

УДК 658.5

**Старченко О. П.**, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ)**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ  
НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕЧАТНОЙ КРАСКИ**

В статье установлены температурные зависимости реологических свойств краски: вязкости, поверхностного натяжения, краевого угла смачивания. По результатам обработки эмпирических данных построены аппроксимирующие функции зависимости реологических свойств от температуры краски. Полученные результаты могут быть использованы для моделирования поведения краски в процессе сушки оттиска.

In the article temperature dependences of such rheological properties of ink as viscosity, superficial tension, limiting wetting angle are established. By means of processing of the empirical data approximating functions of rheological properties on temperature of ink for various samples of paper and ink are constructed. The received results can be used for the modelling of ink behaviour in the drying process of print.

**Введение.** Структурно-механические свойства печатных красок, определяющие их поведение в печатном процессе и условия питания системы, переноса краски на бумагу, существенно сказываются на качестве оттиска. Под структурно-механическими свойствами обычно понимают реологические, когезионные (прочностные) и адгезионные свойства красок, зависящие от их структуры. Структура краски, как дисперсной системы, в свою очередь зависит от характера взаимодействия частиц пигмента (дисперсной фазы) между собой и со связующим (дисперсионной средой).

Структурно-механические свойства красок — это основные их технологические свойства, предопределяющие устойчивость при хранении, деформационное поведение при поступлении в красочную систему и в процессе печатания, а также условия взаимодействия красок с бумагой. От деформационных свойств краски зависит прежде всего ее способность течь по коммуникациям, плавно и равномерно питать красочную систему, распределяться тонким слоем на красочных валиках и печатной форме, давать однородные по интенсивности оттиски и хорошо закрепляться на них [1].

Подавляющее большинство печатных красок представляет собой структурированные дисперсии на масляных связующих. Связующие, в свою очередь, являются также дисперсными — коллоидными системами или растворами полимеров. Поэтому поведение печатных красок в отдельных стадиях технологического процесса зависит в значительной мере от характера и прочности их структуры, степени ее разрушения и кинетики тиксотропного восстановления.

Данные о реологических свойствах красок особенно важны при выборе режима печатного процесса и условий взаимодействия бумаги и краски, которые влияют на качество оттиска [1].

Изучение реологических свойств красок позволяет анализировать их поведение в процессе печатания. Одной из особенностей печатных

красок, оказывающих существенное влияние на реологические свойства, является способность большинства из них к тиксотропному структурообразованию.

В основном печатные краски — это неньютоновские жидкости, реологические свойства которых не могут быть описаны одним коэффициентом вязкости, постоянным только в пределах прямолинейного участка кривой течения. Однако в печатном процессе краска проходит несколько различных стадий, резко отличающихся друг от друга характером и величиной напряжений и скоростей деформации: это стадии подачи из красочного ящика в раскатную систему, раската и наката краски, собственно печатный процесс, заключающийся в переносе части красочного слоя с печатной формы или офсетного полотна на бумагу, и, наконец, закрепление краски на оттиске [2].

С технологической точки зрения основное назначение красочного аппарата — формирование слоя краски необходимой толщины для последующей передачи на печатную форму. Краски для высокой и офсетной печати имеют повышенную вязкость и склонность к структурированию. Именно эти особенности обуславливают многозвенность цепи передачи краски до печатной формы.

Краска должна быть подготовлена к нанесению на форму, т. е. преобразована в относительно маловязкую систему, способную эффективно распределяться по поверхности печатающих элементов формы, обеспечивая образование на них сплошного и достаточного по толщине слоя.

**Основная часть.** На условия взаимодействия краски и бумаги в печатном процессе сильное влияние оказывает давление, под действием которого в момент печатного контакта краска внедряется через приповерхностные поры в ее толщу. Проникновение краски в структуру бумаги в условиях быстрого ( $10^{-2}$  с) заполнения краской внешних пор поверхности листа под

давлением печатного контакта рассмотрено в работах [3, 4]. Была определена глубина проникновения краски в поровое пространство бумаги под воздействием давления печати для сплошного [4] и дискретного [3] фронта ее проникновения.

