратиться к левой половине таблицы.

Из приведенных данных следует, что АКД следует держать в области средних значений, как и брак, поскольку увеличение последнего не скажется на показателе градационной передачи и оптической плотности D_{100} .

Количество бентонита (Ben) можно повышать, поскольку это приведет к улучшению контраста.

Перкол следует выбирать в области его средних значений, при которых показатели градационной передачи n и оптической плотности D_{100} будут иметь максимальные значения при фиксированных других параметрах процесса производства бумаги.

Содержание хвойной целлюлозы (L_{hv}) можно увеличивать при необходимости повышать контраст печати.

Наполнитель (Napol) достаточно брать в районе его средних значений, что позволит достигать возможно большего контраста печати K .

Высокие коэффициенты корреляции между параметрами процесса производства бумаги и показателями качества печати открывают широкие возможности совершенствования печатных свойств бумаг с учетом особенностей конечной печатной продукции, в то время как оперирование промежуточными параметрами (показателями качества бумаги) такой возможности до сих пор не предоставляло.

Поскольку обеспечить одновременно наилучшие значения показателей качества печати нереально, в силу различия их свойств, выбор каждого из параметров процесса производства бумаги в качестве управляющего должен быть сделан с позиции приоритета одних качеств печати перед другими. Этот приоритет, как было отмечено ранее, зависит от конкретного вида печатной продукции.

Насколько стабильно ведут себя экспериментальные образцы бумаги в печати, свидетельствуют данные, представленные в табл.4.8. Здесь коэффициенты вариации определялись как отношения диапазонов изменения параметров процесса производства бумаги и показателей качества печати к их средним значениям, выраженные в процентах.

Необходимо заметить, что бумага, исследованная в работе, соответствовала предъявляемым к ней требованиям по белизне, влажности, массе m^2 и т.п. Однако, как следует из табл.4.8, она оказалась весьма нестабильной по таким показателям качества печати, как контраст (127%), оптическая плотность оттиска (42%), показатель градационной передачи (18%).

Такая нестабильность – причина многих дефектов печати, таких как разнооттеночность оттисков, потеря тона в полутонах и тенях и т.п.

Это еще раз подтверждает высказанное положение о том, что управлять потенциальными печатными свойствами бумаги, основываясь лишь на традиционных показателях качества бумаги, без информации о показателях качества оттисков неэффективно.

4.4. Комплексный подход к оценке и формированию печатных свойств бумаг

Рассмотренные показатели качества печати характеризуют свойства бумаги как носителя информации.

Поскольку в разных видах печатной продукции показатели качества играют разную роль, требования к ним формируются экспертами. В комплексном показателе качества, получаемом с использованием методов квалитметрии [33], по экспертным оценкам определяются весовые коэффициенты при относительных значениях показателей качества печати. За относительные значения принимаются величины показателей оттисков, отнесенные к показателям, принятым за базовые, в качестве которых обычно принимаются лучшие образцы достигнутого.

Однако, как отмечалось в главе 1, не менее важными являются и механические свойства бумаг, свойства их поверхности, способности бумаги к проводке и т.п.

Рассмотрим некоторые примеры проявления таких свойств бумаг в офсетной печати, приводящие к дефектам.

Так, в случае бумаг, имеющих слабый поверхностный слой и недостаточную степень проклейки, происходит выщипывание волокон поверхностного слоя с последующим оседанием на офсетную резину, валы, печатную форму, что приводит к частым остановкам для смывок и, как следствие, к разнооттеночности при печати.

По-иному ведут себя бумаги с высокой степенью поверхностной проклейки, с большим содержанием наполнителей. При печати на этих бумагах происходит «забивание» бумажной пылью печатающих элементов, что приводит к снижению качества оттиска, изменению цветопередачи. Из-за плохой пропечатки в связи с высокой степенью пыльности затрудняется работа сканирующего спектрофотометра по «считыванию» контрольных шкал. Бумажная пыль загрязняет валы, офсетные резины (медные валы и резинотканевое полотно приходится смывать вручную), «подшлифовывает» формы, что значительно увеличивает затраты, время прохождения тиража в печати, а также вызывает трудности при переходе с одного тиража на другой, особенно, если следующий заказ печатается на мелованной бумаге, имеющей большой формат.

