

УДК 658.5

**Старченко О. П.**, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КАПИЛЛЯРНОГО ВПИТЫВАНИЯ  
ПЕЧАТНОЙ КРАСКИ В МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОМ  
ПОРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ БУМАГИ**

Рассматривается теоретическая модель для анализа влияния температуры и стохастической структуры порового пространства бумаги на глубину проникновения печатной краски. На основе установленных температурных зависимостей реологических свойств краски — вязкости, поверхностного натяжения, краевого угла смачивания — проанализировано их влияние на глубину капиллярного впитывания краски.

The theoretical model for the analysis of influence of temperature and stochastic structure of paper pore spaces on the depth of penetration of printing ink is considered. On the basis of experimental data temperature established dependences of such rheological properties of ink as viscosity, superficial tension, limiting wetting angle are. Their influence on the depth of ink capillary absorption has been analysed.

**Введение.** Точность воспроизведения оригинала во время печатного процесса зависит от выбора оптимального режима печатания с учетом всех факторов и конкретных условий печатания тиража. Одним из главных требований при печатании является соответствие свойств бумаги и краски друг другу, способу печатания и конкретным условиям проведения технологического процесса.

Факторы, определяющие условия взаимодействия бумаги и краски, можно разделить на две группы: 1) обусловленные природой и спецификой бумаги и краски (например, их структурно-механические свойства); 2) определяющие проведение и режим печатного процесса (величина давления печати, скорость, продолжительность и величина температурного воздействия в момент нахождения оттисков в сушильной камере и т. д.). Очевидность и бесспорность взаимосвязи и взаимозависимости этих групп факторов требуют комплексного, всесторонне сбалансированного подхода к подготовке и проведению многофакторного печатного процесса.

При формировании изображения на оттиске наряду с реологическими свойствами краски важную роль играют многие другие факторы. Основные режимные параметры печатного процесса являются регулируемыми переменными. Именно они в сочетании с выбором печатных материалов, обладающих соответствующими структурно-механическими характеристиками, определяют способность бумаги воспринимать технологически необходимое количество печатной краски и обеспечивать равномерное распределение ее на оттиске, что оказывает большое влияние на качество изображения [1].

**Основная часть.** Так как сущность печатного процесса заключается в формировании печатного изображения в результате переноса краски с формы на запечатываемый материал под действием давления, то очевидным является

интерес к вопросам исследования как самих материалов, участвующих в процессе печати, так и технологической роли давления печатного контакта. Кроме того, необходимо сказать, что структура печатающих поверхностей, включая запечатываемый материал, а также поведение краски в отдельных стадиях печатного процесса, в частности в момент прохождения сушильного устройства печатной машины, обусловленное ее реологическими свойствами, имеют неоспоримый приоритет в вопросах стабилизации качества печатной продукции.

Цель данной работы — исследование влияния температуры и неоднородности структуры порового пространства бумаги на капиллярное впитывание печатной краски.

После выхода бумажного листа из зоны печатного контакта начинается процесс интенсивного капиллярного впитывания краски в неоднородное поровое пространство бумаги. На ускорение процесса фильтрации краски в поровом пространстве бумажного листа и закрепление краски на оттиске в первую очередь влияет температура в сушильной камере печатной машины.

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 [2]

$$h_{\text{пр}} = l_{\text{к}} / \beta, \quad (1)$$

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

В рамках модели извилистых капилляров значение  $\beta$  определяется соотношением, которое представляет увеличение пути  $l$ , проходя-

мого возбуждением за счет диффузии и случайных блужданий на фрактальных решетках. Выражение для коэффициента извилистости порового пространства имеет вид [3]

$$\beta = l/h = (h/r_b)^{\frac{H}{d}-1} T^{-\frac{\nu_k H}{d}}, \quad (2)$$

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

Капиллярное впитывание определяется уравнением Уошборна [2], а коэффициент извилистости — соотношением (2). В таблице приведены основные параметры и характеристики различных видов бумаги, необходимые для расчета глубины проникновения краски в ее поровое пространство за счет процесса капиллярного впитывания [3, 4]. Все расчеты выполнялись для четырех видов бумаги: газетной, офсетной, мелованной глянцевой и матовой.

В предыдущей работе были определены температурные коэффициенты для вязкости и поверхностного натяжения. Кроме того, ранее экспериментально было установлено, что температура незначительно влияет на изменение краевого угла смачивания. С учетом полученных температурных зависимостей было определено капиллярное впитывание краски в толщину бумажного листа, а далее при известных коэффициентах извилистости капилляров каждого вида бумаги (таблица) была рассчитана глубина проникновения краски  $h$ . Результаты расчетов представлены в виде графиков зависимостей глубины проникновения краски в поровое

пространство бумаги от температуры (рис. 1, 2) и времени теплового воздействия (рис. 3–5).

