

# НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

---

## ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО И УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

УДК 655.3.02

Н. С. Голуб, **М. И. Кулак**

Белорусский государственный технологический университет

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОФСЕТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Печатный процесс — это перенос краски с печатающего изображения формы на бумагу или материал. Технологические процессы и оборудование можно классифицировать по определенным признакам. Надежность каждого класса технологического процесса будет различной в связи с разной сложностью выполняемых операций. Оценка надежности выполняемых операций для каждого класса процессов можно дать путем расчета технологического пути, который представляет собой расстояние, пройденное инструментом обработки по рабочей поверхности предмета обработки. Для каждого класса процессов технологический путь будет различным.

В статье рассмотрены печатные операции для офсетной печати. Технологический путь вычисляется: для глубины проникновения краски в условиях упругого контакта, глубины проникновения краски путем капиллярного впитывания (процесс сушки), длины нанесения краски на тиражный оттиск. Расчеты проводились для трех видов бумаги: газетной, мелованной, офсетной. Основные процессы в данных способах различаются по классам выполняемых операций. Подробно рассмотрен процесс растискивания печатной краски и капиллярное впитывание под действием температуры. Расчет технологического пути для каждой операции позволит сделать вывод, на какой бумаге офсетный печатный процесс является более надежным.

**Ключевые слова:** класс процесса, технологический путь, глубина впитывания, растискивание, пористость бумаги, капиллярное впитывание.

N. S. Golub, **M. I. Kulak**

Belarusian State Technological University

### THEORETICAL ESTIMATION OF THE RELIABILITY OF OFFSET PRINTING TECHNOLOGIES

Printing process is the transfer of ink from the print image forms on paper or fabric. Technological processes and equipment can be classified according to certain criteria. The reliability of each class of the process will be different due to the different complexity of the operations performed. Reliability Assessment of operations performed for each class of processes can be given by the calculation processing path, which is the distance traveled by the tool on the working surface of the processing object processing. For each class of the processes technological path will be different.

The article deals with the printing operation for offset printing. Technological path is calculated: for the depth of dye penetration in conditions of elastic contact, the depth of penetration of paint by capillary absorption (drying process), the length of the paint application on production prints. Calculations were carried out for three types of paper: newsprint, coated, offset. Key processes in these methods differ by class of operations performed. The process of ink spread and capillary absorption under temperature is considered in detail. Calculation of the processing path for each operation allows to choose the paper that provides more reliable offset printing process.

**Key words:** process class, technological process, absorption depth, spread, porosity paper, capillary absorption.

**Введение.** Основой печатного процесса является взаимодействие бумаги и печатной краски, заключающееся в восприятии краски бумагой благодаря смачиванию, адгезии и ее проникновению в поровое пространство. Это происходит в два этапа: 1) быстрое заполнение краской внешних пор поверхности листа под давлением печатного контакта; 2) капиллярное впитывание, т. е. фильтрация краски через тонкие поры бумаги после выхода печатного листа из зоны контакта [1]. Получаемое при этом изображение называется оттиском. Печатный процесс является главным в полиграфии и формально представляет собой тиражирование черно-белых или цветных изображений при помощи печатных машин [2]. Офсетный печатный процесс представляет собой технологию печати, предусматривающей перенос краски с печатной формы на запечатываемый материал не напрямую, а через промежуточный офсетный цилиндр.

Бумагу для полиграфии следует делить на три большие группы: газетная; офсетная; мелованная, дизайнерская [3]:

1) 1-я группа — газетная полиграфическая бумага — самая низкосортная бумага. Данный вид имеет низкий уровень белизны и зачастую тонированную окраску. Из названия следует, что газетная полиграфическая бумага пригодна для печати газет либо иной малозначащей продукции с целью минимизации стоимости конечного тиража;

2) 2-я группа — офсетная полиграфическая бумага. Ее качество несколько выше, чем газетной, однако она мало пригодна для полноцветной полиграфии. Такая полиграфическая бумага используется для печати полноцветных газет, однокрасочных книг либо иной одно- или многокрасочных (но не полноцветных) работ;

3) 3-я группа бумаги для полиграфии наиболее интересна. Это мелованная полиграфическая бумага. Мелование придает бумаге для полиграфии белизны, уплотнения и однородности поверхностного слоя. Мелование бывает глянцевого и матового. Глянцевую бумагу для полиграфии используют в основном для печати глянцевых журналов и иной полиграфической продукции, которой необходимо придать блеска и гламура. Однако матовая полиграфическая бумага наиболее выгодно передает полиграфические иллюстрации. Это связано с тем, что она меньше бликует, а отпечатанные на ней изображения выглядят более контрастно и красочно. Такая полиграфическая бумага наиболее выгодна для каталогов художников, музейных экспонатов и иных изданий с высокой степенью запечатки.