Вызывают определенные трудности в печати бумаги, легко изменяющие свою равновесную влажность и требующие длительной акклиматизации. При печати нередко отмечается двоение по заднему полю, «морщение», объёмная деформация бумажных листов, так как бумага изменяет равновесную влажность очень быстро и неравномерно по периметру листа.

Бумаги, имеющие неравномерную структуру, снижают полноту пропечатки сюжетов, требующих четкой проработки в полутонах и «тенях» из-за низкой разрешающей способности бумаги, невозможности печати с линиатурой 150 lpi и 175 lpi. При увеличении подачи краски, как правило, происходит снижение контраста печати в «тенях».

Важной является линейная деформация бумаги при увлажнении, особенно для работы на машинах с одновременной двухсторонней печатью без переворота. Здесь нестабильность данного показателя «от листа к листу» приводит к двоению при печати.

Приведенные немногочисленные примеры позволяют понять, что, при выборе бумаги для печати конкретного заказа, сведений о показателях качества печати явно недостаточно.

Так, выбирая в качестве параметров, подлежащих изменению, расходы наполнителя и крахмала для поверхностной проклейки, следует исходить не только из того, какое влияние они оказывают на показатели качества печати (контраст, цветовой охват и т.п.), но и учитывать возможные негативные последствия неправильного выбора: выщипывание, пылимость, абразивность поверхности, марашки, пузырьки в красочном слое оттисков, осыпание краски (меление), неприводку (несовмещение изображений на оттиске). Здесь главными причинами являются слабая проклейка, низкая прочность поверхности мелованной бумаги, наличие абразивных вкраплений в бумаге и т.п. (приложение 2).

При выборе в качестве управляющих расходов хвойной целлюлозы или брака, следует иметь в виду, что в этом случае бумаги будут менее пористыми, более плотными, а это приведет к большей их склонности к скручиванию, изменению размеров из-за содержащейся в них влаги.

Таким образом, при выборе параметров процесса производства бумаги под конкретный вид печатной продукции следует рассматривать требования к свойствам бумаги для печати с двух точек зрения:

качества печати;

возможности проводки через печатную машину.

Вместе с тем, необходимо учитывать основную цель, к которой необходимо стремиться как при изготовлении бумаги, так и при ее выборе: бумага должна обеспечивать требуемое качество печатной продукции при минимальных совокупных затратах, включающих и затраты на производство бумаги, и затраты на печать.

С этой точки зрения, уменьшение скорости производства бумаги или печати нежелательно. Также нежелательны увеличение времени на приладку печатного оборудования, затраты на смывки офсетных резинотканевых пластин, на дополнительную запечатку олифой, прогон через печатную машину без запечатывания и другие непроизводительные операции.

Оценке должна подлежать и стоимость применяемых компонентов при изготовлении бумаги и расходных материалов при печати. Так АКД, перкол и бентонит – дорогостоящие, по сравнению с наполнителями и мелом, компоненты. Однако избыток наполнителя, мела вызывает не только пыление, но и истирание форм, а при электрофотографической печати - истирание печатных головок.

На рис.4.23 показана последовательность выбора параметров процесса производства бумаги на основании табл. 4.9 для управления ее печатными свойствами, с учетом возможных дефектов при проводке бумаги через печатную машину и совокупных затрат на печать.

В качестве конечного результата всех рассмотренных этапов дается формирование желаемого для полиграфиста сертификата на бумагу, которым следовало бы со стороны бумажников сопровождать их продукцию.



Рис.4.23. Комплексный подход к формированию печатных свойств бумаг

Практически весь риск выбора требуемой для печати бумаги ложится на печатника, что в корне не верно. Логика существующего на сегодня отношения к качеству продукции, выраженная в стандартах ISO 9000:2000, диктует необходимость того, чтобы производитель продукции лучше

потребителя знал свойства своего продукта с точки зрения его ценности для потребителя. Это знание необходимо не только для удовлетворения потребностей печатника, но и для разработки, совершенствования и создания новых, в том числе оригинальных бумаг различного назначения, для различных печатных процессов и новых неожиданных полиграфических продуктов.

В пособии рассмотрена лишь одна, но важная часть - основа решения задач совершенствования печатных свойств бумаг: предложены методы и средства достижения требуемых печатных свойств бумаг по информации о показателях качества печати.

Поскольку спрогнозировать все стороны бумажного и полиграфического производства не представляется возможным, совместная, системная работа бумажников и печатников, имеющих одну общую цель – снижение совокупных затрат при достижении необходимого качества печати, является крайне необходимой.