В механизме закрепления краски важную роль играет температурный фактор. Для ускорения закрепления красок в период активного впитывания и фильтрации краски в поровом пространстве бумаги используется температурное воздействие, осуществляемое различными излучающими устройствами.

Тепловыделяющие устройства интенсифицируют процесс тиксотропного структурообразования краски. При этом не происходит снижение качества печатной продукции, характерное для излишнего впитывания краски в бумагу. Колориметрическая насыщенность цветных оттисков и оптическая плотность черно-белых изображений сохраняются, расход краски на получение каждого оттиска не возрастает.

Наилучшими эксплуатационными характеристиками обладают комбинированные газопламенно-воздуходувные устройства, применяемые в практике работы полиграфических предприятий. В начальной по ходу движения бумажного полотна зоне камеры оно подвергается обогреву открытым газовым пламенем, а затем на него воздействует интенсивный поток подогреваемого воздуха. На выходе из камеры поток холодного воздуха снижает температуру бумажного полотна до исходной. Комбинированные устройства позволяют уменьшить степень обогрева оттиска и сократить длину пути, проходимость бумажным полотном в процессе закрепления краски.

Глубину капиллярного впитывания краски определяет уравнение Уошборна [5]:

$$l_k = \sqrt{\frac{\sigma_{ж} r t \cos \theta}{2\eta}}, \quad (1)$$

где  $l_k$  — длина капилляра;  $\sigma_{ж}$  — поверхностное натяжение краски;  $r$  — радиус капилляра;  $t$  — время;  $\theta$  — краевой угол смачивания;  $\eta$  — вязкость краски.

Воздействие температуры в процессе прохождения оттиска в сушильном устройстве печатной машины влияет на капиллярное впитывание краски. От температуры зависят такие параметры, как  $\sigma_{ж}$ ,  $\eta$ , а также угол  $\theta$ .

Зависимость  $\eta$  от температуры описывается уравнением Френкеля – Андраде [2]:

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{W}{kT}}, \quad (2)$$

где  $\eta_0$  — некоторая начальная вязкость;  $W$  — энергия активации процесса течения;  $k$  — константа Больцмана;  $T$  — температура.

В исследованиях Л. А. Козаровицкого и Т. И. Гудковой [1] влияние температуры на реологические свойства краски было изучено на образцах быстрозакрепляющейся краски. В табл. 1 приведены значения зависимости вязкости краски от температуры, рассчитанные по полученным полным реологическим кривым.

Из опытных данных Л. А. Козаровицкого и Т. И. Гудковой (таблица 1) видно, что наиболее резкое падение вязкости (почти в пять раз) наблюдается при повышении температуры на 30 °С (от 20 до 50°). Дальнейшее такое же повышение температуры на 30° (от 50 до 80°) приводит к относительно небольшому снижению вязкости. Температурный коэффициент вязкости при этом равен 3,3 и 0,23 П/град.

Температурные зависимости вязкости пурпурной и черной офсетных красок № 1, также приведенные в табл. 1, установлены при исследовании вязкости печатных красок в зависимости от рабочих температур, характерных для красочных секций печатных машин [6]. Нижние две строки в табл. 1 — данные о зависимости вязкости краски от температуры, полученные Е. Казарцевым [7] для интервала температур 15–35 °С.

Далее была проведена обработка экспериментальных данных из табл. 1. Для этого уравнение (2) путем замены переменных приведено к линейному виду. Коэффициенты линейной функции определялись с помощью метода наименьших квадратов.

Таблица 1

Зависимость изменения вязкости краски от температуры

Вид краски	Вязкость краски, П, при температуре, °С									
	15	20	25	30	35	40	45	50	60	80
Черная быстрозакрепляющаяся краска	—	125	—	67	—	—	—	27	—	20
Офсетная черная № 1	117	73	45	29	19	14	10	8	6	—
Офсетная пурпурная № 1	121	81	52	33	22	17	13	10	8	—
Офсетная черная № 2	105	53	30	15	—	—	—	—	—	—
Офсетная пурпурная № 2	105	53	30	15	—	—	—	—	—	—

На рис. 1 представлены полученные графики зависимости вязкости краски от температуры. Снижение вязкости краски от температуры наиболее четко проявляется в интервале 20–50 °С. Температурные коэффициенты вязкости краски изменяются в пределах 1,8–2,5 П/град.