Одна из основных характеристик печатного процесса — надлежащая впитывающая способ-

ность бумаги. При впитывании краски часть связующего (преимущественно его низкомолекулярные компоненты — масла и органические растворители) проникает в толщу бумаги [4]. Впитывание связующего краски в бумагу определяется ее пористо-капиллярным строением.

Режим высушивания на бумагоделательной машине влияет на пористость бумаги. Так, при высокотемпературном режиме сушки пористость бумаги возрастает.

Вся немелованная, не слишком уплотненная бумага, например газетная, относится к макропористым сортам. Они хорошо впитывают краску, адсорбируя ее связующее благодаря развитой внутренней поверхности. Чрезмерная впитывающая способность бумаги вследствие ее большой макропористости нежелательна для иллюстрационной печати, так как приводит к потере насыщенности и глянца краски.

Мелованная бумага относится к микропористым бумагам. Они тоже хорошо впитывают краску, но уже под действием капиллярных сил. Поэтому для печати на немелованной и мелованной бумагах используют различные типы краски. Степень капиллярности мелованной бумаги может быть различной и зависит от дисперсности наполнителя, его количества по отношению к связующему в покрытии, а также качества исходной бумаги.

Проклейка в массе повышает влагостойкость бумаги и ограничивает впитывание ею влаги, но не препятствует проникновению масляных красок офсетной и высокой печати. Пористость бумаги от введения в ее композицию минерального наполнителя возрастает тем сильнее, чем больше размер частиц использованного наполнителя. Пористость бумаги характеризуется содержанием в ней количества воздуха. Также отмечено, что добавление целлюлозы из вторичных волокнистых материалов в бумажную массу на основе хлопковой целлюлозы приводит к уменьшению впитывающей способности [5].

Условия взаимодействия бумаги с краской выбирают таким образом, чтобы они гарантировали получение хорошего качества оттиска с четкими и насыщенными графическими печатными элементами, правильной градиционной цветопередачей полутоновых изображений.

На поверхность бумаги с поверхности печатной формы или офсетной резинотканевой пластины переходит примерно 50–60% краски, образующей красочную пленку толщиной 1,5–2,0 мкм (в высокой и офсетной печати). Дальнейшее увеличение подачи краски на печатную форму нецелесообразно, так как выигрыш в оптической плотности оттиска невелик, а потери

в скорости закрепления (увеличение степени отмарывания) и в четкости графической передачи изображения будут большие.

Понятие «толщина слоя краски на оттиске» является весьма условным, поскольку слой краски, перешедший на поверхность бумаги, впоследствии значительно уменьшается в результате впитывания краски в бумагу и испарения органического растворителя, если таковой имеется в составе краски.

Чем более развита микрогеометрия поверхности бумаги (пористость и шероховатость), тем больше краски она воспринимает. Для офсетной и высокой печати приемлемой считается оптическая плотность 1,4–1,8 на плашке оттиска при толщине слоя черной краски 1,5–2,0 мкм.

Краскоперенос в контактных видах печати определяется давлением, под которым находится бумага в процессе печати. В офсетной печати оно минимальное. Давление сглаживает макронеровности бумаги и обеспечивает надлежащий контакт ее поверхности с печатной формой. Когда печатная форма давит на бумагу, то краска или с усилием внедряется в промежутки между волокнами бумаги (в ее поры), или — при их отсутствии (мелованная и сильно каландрированная немелованная бумага) — выдавливается с поверхности печатающего элемента. По этой причине на глазированной мелованной бумаге печатают, по возможности, тонкими слоями, более вязкими насыщенными красками, при оптимальном давлении печатного цилиндра. При печати на впитывающей макропористой бумаге такой эффект заметен менее всего.

Для печати офсетным способом художественных репродукций в четыре или более красок, а также для картографических изданий применяют сравнительно гладкую бумагу (однако не такую гладкую, как каландрированная бумага для высокой и глубокой печати). Для иллюстрационной полутонковой (растровой) многокрасочной печати поверхность бумаги должна быть глянцевой, для книжной — матовой, так как глянец при чтении утомляет. Для печатания штриховых изображений и текстовых работ допустимо применение менее гладкой бумаги.

Равномерно зернистая развитая однородная поверхность офсетной бумаги лучше воспринимает и удерживает краски. При применении недостаточно гладкой бумаги печатник вынужден усиливать давление или увеличивать подачу краски. И то и другое нежелательно, поскольку сопряжено с ухудшением качества оттисков, снижением тиражестойкости печатной формы и перерасходом краски.