Существенное увеличение цветной иллюстративной компоненты в изданиях различного назначения усложнило проблемы печати, но одновременно привело и к существенному повышению стоимости готовой продукции. В этой ситуации объективно необходимыми выглядят дополнительные траты бумажников и полиграфистов, направленные на удовлетворение возросших запросов потребителей.

Печать – это реальный эксперимент, позволяющий судить о том, как свойства бумаги проявляют себя во взаимодействии с краской в конкретном печатном процессе.

Следует предположить, что сегодня для сертификации печатных свойств бумаг пришло время использовать стандартные печатные машины для каждого класса печатных процессов.

Важно, что при наличии сертификата таких печатных свойств, у печатника появится конкретная точка отсчета, относительно которой ему будет легче ориентироваться (со временем, по накоплению опыта) в выборе бумаги и параметров печати и, тем самым, обеспечивать конкурентоспособность печатной продукции, что с неизбежностью приведет и к конкурентоспособности отечественных бумаг.

Обобщения и выводы

1. В результате исследований влияния параметров процесса производства бумаги, в рамках предложенного системного подхода, на

- неоднородность (пятнистость) оттисков;
- градационную передачу;
- контраст печати;
- оптическую плотность плашки;
- площадь цветового охвата в пространстве $a^* b^*$;
- объем цветового охвата в пространстве $L^* a^* b^*$;
- интервал оптических плотностей, -

установлена существенно большая информативность полученных регрессионных моделей по сравнению с оценками влияния параметров качества бумаги на качество печати.

2. Предложенная методика проведения исследований предполагает тесное взаимодействие бумажников и печатников в решении задач повышения конкурентоспособности как бумаги, так и печатной продукции.

Реализация такой методики позволит полиграфисту получать понятные для него сведения о показателях качества печати на конкретных бумаге и печатном оборудовании.

Сопутствующие сведения о расходах краски при разных скоростях печати, стоимости бумаги с учетом возможных дефектов при проводке через печатное и послепечатное оборудование, а также с учетом отмеченных совокупных затрат позволят комплексно решать задачу выбора бумаги под требуемый заказ.

Для бумажников полученная в ходе предлагаемых исследований информация послужит лучшему пониманию требований потребителей – печатников к их продукции и, следовательно, повышению конкурентоспособности производимых бумаг.

3. В настоящее время, когда сертификация предприятий по стандарту качества ISO 9000:2000 требует выполнения принципа 6 (раздел 6.6, «Поставщики и партнеры»), касающегося взаимодействия поставщиков и потребителей, предлагаемая организация взаимодействия бумажников и печатников представляет конкретную реализацию как данного принципа, так и других принципов стандарта: системного подхода к управлению качеством, постоянного совершенствования, научного подхода при принятии решений, основанных на анализе фактов и т.д.

Заключение

1. Проведенный анализ понятия «печатные свойства бумаг» позволяет:

- определить данное понятие как комплексное, характеризующее как способности бумаги к проводке через печатную машину, так и как свойства, проявляющие себя в качестве печатного изображения;
- выявить существенные отличия цифровых видов печати от традиционных;
- выделить наиболее серьезные и часто встречающиеся дефекты иллюстрационной печати, связанные с бумагой;
- установить малую информативность ряда принятых в бумажной отрасли параметров качества бумаги для прогноза её поведения в печати и обоснованного выбора под конкретное печатное оборудование и вид печатной продукции;

- сформулировать задачу совершенствования печатных свойств бумаг как комплексную задачу в рамках системы «бумага – краска – оттиск», включающей как процесс производства бумаги, так и печать.

2. Проведенный анализ компетентности различных существующих оценок неоднородности бумажного полотна (облачности) в исследованиях влияния на неё параметров производства показал:

- неэффективность ряда существующих оценок облачности;
- практическую целесообразность применения таких классических характеристик случайных полей как среднеквадратичное отклонение и средний размер неоднородности.

3. Предложенный метод исследования механизмов впитывания краски бумагой дал возможность:

- получить регрессионные модели впитывания краски бумагой;
- изучить и объяснить механизмы впитывания краски флокулами и промоинами;
- предложить меры по устранению пятнистости при печати офисных документов, содержащих участки сплошного красочного слоя;
- разработать программное и аппаратное решение для задачи устранения пятнистости оттисков на неоднородных по структуре бумагах.