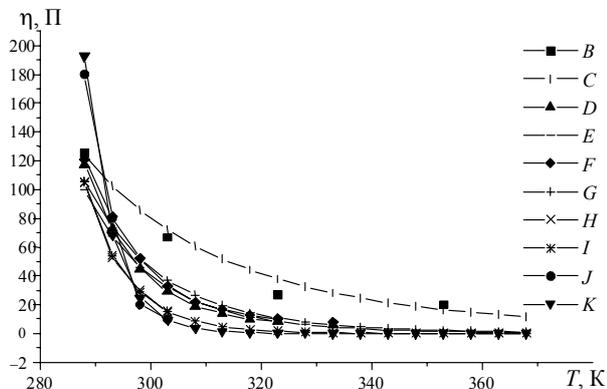


Рис. 1. Зависимости вязкости краски от температуры:

*B, C* — соответственно экспериментальные значения и функция (2) для быстросхватывающейся черной краски; *D, E* — экспериментальные значения и функция (2) для офсетной черной краски № 1; *F, G* — экспериментальные значения и функция (2) для офсетной пурпурной краски № 1; *H, I* — экспериментальные значения и функция (2) для офсетной черной краски № 2; *J, K* — экспериментальные значения и функция (2) для офсетной пурпурной краски № 2

Поверхностное натяжение большинства жидкостей с увеличением температуры уменьшается практически линейно. Рамзей и Шилдс описали температурную зависимость поверхностного натяжения уравнением [5]:

$$\sigma_{ж} (\mu_a / \rho_{ж}) = k_s (T_k - T - 6), \quad (3)$$

где  $\mu_a$  — молекулярная (атомная) масса;  $\rho_{ж}$  — плотность жидкости;  $T_k$  — критическая температура;  $k_s$  — константа, равная  $(2,1-2,2) \times 10^{-3}$  Дж/К.

Для определения температурных коэффициентов поверхностного натяжения краски (3) были взяты экспериментальные данные для масел ГК и ТКп, аналогичных входящим в состав печатной краски [8]. Однако в литературном источнике [8] температурные зависимости поверхностного натяжения определялись в интервале температур от 20 до 50 °С. Для того чтобы приблизить температурный диапазон к условиям, реализуемым в сушильной камере печатной машины, также были использованы зависимости поверхностного натяжения родственной краске жидкости (стеариновой кислоты), имеющей равную с краской молекулярную массу [9].

В табл. 2 приведены экспериментальные данные зависимости поверхностного натяжения масел ГК, ТКп от температуры, а в табл. 3 — стеариновой кислоты [8, 9]. На рис. 2 представлена кинетика изменения поверхностного натяжения этих веществ от температуры.

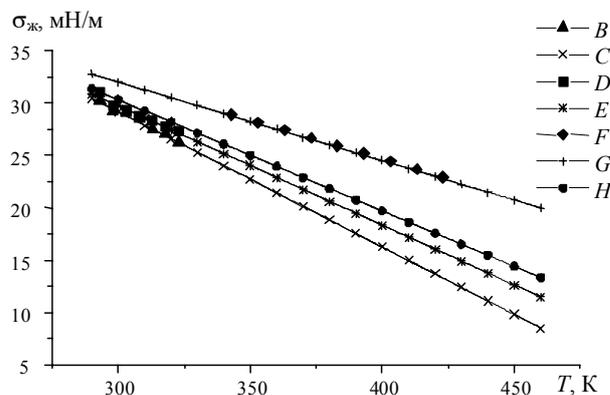


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения от температуры:

*B, C* — экспериментальные значения (*B*) и функция (3) для масла ГК (*C*); *D, E* — экспериментальные значения (*D*) и функция (3) для масла ТКп (*E*); *F, G* — экспериментальные значения (*F*) и функция (3) для стеариновой кислоты (*G*); *H* — функция (3) для печатной краски