Пористость, капиллярность и гладкость бумаги влияют и на закрепление краски на оттис-

ках. Под давлением печатного цилиндра из красочного слоя на оттиске выдавливается значительное количество связующего, которое мгновенно впитывается в бумагу. Этому способствует вакуум, образующийся в порах и капиллярах бумаги после того, как оттиск выходит из печатной пары (печатный цилиндр — формный или офсетный цилиндр). Затем следует постепенная капиллярная пропитка бумаги низковязкими и низкомолекулярными компонентами связующего (избирательное впитывание). Чем умереннее подача краски и выше давление печатного цилиндра, тем лучше краска закрепляется на бумаге. Повышение температуры и понижение влажности в печатных цехах также способствуют лучшему закреплению красок.

К основным параметрам печати, гарантирующим хорошее качество оттиска, на которые существенное влияние оказывает бумага, следует отнести контраст печати, максимальную оптическую плотность на оттиске, величину растискивания и несовмещения красок.

Растискивание определяют как увеличение размеров печатных элементов на оттиске в процессе печати. Повышенное давление печати приводит к различным видам деформации бумаги. Остаточные деформации вызывают увеличение растискивания и несовмещение красок на оттиске. Это особенно важно при печати офсетным способом, когда на бумагу попадает увлажняющий водный раствор и содержание воды в ней увеличивается. В результате механические свойства бумаги изменяются и увеличиваются пластические деформации. При печати многокрасочных оттисков на одно- или многокрасочных машинах с сушкой бумага теряет влагу и меняет свои линейные размеры в разной степени в зависимости от направления отлива бумаги.

На сегодняшний день существуют модели компьютерного моделирования процесса растискивания при печати [6]. Предлагаемая процедура направлена на исследование различных дефектов печатного процесса до выполнения процесса печати.

В статье рассмотрены офсетные печатные процессы на трех видах бумаги: офсетной, мелованной и газетной. Глубина проникновения краски в структуру бумаги в условиях упругого контакта, длина нанесения краски на оттиск и процесс сушки формируют технологический путь  $S$  печатного процесса. Расчет технологического пути позволил установить, на какой бумаге офсетный печатный процесс наиболее надежный.

**Основная часть.** Условия длительного взаимодействия бумаги и краски после полу-

чения оттиска определяют в основном скорость и характер закрепления полученного изображения, распределение краски в приповерхностных и объемных слоях печатного листа, просачивание краски на его обратную сторону [7].

Глубина проникновения краски в структуру бумаги в условиях упругого контакта и при капиллярном впитывании (процесс сушки), длина нанесения краски на оттиск будут являться технологическим путем  $S$  печатного процесса. Проникновение краски в структуру бумаги можно рассмотреть с помощью явления растискивания.

Растискивание краски на поверхности бумаги зависит от свойств офсетной резины, величины давления в зоне печати, вязко-текучих свойств краски и толщины красочного слоя. Понятно, что капля толщиной 2 мкм размажется больше, чем капля в 1 мкм. Диффузия краски в толще бумаги (растекание за счет впитывания) тоже увеличивает площадь пятна. Она зависит от текучести краски, скорости ее закрепления и пористости бумаги. Кроме этих естественных причин, к увеличению растискивания приводят разные дефекты машины и нарушения технологии. Мелованная бумага впитывает краску в несколько раз слабее, чем газетная бумага без покрытия. На последней, следовательно, растискивание проявляется куда заметнее.

Попадание краски на бумагу происходит под некоторым давлением. Из-за этого точка свежей краски на мелованной бумаге увеличивается по площади. Степень этого увеличения,

т. е. растискивание от давления, определяется в основном вязкостью краски. Тяжелые краски, обладающие высокой клейкостью, выжимаются значительно слабее, чем легкие, более жидкие. Если говорить об офсетной печати, то каждая точка раstra окружена тонким ореолом краски. Это происходит из-за того, что каждая точка имеет микроскопический рельеф и краска стекает к ее краям. Наконец, растискивание зависит от состояния печатного пресса и условий печати.

Для анализа процесса механического растискивания растровой точки предлагается принципиальная схема, приведенная на рис. 1.

В соответствии с этой схемой, в самом общем случае, в процессе растискивания можно выделить три фазы, показанные на рис. 1, *a–г*. Однако наличие тех или иных конкретных фаз в общем процессе растискивания существенным образом зависит от соотношения начальной толщины слоя краски на растровой точке  $h_0$  и ее толщины на оттиске  $h_t$ .

Ситуация, когда  $h_0 \leq h_t$ , не имеет смысла с точки зрения обеспечения качества печати, поскольку не будет обеспечена требуемая толщина слоя краски на оттисках. Первая фаза растискивания (рис. 1, *a*) начинается при условии  $h_0 > h_t$ . Тогда в случае попадания растровой точки в зону печатного контакта краска растекается в щелевом зазоре между офсетным полотном и поверхностью бумаги. Однако объема краски еще недостаточно для ее впитывания в бумагу.