4. В результате исследования связи неоднородности структуры бумаг с цветовым различием оттисков, на основе полученной регрессионной модели данной связи, даны рекомендации по выбору бумаг с точки зрения их пригодности для иллюстрационной печати, с учетом стандарта на цветовое различие.

5. На основе информационного подхода исследован информационный потенциал бумаг как носителей информации. В качестве оценки этого потенциала рассмотрено количество различных градаций яркости оттисков - комплексный показатель, позволяющий судить о печатных свойствах бумаг. Доказано преобладающее негативное влияние на данный показатель пятнистости оттисков, что вместе с тем объясняет повышенное внимание, уделяемое именно неоднородности бумаг для иллюстративной печати - одной из главных причин частого появления такого неисправимого и серьезного дефекта оттисков, как пятнистость.

6. Предложенный метод описания неоднородности пространственных структур с помощью «функции рельефа» позволяет:

- представить неоднородную трехмерную структуру бумажного полотна в виде эквивалентных структур, отражающих масштаб и интенсивность неоднородности бумаги на просвет;
- ввести новые оценки неоднородности бумаги, а также наглядные графические модели флокул и промоин, дающие возможность для детального исследования процессов формирования бумажного полотна и управления ими в производственных условиях;
- использовать метрику эквивалентных структур для характеристики оттисков.

7. Сформулированный, обоснованный и реализованный системный подход показал свою эффективность в предложенных методах и средствах исследования комплекса «бумага – краска – оттиск».

8. Рассмотренная возможность аппаратной реализации печати тест-объектов на непосредственно производимом бумажном полотне позволит контролировать показатели качества печати и осуществлять настройку параметров процесса производства бумаги под требуемое качество печати.

9. Результаты исследования влияния параметров производства бумаги на ее неоднородность и неоднородность оттисков свидетельствуют о:

- нелинейном характере влияния данных параметров на неоднородность бумаги и оттисков;
- высокой информативности уравнений регрессии, характеризующих эти влияния.

10. Полученные модели влияния параметров производства на неоднородность бумаги и оттисков позволили сформулировать рекомендации по выбору этих параметров, обеспечивающих уменьшение неоднородности бумаги и улучшение ее печатных свойств.

11. В результате статистической обработки экспериментальных данных показано преимущество применения системного подхода к исследованиям печатных свойств бумаг по сравнению с существующими методами. Весомым доказательством этого явилась существенно большая компетентность моделей влияния параметров процесса производства бумаг на показатели качества печати (коэффициент множественной корреляции $R=0,8-0,9$), по сравнению с моделями влияния свойств бумаг на те же показатели ($R=0,5-0,6$).

12. С учетом комплексной природы печатных свойств бумаг и их разнообразия, дана систематизация этих свойств, с привязкой к конкретным показателям качества печати (свойство менять оптическую плотность оттисков, свойство менять цветовой охват и т.п.).

13. Полученные компетентные регрессионные модели связи основных показателей качества печати с технологическими параметрами производства бумаг, позволяют осуществлять целенаправленный выбор этих параметров для достижения наилучших печатных свойств при конкретной рецептуре изготовления бумажного полотна.

14. Предложенный комплексный подход к оценке и формированию печатных свойств бумаг основан на использовании не только информации о показателях качества печати, но и на оценках возможности бездефектной проводки бумаги через печатную машину, а также совокупных затрат на производство бумаги и печать.

Библиографический список

1. Вилсон А. Лоуренс. Что полиграфист должен знать о бумаге.- М.: Принт-Медиа, 2005.–376 с.