Расчеты производились для двух типов печатных машин (листовых и рулонных), оснащенных специальными сушильными камерами, ускоряющими процесс закрепления краски, температуру в которых можно регулировать в зависимости от вида запечатываемого материала. При скоростях работы печатного оборудования (7000 об/ч — для листовых машин и 20 000 об/ч — для рулонных), а также длине сушильной камеры 4 м, было рассчитано время, в течение которого оттиски подвергаются температурному воздействию: 3,3 с — для листовых, 1,2 с — для рулонных машин.

Проанализировав полученные зависимости, можно отметить следующее. При повышении температуры с 17 до 107 °С глубина проникновения краски в газетную бумагу за счет капиллярного впитывания увеличивается в 2,8 раза при печати как на листовой, так и на рулонной печатных машинах. При печати на офсетной бумаге при аналогичном повышении температуры глубина проникновения краски увеличивается в 2,7 раза. Изменение глубины проникновения краски при том же увеличении температуры и для мелованной бумаги произойдет в 2,8 раза.

Однако следует отметить, что в сушильных устройствах печатных машин для предотвращения воспламенения запечатываемого материала максимальная температура, воздействующая на оттиски, составляет порядка 80–100 °С. Таким образом, анализируем насколько увеличивается глубина проникновения краски в бумагу при ее прохождении сушильного устройства с максимальной температурой 100 °С. Глубина проникновения краски при печати на газетной бумаге увеличится по отношению к комнатной температуре (23 °С) в 2,3 раза, на офсетной бумаге — в 2,2, мелованной бумаге — 2,3 раза [2].

#### Характеристики печатной бумаги

Вид бумаги	Размер микронеровностей, мкм	Фрактальная размерность поверхности бумаги, $D$	Коэффициент извилистости капилляров, $\beta$	Радиус капилляра, мкм
Люми Арт, мелованная глянцевая	14,8	2,064 ± 0,105	1,681	0,02
Юнион Арт, мелованная глянцевая	26,9	2,504 ± 0,077	1,662	0,02
Люми Силк, мелованная матовая	53,8	2,563 ± 0,079	1,205	0,02
Юнион Силк, мелованная матовая	58,4	2,361 ± 0,082	1,367	0,02
Картон Малмеро	64,6	2,397 ± 0,093	1,290	—
Офсетная № 1	30,9	2,765 ± 0,114	4,678	0,02
Дата Копи	48,0	2,322 ± 0,056	1,089	0,02
Офсетная Кондопогского ЦБК	50,2	2,606 ± 0,120	1,335	0,02
Газетная Балахнинского ЦБК	42,2	2,756 ± 0,083	2,738	0,25
Цветная газетная Балахнинского ЦБК	36,3	2,658 ± 0,133	1,902	0,25

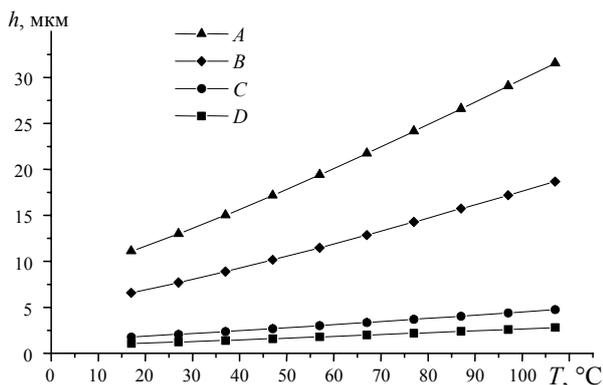


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения краски от температуры:  
 A — листовая печать на газетной бумаге;  
 B — рулонная печать на газетной бумаге;  
 C — листовая печать на офсетной бумаге;  
 D — рулонная печать на офсетной бумаге

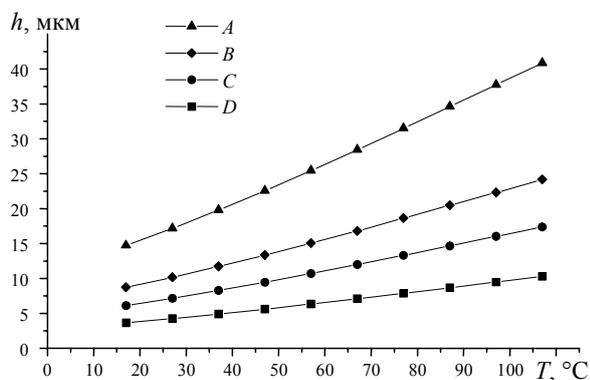


Рис. 2. Зависимость глубины проникновения краски от температуры:  
 A — листовая печать на мелованной глянцевой бумаге;  
 B — рулонная печать на мелованной глянцевой бумаге;  
 C — листовая печать на мелованной матовой бумаге;  
 D — рулонная печать на мелованной матовой бумаге