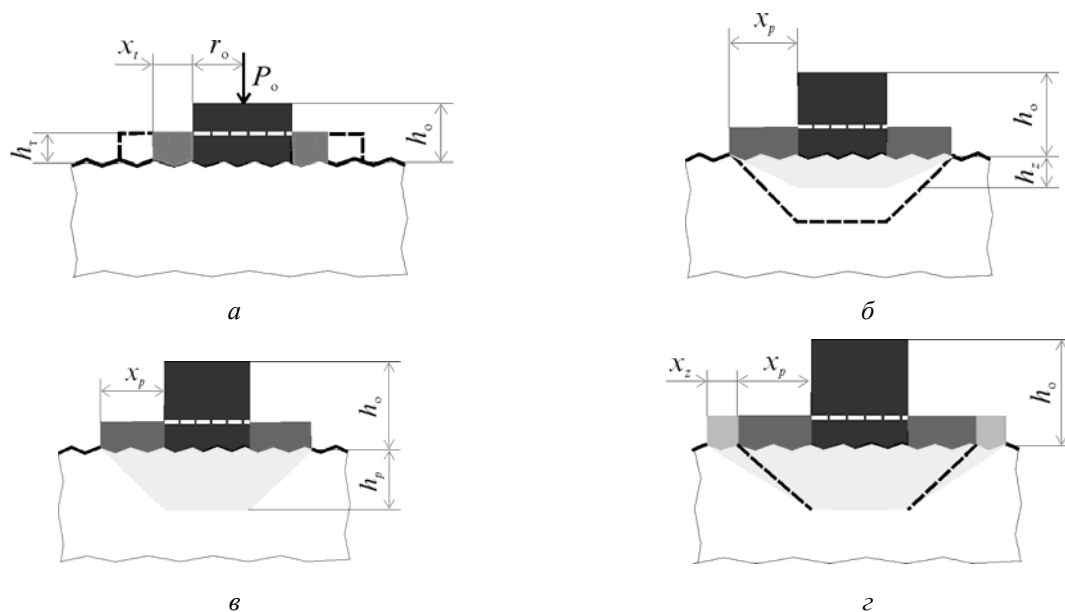


Рис. 1. Принципиальная схема механического растискивания растровой точки:

*a* — первая фаза растискивания; *б* — вторая фаза растискивания;  
*в* — предельное состояние второй фазы растискивания; *г* — третья фаза растискивания

Вторая фаза растискивания (рис. 1, б) начинается тогда, когда в исходном состоянии на растровую точку будет подано количество краски большее, чем то количество, которое может распределиться по поверхности бумаги за время печатного контакта  $t_{\text{кон}}$ . Предельное состояние второй фазы показано на рис. 1, в. В первую очередь в бумагу начнет поступать краска, находящаяся непосредственно под растровой точкой. Эта краска за время печатного контакта пройдет наибольший диффузионный путь. В конечном итоге, проникшая в поры бумаги краска займет объем, близкий по форме к усеченному конусу. Предельно возможное значение глубины проникновения краски за время печатного контакта  $h_p$  равно пройденному пути фронта краски  $x_p$ . Достижение этого значения соответствует окончанию второй фазы процесса растискивания.

Если и дальше увеличивать подачу краски в исходном состоянии, то начнется третья фаза растискивания (рис. 1, з). Поскольку объем краски, который может поступить в бумагу за время печатного контакта ограничен, то «излишек» краски будет затекать по поверхности растровой точки за ее края. Некоторая часть этой краски может проникнуть и в бумагу.

Предельно возможное значение глубины проникновения краски за время печатного контакта подробно описано в [7]. Достижение этого значения соответствует окончанию второй фазы процесса растискивания. Из [7] за время печатного контакта фронт краски пройдет путь, равный

$$x_p = h_p = \sqrt{\frac{2K_{\Pi}P_0}{\eta} t_{\text{кон}}}, \quad (1)$$

где  $K_{\Pi}$  — коэффициент проницаемости пористой среды (бумаги);  $P_0$  — давление в зоне печатного контакта, МПа (принимали  $P_0 = 0,031$  МПа);  $\eta$  — динамическая вязкость краски, Па·с;  $t_{\text{кон}}$  — время контакта запечатываемого материала, с.

В рамках модели извилистых капилляров считается [8–9], что коэффициент проницаемости пористой среды линейно-вязкой жидкости равен

$$K_{\Pi} = k \frac{\Pi}{\beta}, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент проницаемости элементарной поровой ячейки (из [7]  $k = 1,489$ );  $\Pi$  — пористость среды (бумаги);  $\beta$  — коэффициент извилистости капилляров.