2. Pettersson T. Leveling During Toner Fusing: Effect of Surface Roughness and Gloss of Printed Paper // *Journal of Imaging Science and Technology*. 2006.-Vol 5. N.2.- P.202-205.
3. Oittinen P., Saarelma H. *Papermaking Science and Technology*. Printing. Helsinki: Jyvaskyla, 2000.–111p.
4. Lieng E. Correlations between formation analysis parameters and print Quality complex images //Norwegian University of Science and Technology Department of Engineering Cybernetics, 2000, N-7491.
5. Кларк Д.А. Технология целлюлозы // пер.с англ.– М.: Лесная промышленность, 1983.– 465 с.
6. Parker J.R. The Measurement of Printing Roughness // *Tappi*.1981. №12. P. 56 – 58.
7. Козаровицкий Л.А. Бумага и краска в процессе печатания.– М.: Книга, 1965.– 367 с.
8. George N. Ionides. Meaningful comparison of fourdrinier and twin-wire sheet formation with QNSM formation tester //*Tappi Journal*. - 1986. - Vol.67. N.3. - P.93.
9. Валенски В. Бумага + Печать // пер.с англ.- М.: Дубль В, 1996.–430с.
- 10.Флятте Д.М. Свойства бумаги.– М.: Лесная промышленность, 2000.– 680 с.
- 11.Легоцкий С.С., Гончаров И.Н. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 224 с.
- 12.Gorres J.. Sheet Formation from Flocculated Structures. // *Journal of Pulp and Paper Science*. 1989Vol. 15,; march. - P. J55 – J58.
- 13.Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. - М.: Лесная промышленность, 1984.–121с.
- 14.Махотина Л.Г., Мандре Т.В., Мандре А.Ю., Логинов О.А., Тесленко В.В., Аким Э.Л. Исследование влияния химикатов для флокуляции бумажной массы на процесс формования бумаги для печати // *Целлюлоза, бумага, картон*. - 2002. -№ 5-6. - с.20-27.
- 15.Kallmes O.J., Bishop B.S. Monitoring flocculation of the paper machine // *Tappi Journal*.– 2004.– Vol.77. N.7. – P. 194-198.
- 16.Huber P., Pierre C., Bermond C. Comparing the fiber flocculation behavior of several wet-end retention systems // *Tappi Journal*. – 2004.–Vol. 3. N. 5– P. 19-23.
- 17.Крамер Г., Лидбеттер М. Стационарные случайные процессы // пер.с англ. – М: Мир, 1969.
- 18.Kallmes O.J. The measurement of formation // *Tappi Journal*. – 1984.– Vol. 67. N. 11. – P. 117.
- 19.Jordan B.D. Specific Perimeter – a Graininess Parameter for Formation and Print-Mottle Textures // *Papperi ja Puu – Papper och Tra* 6-7/1986. - P. 476-482.
- 20.Zmeskal O., Nezadal M., Buchniecek M. Fractal Analysis of Printed Structures // *Journal of imaging science and technology*.– 2002.– Vol.46. N.5.– P.453-456.

21. Kerekes R. J. Effect of Fiber Length and Coarseness on Pulp Flocculation // *Tappi Journal*. 1992. Vol. 18. N2. – P. 133-139.

22. Kerekes R. J. Characterization of Fiber Flocculation Regimes by a Crowding Factor // *Journal of Pulp and Paper Science*. 1992. Vol. 18. N. 1. – P. 57-60.

23. Smith M.K. Formation potential of west coast kraft pulps // *Pulp & Paper Canada*, 19984, Vol. 87, N. 10. - P. 387-394.

24. Отраслевой стандарт. Бумага. Неоднородность просвета. Номенклатура показателей. ОСТ 13-299-87.

25. Kipman Y. A New Method of Measuring Gloss Mottle and Micro-Gloss Using A Line-Scan CCD-Camera Based Imaging System // *NIP 17: 1998 International Conference on Digital Printing Technologies*. - P. 714-717.

26. Bernie J.P., Douglas J.M. "Exploration of the print quality - paper formation relation", Process and product quality conference and trade fair, Jacksonville, FL, USA, 1997, 28 Sept.-3 Oct. - P. 73-77.

27. Bernie J.P., Romanetti J.L., Douglas J.M. Use of components of formation for predicting print quality and physical properties of newsprint // 86th Annual meeting Pulp and Paper Technical Association of Canada, - Montreal, Que, Canada - P. A285-A291, (2000).

28. Bernie J.P., Douglas J.M. Local grammage distribution and formation of paper by light transmission image analysis // *Tappi*, 1980 – Vol. 79. N1. - P. 193.

29. Ness C., Göttching L. Formation of paper and mottling of solid prints // *Papier*, 1996. - Vol. 50, N3. – P. 107, 110-118.

30. Shallhorn P.M., Heintze H.U. Offset printing and the formation of uncoated fine papers // Process and product quality conference. Cincinnati, OH, USA. 1996, - P. 109-112.

31. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учебное пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. - 239 с.