Зная, что для получения качественных печатных оттисков необходимо, чтобы глубина проникновения краски в толщу бумажного листа составляла не более ее полутолщины, построенные теоретические модели дают возможность еще до начала печати подобрать ее режимные параметры (давление печати, скорость), а также установить наиболее приемлемую температуру в сушильном устройстве. Все это позволит сократить количество расходных материалов, необходимых на этапе регулировки давления печати и температуры в сушильном устройстве для обеспечения выпуска высококачественной печатной продукции. Наибольшее значение этот предварительный расчет имеет при смене заказа, т. е. переходе на новые расходные материалы.

Кроме того, при выполнении расчетов температурных зависимостей капиллярного впитывания

необходимо учитывать объем печатной краски, проникший в толщу бумажного листа, и оставшийся на поверхности печатного оттиска. Необходимость соблюдения баланса краски обусловлена требованиями к качеству печатной продукции (величина оптической плотности).

Так как с увеличением температуры в сушильном устройстве глубина проникновения краски, а следовательно и ее расход, возрастают, то для соблюдения баланса краски (достаточного ее количества на поверхности печатного оттиска) необходимо увеличивать подачу краски на форму. В этом случае объем краски, перешедший на запечатываемый материал, также будет возрастать, и его количества будет достаточно для данных режимных параметров сушильного устройства.

При расчетах глубины проникновения в зависимости от температуры (рис. 1, 2) учитывалось, что толщина слоя краски на оттиске не должна быть менее 1 мкм. При такой подаче краски максимально допустимая глубина ее проникновения не должна превышать 30–67 мкм для мелованной, 35–45 мкм — офсетной и 40–68 мкм — газетной бумаги различных марок. Тогда количества краски, оставшейся на поверхности печатного оттиска, будет достаточно для обеспечения требуемого качества печатной продукции.

На рис. 3–5 приведены результаты расчетов глубины проникновения краски в толщу бумажного листа в зависимости от продолжительности теплового воздействия на оттиски. Так как на время прохождения оттисков в сушильном устройстве оказывают влияние два фактора, то и варьировать этот параметр можно только за счет скорости работы печатного оборудования и длины сушильного устройства.

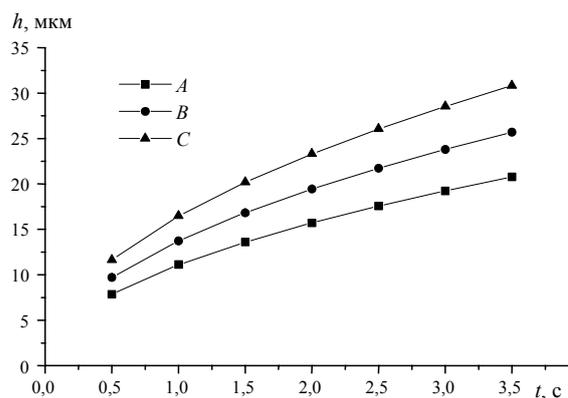


Рис. 3. Зависимость глубины проникновения краски от времени нахождения оттисков в сушильной камере для газетной бумаги:  
 A — температура в сушильной камере 60 °С;  
 B — 80 °С; C — 100 °С

При расчетах температура в сушильной камере принималась равной 60, 80 и 100 °С. Максимально допустимая глубина проникновения

симальное время пребывания оттисков в сушильном устройстве ограничивалось предельно допустимой глубиной проникновения краски, т. е. при расчетах также четко отслеживался баланс краски на поверхности и в структуре бумаги.