Подробно расчет коэффициента проницаемости описан в [7]. Для нахождения времени контакта  $t_{\text{кон}}$  запечатываемого материала с офсетным полотном необходимо найти угол  $\varphi$ , соответствующий ширине площадки контакта печатной пары [7]:

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{\lambda_{\text{max}}}{2R}\right), \quad (3)$$

где  $\lambda_{\text{max}}$  — максимальная деформация эластичной покрышки, мм;  $R$  — радиус цилиндров печатной пары, мм.

Угловую скорость вращения цилиндров можно выразить как  $\omega = \varphi / t_{\text{кон}}$  или  $\omega = 2\pi n$ , где  $n$  — частота вращения, об/мин. Время контакта запечатываемого материала с офсетным полотном определяется по формуле

$$t_{\text{кон}} = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\varphi}{2\pi n}. \quad (4)$$

Глубина проникновения печатной краски в структуру бумаги в условиях упругого контакта находилась для офсетной, мелованной и газетной бумаги при вязкости краски  $\eta = 14,4$  Па·с. Расчеты проводились с помощью технических характеристик листовой печатной машины Komori Lithrone LS 640+L со скоростью работы 16 000 об/ч (рабочая 14 000 об/ч) и рулонной машины Sunday Technologie 600 со скоростью работы 55 000 об/ч (рабочая 50 000 об/ч). В табл. 1 приведены основные параметры и характеристики различных видов бумаги, а также глубина проникновения краски в бумагу при упругом контакте [10].

Технологический путь печатного контакта осуществляется по II классу. Из табл. 1 видно, что самый длинный путь проникновения у мелованной бумаги.

Таблица 1

Значения параметров для различных видов бумаги

Вид бумаги	Фрактальная размерность поверхности бумаги	Коэффициент проницаемости пористой среды	Максимальная деформация эластичной покрышки, мм	Радиус цилиндров печатной пары, мм	Угол $\varphi$ , рад	Время контакта запечатываемого материала, с	Глубина проникновения печатной краски, мкм
Мелованная	2,244	0,307	0,22	180	0,035	$0,143 \cdot 10^{-2}$	5,792
Офсетная	2,556	0,402					5,258
Газетная	2,765	0,626	0,16	100	0,041	$0,471 \cdot 10^{-3}$	2,142

Как уже сказано выше, технологический путь  $S$  печатного процесса также состоит из нахождения длины нанесения краски на оттиск. Длина нанесения краски на оттиск относится к операциям II класса и будет зависеть от формата печати, а именно от формата печатной формы. В допечатных операциях были рассчитаны технологические пути  $S$  для пластин  $30 \times 50$  и  $50 \times 70$  см [11]. Эти пластины поступают на печатный участок, где с них осуществляется печать тиража. Таким образом, технологический путь  $S_{31} = 0,5$  м и  $S_{32} = 0,7$  м для первой и второй пластин соответственно.

Интерес представляет и численное значение ширины площадки контакта  $b$ :

$$b = \sqrt{\lambda_{\max} (4R - \lambda_{\max})}. \quad (5)$$

От ширины площадки контакта  $b$  будет зависеть общее время контакта  $t_{\text{об.кон}}$  запечатываемого материала определенного формата. Для тех же числовых значений радиуса цилиндров печатной пары и максимальной деформации эластичной покрышки значения ширины полосы контакта и общее время контакта представлены в табл. 2.

Далее, после печатного контакта, следует операция сушки, осуществляемая по III классу. После выхода бумажного листа из зоны печатного контакта начинается процесс активного впитывания и фильтрации краски в поровом пространстве бумаги. Для ускорения закрепления краски на этой стадии используется температурное воздействие, осуществляемое различными излучающими устройствами.

Существенными факторами, обуславливающими механизм и параметры процесса фильтрации вязких жидкостей в волокнистых средах, к которым относится и бумага, являются анизотропия и стохастический характер структуры таких сред. Глубина проникновения краски связана с длиной и коэффициентом извилистости капилляров в соответствии с равенством [12]

$$h_{\text{пр}} = \frac{l_{\text{к}}}{\beta}, \quad (6)$$

где  $h_{\text{пр}}$  — глубина проникновения краски, мкм;  $\beta$  — коэффициент извилистости капилляров.