32. Лотар З. Статистическое оценивание // пер. с англ. — М.: Статистика, 1976. – 256 с.

33. Лихачёв В.В. Основы управления качеством печатной продукции. – М.: Мир книги, 1999. – 210 с.

34. Кузнецов Ю.В. Технология обработки изобразительной информации. - СПб.: Петербургский институт печати, 2002. – 312 с.

35. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства. – М.: Московский государственный университет печати, 2003. – 1280 с.

36. Lieng E. Short – run Printing – Influence of Paper on Print Quality // Norwegian University of Science and Technology Department of Engineering Cybernetics, 2000, N-7491. - P. 111-124.

37. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.1. Сырьё и производство полуфабрикатов. Ч.3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

38. Neimo L. Papermaking chemistry. – Finland, Helsinki, 1999. – 320 p.

39. Крылатов Ю.А., Афанасьев Н.И., Крылатов А.Ю., Дикунец А.А. Новое в технологии удержания, обезвоживания, формования бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2003. – № 7-8. – С.26-30.

40. Барышникова Ю.С., Заславский Г.М., Лупян Е.А., Моисеев С.С., Шарков Е.А. Фрактальная размерность ИК-изображений облачности и свойства турбулентной атмосферы // Исследование Земли из космоса. – 1989. – №1. – С.17-26.

41. Облачность бумаги. Измерение. Влияние на качество оттисков. Современные достижения в производстве и использовании бумаги и картона для печати / В.Н. Леонтьев // Тезисы докладов. Санкт-Петербург 17-19 февраля 2004.

42. Kajanto I.M., Effect of formation on print quality: Interdependence between local grammage and print density, Paper presented at 24th EUCERA Conference 1990: Print held 8-11 1990 may at Sweden, Stockholm, - P. 381-396.

43. Farrell M., Chen J., Lauber D. Alberta Newsprint analyzes process, sheet property impacts on printing // - Pulp & Paper, 2002. Vol. 76, N 9. - P. 49-52.

44. Trollsås P.O. Influence of small-scale grammage variation on print quality, Paper presented at the TFL International Multidisciplinary Symposium, - Sweden, Stockholm, 1987. - P.19-36.

45. Kajanto I.M. The effect of formation on absolute print unevenness in offset printing, Pap. Puu. -1990. - Vol. 72, N6. - P. 600-610.

46. Erho T., Antilla M., Makkonen T., Lammila K., Sarela S. A new method of estimating print quality, 83 Annual meeting technical section - paper, people, progress. Canada, Montreal, Que, 1997, 28-31 Jan. - P. B267-B271.

47. Lyne M.B., Jordan B.D. Image analysis applied to print quality // TAPPI, 1979, - Vol. 62, N 12. - P. 95-96.

48. Определение времени фильтрации фильтровальной бумаги на основе ее оптических свойств / Леонтьев В.Н. // Машины и аппараты ЦБП: межвуз. сб. науч. тр./ СПбГТУРП. СПб., 1994. - С. 45-47.

49. Ottinen P. Paper in Printing. Papermaking Science and Technology // The Finish Paper Engineers Association. - 2000. – В. 13, Ch. 8. - P.239-242.

50. Sabater K. Evaluation de l'épair en continu: une reality industrielle // Revue ATIP 1985. - V39. №1. - P. 9-14.

51. Ming-Kai Tse. Automated Print Quality Analysis In Inkjet Printing: Case Study Using Commercially Available Media // IS&T Inter.Conf. on Digital Print Techn., Toronto, 1998.

52. Брянский Л.Н. и др. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. - М.: ВНИИФТРИ, 2004. - С.69.

53. Fiorini M. Scale e sistemi di controllo in stampa. // Technologia grafica, Scuola Grafica "SAN ZENO", 1996. - P.399-423.

54. Barber C.B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H.T. The Quickhull Algorithm for Convex Hulls. [Текст] // ACM Transactions on Mathematical Software, 1995. Vol.22, N4. - P.469 – 483.

55. Новицкий П.И., Зограф И.А., Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1991. - 304 с.