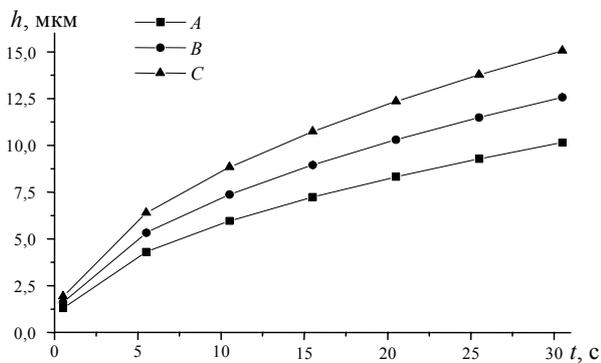


Рис. 4. Зависимость глубины проникновения краски от времени нахождения оттисков в сушильной камере для офсетной бумаги: A — температура в сушильной камере 60 °C; B — 80 °C; C — 100 °C

Технологически оправданная глубина проникновения печатной краски в условиях упругого контакта в соответствии с расчетами в работе [6] должна составлять: для мелованной бумаги — 15–24 мкм; для офсетной и газетной бумаги — 25–40 мкм. Таким образом, зная максимально допустимую глубину проникновения краски, обусловленную как воздействием давления печати, так капиллярным впитыванием при выходе оттиска из зоны печатного контакта, можно определить глубину капиллярного впитывания краски: для мелованной бумаги — 15–43 мкм; для офсетной — 5–10 мкм и для газетной бумаги — 15–28 мкм.

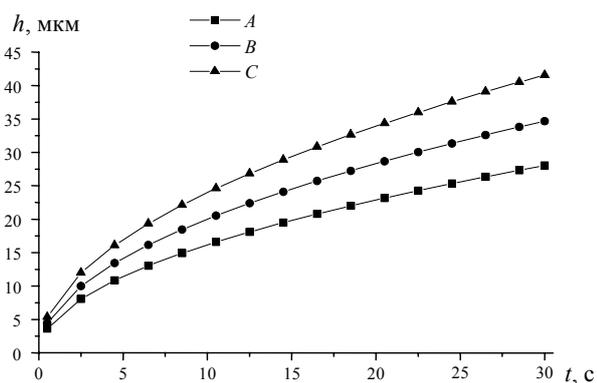


Рис. 5. Зависимость глубины проникновения краски от времени нахождения оттисков в сушильной камере для мелованной бумаги: A — температура в сушильной камере 60 °C; B — 80 °C; C — 100 °C

Как видно из рис. 3, глубина проникновения краски в толщу листа газетной бумаги с увеличением времени прохождения оттисков в су-

шильном устройстве с 1 до 3 с возрастает в среднем в 2,6 раза. Глубина проникновения в офсетную и мелованную бумагу при изменении времени с 1 до 30 с увеличивается в 7,8 раза [2].

**Заключение.** Чтобы избежать чрезмерного проникновения краски в бумагу (вплоть до перехода ее на оборотную сторону), подбор оптимальной температуры в сушильном устройстве, влияющей на капиллярное впитывание, должен осуществляться в некоторых температурных пределах с учетом свойств используемых запечатываемых материалов. Кроме того, для обеспечения надлежащего качества печатных оттисков необходимо подобрать рациональную длину сушильного устройства, а также скорость работы печатной машины. Все эти параметры позволяет предварительно рассчитать разработанная теоретическая модель, основанная на учете как стохастического характера структуры запечатываемого материала, так и основных технологических требований к режиму печатного процесса, а также требований к качеству готовой печатной продукции.

#### Литература

1. Раскин, А. Н. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин, И. В. Ромейков, Н. Д. Бирюкова; под ред. А. Н. Раскина. — М.: Книга, 1989. — 432 с.
2. Старченко, О. П. Влияние температуры и неоднородности структуры порового пространства бумаги на капиллярное впитывание печатной краски / О. П. Старченко, М. И. Кулак, Д. М. Медяк // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. — 2010. — № 2. — С. 69–77.
3. Старченко, О. П. Закономерности влияния давления печатного контакта на изменение размера растровых точек / О. П. Старченко, М. И. Кулак, Д. М. Медяк // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. — 2007. — № 1. — С. 61–67.
4. Козаровицкий, Л. А. Бумага и краска в процессе печатания / Л. А. Козаровицкий. — М.: Книга, 1965. — 368 с.
5. Старченко, О. П. Фрактальный подход в исследовании влияния давления на процесс печатания. Исследование на основе методов теории фракталов процесса впитывания типографской краски до момента ее закрепления на оттиске / М. И. Кулак, С. А. Ничипорович, Д. М. Медяк, О. П. Старченко // Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: науч. изд. / М. И. Кулак. — Минск, 2007. — Гл. 7, 8. — С. 168–312.
6. Старченко, О. П. Перколяция типографской краски в пористой структуре бумаги / О. П. Старченко, М. И. Кулак // Сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т. — Минск, 2005. — Вып. 19: Теоретическая и прикладная механика. — С. 192–197.

Поступила 15.04.2011