В рамках модели извилистых капилляров [12] значение  $\beta$  определяется соотношением, которое представляет увеличение пути  $l$ , проходимого возбуждением за счет диффузии, и случайных блужданий по фрактальным решеткам. Выражение для коэффициента извилистости порогового пространства имеет вид

$$\beta = \frac{l}{h} = \left( \frac{h}{r_{\text{в}}} \right)^{\frac{H}{d}-1} T^{-\frac{\nu_{\text{к}} H}{d}}, \quad (7)$$

где  $h$  — толщина листа бумаги, мкм;  $l$  — увеличение пути, проходимого частицами проникающей краски за счет диффузии и случайных блужданий в поровом пространстве бумаги, мкм;  $r_{\text{в}}$  — средний радиус частиц (волокон бумаги), мкм;  $H$  — топологическая размерность гиперкластера траекторий частиц жидкости, проникающей в волокнистую систему;  $d$  — евклидова размерность пространства;  $\nu_{\text{к}}$  — критический индекс радиуса корреляции кластера пор.

Для определения глубины капиллярного впитывания краски воспользуемся уравнением Уошборна [13]:

$$l_{\text{к}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ж}} r t \cos \theta}{2\eta}}, \quad (8)$$

где  $l_{\text{к}}$  — длина капилляра, мкм;  $\sigma_{\text{ж}}$  — поверхностное натяжение краски, мН/м;  $\theta$  — краевой угол смачивания, град;  $r$  — радиус капилляра, мкм;  $t$  — время, с;  $\eta$  — вязкость краски, Па·с.

Глубина проникновения печатной краски капиллярным впитыванием находилась для офсетной, мелованной и газетной бумаги при вязкости краски с температурой сушки  $80^{\circ}\text{C}$   $\eta = 0,2$  Па·с. Расчеты проводились с помощью технических характеристик листовой печатной машины Komori Lithrone LS 640+L с длиной сушки 1,2 м и рулонной машины Sunday Technologie 600 с длиной сушки 5 м. Поверхностное натяжение краски при  $80^{\circ}\text{C}$  было взято из [14–15] и составило  $\sigma_{\text{ж}} = 25,17$  мН/м. В табл. 3 приведены основные параметры и характеристики различных видов бумаги, а также глубина проникновения краски в бумагу при капиллярном впитывании [7, 16–17].

Таблица 2

Значения ширины полосы и общего времени контакта

Вид бумаги	Ширина контакта $b$ , мм	Количество $b$ , помещающееся на листе форматом $30 \times 50$ см	Количество $b$ , помещающееся на листе форматом $50 \times 70$ см	Общее время контакта для пластины $30 \times 50$ см, с	Общее время контакта для пластины $50 \times 70$ см, с
Мелованная	12,584	39,733	55,626	$5,681 \cdot 10^{-2}$	$7,955 \cdot 10^{-2}$
Офсетная					
Газетная	7,998	62,516	87,522	$2,945 \cdot 10^{-2}$	$4,122 \cdot 10^{-2}$

Максимально допустимая глубина проникновения краски не должна превышать 30–67 мкм для мелованной бумаги, 35–45 — для офсетной и 40–68 — для газетной бумаги различных марок. В нашем случае это требование соблюдается, так как максимальная глубина впитывания у мелованной бумаги 21,223, у офсетной — 21,159, у газетной — 35,620 мкм.

Далее, как и в допечатном процессе, найдем интенсивность и вероятность отказов для печатного процесса на разных видах бумаги [18]. При проведении расчетов печатного процесса принималась  $\xi = 4,000 \cdot 10^{-3}$ .

В табл. 4 приведены основные значения интенсивности и вероятности отказов для печатного процесса.

Таблица 3

Значения параметров для различных видов бумаги

Вид бумаги	Размер микронеровностей, мкм	Коэффициент извилистости капилляров	Радиус капилляра, мкм	Краевой угол смачивания	Время температурного воздействия, с	Длина капилляра, мкм	Глубина проникновения печатной краски, мкм
Мелованная	53,8	1,205	0,02	0,504	0,545	18,592	15,431
Офсетная	50,2	1,335	0,02	0,657		21,228	15,901
Газетная	36,3	1,902	0,25	0,712	0,362	63,676	33,478

Таблица 4

Значения интенсивности и вероятности отказов

Вид бумаги	Интенсивность отказа нанесения краски на оттиск форматом 30×50 и 50×70 см, с <sup>-1</sup>	Интенсивность отказа проникновения краски при давлении, с <sup>-1</sup>	Интенсивность отказа процесса сушки, с <sup>-1</sup>	Вероятность отказа нанесения краски на оттиск	Вероятность отказа проникновения краски при давлении	Вероятность отказа процесса сушки
Мелованная	0,035	$1,640 \cdot 10^{-5}$	$1,133 \cdot 10^{-7}$	$1,999 \cdot 10^{-3}$	$2,345 \cdot 10^{-8}$	$6,172 \cdot 10^{-8}$
Офсетная	0,067	$1,271 \cdot 10^{-5}$	$1,167 \cdot 10^{-7}$	$2,800 \cdot 10^{-3}$	$1,817 \cdot 10^{-8}$	$6,360 \cdot 10^{-8}$
Газетная	0,035 0,068	$6,319 \cdot 10^{-5}$	$3,699 \cdot 10^{-7}$	$2,000 \cdot 10^{-3}$ $2,799 \cdot 10^{-3}$	$2,976 \cdot 10^{-8}$	$1,339 \cdot 10^{-7}$