Приложения

Приложение 1

Обозначения, принятые в пакете Statistica

В верхней части окна регрессионного анализа программы Statistica приводятся наиболее важные параметры получаемых регрессионных моделей:

R (Multiple R) - коэффициент множественной корреляции;

R² или RI - коэффициент детерминации;

adjusted R² или adjusted R - скорректированный коэффициент множественной корреляции;

adjusted R² или adjusted RI - скорректированный коэффициент детерминации;

F - F-критерий;

df - число степеней свободы для F-критерия;

p - вероятность нулевой гипотезы для F-критерия;

Standard error of estimate - стандартная ошибка оценки (уравнения);

Intercept - свободный член уравнения;

Std.Error - стандартная ошибка свободного члена уравнения;

t - t-критерий для свободного члена уравнения;

p - вероятность нулевой гипотезы для свободного члена уравнения;

Beta - β -коэффициенты уравнения;

St. Err. of BETA - стандартные ошибки β -коэффициентов;

B - коэффициенты уравнения регрессии;

St. Err. of B - стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии;

t (95) - t-критерии для коэффициентов уравнения регрессии;

p-level - вероятность нулевой гипотезы для коэффициентов уравнения регрессии.

Приложение 2

Таблица П2.1

Дефекты офсетной печати, связанные с бумагой

Дефекты	Причины
Белый налет на офсетной резинотканевой пластине (появление налета чаще наблюдается при печати на мелованной бумаге и значительно снижает качество оттисков и тиражестойкость печатных форм)	Частицы из покровного слоя мелованной бумаги, которые растворяются увлажняющим раствором и затем оседают на офсетной резинотканевой пластине
Марашки (посторонние частицы, попадающие на печатную форму или на офсетную резинотканевую пластину и потом на оттиск)	Слабая прочность поверхности бумаги (осыпание мелованного слоя, выпадение соринок из бумаги и др.)
Наслоение краски на офсетную резинотканевую пластину	Попадание бумажной пыли в краску
Неприводка (несовмещение изображений на оттиске)	1. Печатание ведется на бумаге с пониженной влажностью. 2. Для печатания используется сильно деформирующаяся слабопроклеенная бумага
Низкая прочность краски на оттиске к истиранию (Закрепленная на оттиске краска стирается при дальнейших отделочных операциях: резке, фальцовке и др.).	Высокая кислотность бумаги и в результате замедление реакции окислительной полимеризации при закреплении краски.
Осыпание краски (меление) (сползание красочного слоя с высохшего оттиска под действием легкого трения)	Бумага с повышенной впитывающей способностью
Отмарывание (переход краски с запечатанной стороны листа на оборотную сторону следующего оттиска)	Высокая гладкость бумаги (немелованная бумага), имеющей слабую впитываемость
Пробивание краски (краска проникает через бумагу на ее оборотную сторону)	Бумага очень рыхлая и тонкая со слабой проклейкой

Окончание табл. П2.1

Дефекты	Причины
Пузырьки в красочном слое оттиска (вздутие поверхности мелованной бумаги)	Низкая прочность поверхности мелованной бумаги
Пыление бумаги	Наличие в бумаге большого количества мелких древесных волокон и малая прочность сцепления между ними ("бумага рыхлая")
Пятнистость глянца на оттиске после высыхания краски	Бумага обладает избыточной впитывающей способностью
Пятнистость оттиска (неравномерное распределение краски на фоновых участках оттиска)	1. Бумага неоднородна по свойствам или с недостаточной поверхностной впитываемостью
Скручивание оттисков	1. Печатание производится очень вязкой краской на тонкой бумаге 2. Повышенная чувствительность бумаги к увлажнению
Статическое электричество	Очень низкая влажность печатной бумаги
Тенение (появление на печатном оттиске легкой сплошной цветной "тени")	1. Бумага имеет повышенную щелочность или содержит в проклейке вещества, стимулирующие эмульгирование краски 2. Разрушена поверхность печатной формы бумажной пылью
Царапины на печатной форме	Наличие абразивных вкраплений в печатной краске или бумаге
Эмульгирование краски при печатании	Проклейка бумаги содержит вещества, стимулирующие эмульгирование

Учебное издание

Леонтьев Владимир Николаевич

Методы и средства совершенствования печатных свойств
бумаг в системе
«бумага – краска – оттиск»

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2009 г., поз. 93

Подп. к печати 06.10.2009.

Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. Уч.- изд. л. 10,75. Усл. печ. л. 10,75.

Тираж 200 экз. Изд. № 93 . Цена «С». Заказ 2108

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного
технологического университета растительных полимеров, 198095,
СПб., ул. Ивана Черных, 4.