Таблица 5

Значения общей вероятности отказов

Вид бумаги	Общая вероятность отказов с оттиска форматом 30×50 см, $P_{пр}$	Общая вероятность отказов с оттиска форматом 50×70 см, $P_{пр}$
Мелованная	$2,893 \cdot 10^{-18}$	$4,053 \cdot 10^{-18}$
Офсетная	$2,310 \cdot 10^{-18}$	$3,236 \cdot 10^{-18}$
Газетная	$7,970 \cdot 10^{-18}$	$1,115 \cdot 10^{-17}$

И табл. 4 видно, что самая большая интенсивность и вероятность отказов наблюдается при нанесении краски на бумагу формата 50×70 см. Рассчитаем общую вероятность отказов [18] для офсетного печатного процесса на различных видах бумаги. В табл. 5 приведены основные значения общей вероятности отказов для печатного процесса.

По значениям из табл. 5 можно найти обобщенную интенсивность отказов, но так как  $P_{пр}$  очень малы, то  $\lambda_{пр}$  практически равны нулю, что говорит о высокой надежности офсетного печатного процесса. Проанализировав данные из табл. 5, можно сделать вывод, что самой большой надежностью обладает печатный процесс на офсетной бумаге.

**Вывод.** Для избегания чрезмерного проникновения краски в бумажный лист подбор

оптимальной температуры в сушильной камере, влияющей на капиллярное впитывание, должен осуществляться с учетом свойств запечатываемого материала. Кроме того, для обеспечения требуемого качества печатных оттисков необходимо определить рациональную длину сушильной камеры, а также значение скорости работы печатной машины.

Таким образом, найденный технологический путь офсетного печатного процесса позволяет предварительно рассчитывать параметры конструкции печатной машины, оптимально подбирать бумагу для печати, при этом учитывается неоднородность структуры запечатываемого материала, основные технологические требования к режиму печатного процесса, а также к качеству готовой печатной продукции.

### Литература

1. Раскин А. Н., Ромейков И. В., Бирюкова Н. Д. Технология печатных процессов. М.: Книга, 1989. 432 с.
2. Попрядухин П. А. Технология печатных процессов. М.: Книга, 1968. 360 с.
3. Бумаги для полиграфии на газетно-журнальном производстве [Электронный ресурс] / Compuart.ru. Москва, 2013. URL: <http://compuart.ru/article/15372> (дата обращения: 03.03.2017).
4. Валенски В. Бумага + Печать. М.: Цандерс&Дубль, 1996. 326 с.
5. Бабаханова Х. А., Варепо Л. Г. Факторы, влияющие на взаимодействие бумаги и краски в процессе печати // Проблемы полиграфии и издательского дела. 2015. № 1. С. 10–13.
6. Шеффер Е. А. Компьютерное моделирование процесса растискивания при печати // Проблемы полиграфии и издательского дела. 2014. № 2. С. 24–32.
7. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы. Минск: Белорусская наука, 2007. 419 с.
8. Хейфец Л. И., Неймарк А. В. Многофункциональные процессы в пористых средах. М.: Химия, 1982. 320 с.
9. Бернадинер М. Г., Ентов В. М. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. М.: Наука, 1975. 200 с.
10. Старченко О. П., Кулак М. И. Перколяция типографской краски в пористой структуре бумаги // Сб. науч. тр. Белорус. нац. техн. ун-та. 2005. Вып. 19. С. 192–197.
11. Голуб Н. С., Кулак М. И. Теоретическая оценка надежности технологии офсетных формных процессов // Труды БГТУ. 2016. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 62–67.
12. Старченко О. П., Кулак М. И., Медяк Д. М. Закономерности влияния давления печатного контакта на изменения размера растровых точек // Вести НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2007. № 1. С. 61–67.
13. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 568 с.
14. Ионова И. В. Поверхностные явления в масляных фракциях // Структура и динамика молекулярных систем. 2003. Вып. X. Ч. 3. С. 121–123.
15. Богольный А. М. Справочник физико-химических свойств органических соединений. М.: Химия: КолосС, 2008. 544 с.
16. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 368 с.
17. Старченко О. П., Кулак М. И., Медяк Д. М. Влияние температуры и неоднородности структуры порового пространства бумаги на капиллярное впитывание печатной краски // Вести НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2010. № 2. С. 69–77.
18. Голуб Н. С., Кулак М. И. Оценка надежности выполнения операции при изготовлении офсетных печатных форм // II Международный форум: Скориновские чтения 2016: книга как феномен культуры, искусства, технологии. Минск: БГТУ, 2016. С. 244–247.

### References

1. Raskin A. N., Romeykov I. V., Biryukova N. D. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Printing technologies]. Moscow, Kniga Publ., 1989. 432 p.
2. Popryadukhin P. A. *Tekhnologiya pechatnykh protsessov* [Printing technologies]. Moscow, Kniga Publ., 1968. 360 p.
3. Compuart.ru. *Bumagi dlya poligrafii na gazetno-zhurnal'nom proizvodstve* [Paper for printing on newspaper and magazine production]. Available at: <http://compuart.ru/article/15372> (accessed 03.03.2017).
4. Valenski V. *Bumaga + Pechat'* [Paper + Printing]. Moscow, Tsanders&Dubl' Publ., 1996. 326 p.
5. Babakhanova Kh. A., Varepo L. G. Factors influencing the interaction of paper and ink in the printing process. *Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela* [Problems printing and publishing], 2015, no. 1, pp. 10–13 (In Russian).
6. Sheffer E. A. Computer simulation of the dot gain in printing process. *Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela* [Problems printing and publishing], 2014, no. 2, pp. 24–32 (In Russian).
7. Kulak M. I., Nichiporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i protsessakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of fractal theory in the process mechanics and control processes: printing materials and processes]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2007. 419 p.



8. Kheyfets L. I., Neymark A. V. *Mnogofunktsional'nyye protsessy v poristykh sredakh* [Multifunctional processes in porous media]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 320 p.
9. Bernadiner M. G., Entov V. M. *Gidrodinamicheskaya teoriya fil'tratsii anomal'nykh zhidkostey* [Hydrodynamic theory of abnormal filtration of liquids]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 200 p.
10. Starchenko O. P., Kulak M. I. Percolation ink in the porous structure of paper. *Sbornik nauchnykh trudov BNTU* [Collection of scientific papers Belarusian National Technical University], 2005, no. 19, pp. 192–197 (In Russian).
11. Golub N. S., Kulak M. I. Theoretical estimation reliable technology offset forming processes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 9: Publishing and Printing, pp. 62–67 (In Russian).
12. Starchenko O. P., Kulak M. I., Medyak D. M. The effect of pressure on the contact patterns of the printed dot size change. *Vesti NAN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physico-technical series], 2007, no. 1, pp. 61–67 (In Russian).
13. Adamson A. *Fizicheskaya khimiya poverkhnostey* [Physical Chemistry of Surfaces]. Moscow, Mir Publ., 1979. 568 p.
14. Ionova I. V. Surface phenomena in the oil fractions. *Struktura i dinamika molekulyarnykh system* [Structure and dynamics of molecular systems], 2003, no. X, vol. 3, pp. 121–123 (In Russian).
15. Bogol'nyy A. M. *Spravochnik fiziko-khimicheskikh svoystv organicheskikh soyedineniy* [Handbook of physical and chemical properties of organic compounds]. Moscow, Khimiya: KolosS Publ., 2008. 544 p.
16. Kozarovitskiy K. A. *Bumaga i kraska v protsesse pechataniya* [Paper and ink in the printing process]. Moscow, Kniga Publ., 1965. 368 p.
17. Starchenko O. P., Kulak M. I., Medyak D. M. Influence of temperature and heterogeneity of structure of pore space of paper on capillary absorption of printing paint. *Vesti NAN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physico-technical series], 2010, no. 2, pp. 69–77 (In Russian).
18. Golub N. S., Kulak M. I. [Assessment of the reliability of the operations in the manufacture of offset printing plates]. *Materialy II Mezhdunarodnogo foruma (Skorinovskiy chteniye 2016: kniga kak fenomen kul'tury, iskusstva, tekhnologii)* [Materials of the international forum (Read Skorinovskie 2016: book as a phenomenon of culture, art, technology)]. Minsk, 2016, pp. 244–247 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Голуб Надежда Сергеевна** – аспирант кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: golubok.358-01@mail.ru

**Кулак Михаил Иосифович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kulak\_mi@tut.by

#### Information about the authors

**Golub Nadezhda Sergeevna** – PhD student, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: golubok.358-01@mail.ru

**Kulak Mikhail Iosifovich** – DSc (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kulak\_mi@tut.by

Поступила 10.03.2017