Таблица 2

**Зависимость поверхностного натяжения от температуры**

Вещество	Поверхностное натяжение, мН/м°С, при температуре, °С						
	20	25	30	35	40	45	50
Масло ГК	30,25	29,25	29,00	28,50	27,50	27,00	26,25
Масло ТКп	31,00	29,72	29,36	28,72	28,36	27,72	27,36

Таблица 3

**Зависимость поверхностного натяжения от температуры**

Вещество	Поверхностное натяжение, мН/м°С, при температуре, °С								
	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Стеариновая кислота	28,90	28,15	27,41	26,66	25,92	25,17	24,42	23,68	22,93

Для определения температурных коэффициентов зависимость Рамзея и Шилдса (3) преобразуется к виду

$$\sigma_{ж} = k_s (T_k - T - 6) / (\mu_a / \rho_{ж}) = A - B \times T \quad (4)$$

где  $A = k_s (T_k - 6) / (\mu_a / \rho_{ж})$ ;  $B = k_s / (\mu_a / \rho_{ж})$ . Из зависимости (4) следует, что выражение для температурного коэффициента будет иметь вид

$$d\sigma_{ж} / dT = -B(\mu_a / \rho_{ж}). \quad (5)$$

Правая часть выражения (5) не зависит от температуры, обозначим ее  $B_1$  и получим

$$d\sigma_{ж} / dT = -B_1. \quad (6)$$

Проинтегрируем уравнение (6). Учитывая, что при начальной температуре  $T_0$  поверхностное натяжение краски  $\sigma_0$ , имеем

$$\int_{\sigma_0}^{\sigma} d\sigma_{ж} = B_1 \int_{T_0}^T dT. \quad (7)$$

В результате получим

$$\sigma_{ж} = \sigma_{ж_0} + B_1(T - T_0). \quad (8)$$

Исходное поверхностное натяжение  $\sigma_{ж_0} = 30$  мН/м, определено при температуре  $T_0 = 30$  °С [9].

Анализ рис. 2 показывает, что поверхностное натяжение исследованных веществ изменяется по линейному закону и уменьшается с ростом температуры. Температурные коэффициенты поверхностного натяжения печатной краски и ее компонентов составляют диапазон 0,10–0,13 мН·м<sup>-1</sup>/град.

Степень смачивания характеризуется равновесным краевым углом смачивания  $\theta$ , величина которого определяется соотношением поверхностных натяжений на границе раздела трех фаз: жидкость – воздух, твердое тело – воздух и жидкость – твердое тело [8]. Поскольку в литературе отсутствуют данные о температурной зависимости угла  $\theta$ , было выполнено соответствующее экспериментальное исследование [10].

Температурные коэффициенты  $\cos \theta$  краски для образцов газетной и офсетной бумаги при нагревании составляют  $2 \times 10^{-3}$  и  $3 \times 10^{-3}$  1/град, для глянцевой и матовой мелованной бумаги –  $1 \times 10^{-4}$  1/град.

**Заключение.** Из уравнения (1) видно, что на капиллярное впитывание краски влияют все перечисленные показатели. Поскольку наибольшее воздействие температура оказывает на изменение вязкости краски, можно предположить, что в наибольшей степени температура будет влиять на капиллярное впитывание краски через коэффициент вязкости. Следовательно, с увеличением температуры вязкость будет значительно уменьшаться, а глубина проникновения краски в капилляр будет расти. Поверхностное натяжение по сравнению с вязкостью краски в меньшей степени (на порядок) под-

вержено воздействию температуры, поэтому его влияние на значение глубины впитывания краски меньше. Минимальное действие оказывает изменение  $\cos \theta$ , что видно из анализа полученных температурных коэффициентов.

Проведенные исследования будут использованы далее при изучении процесса капиллярного впитывания краски в процессе сушки оттисков.

## Литература

1. Козаровицкий, Л. А. Бумага и краска в процессе печатания / Л. А. Козаровицкий. — М.: Книга, 1965. — 368 с.
2. Шахкельдян, Б. Н. Полиграфические материалы / Б. Н. Шахкельдян, Л. А. Загаринская. — М.: Книга, 1988. — 328 с.
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. 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.
5. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. — М.: Мир, 1979. — 568 с.
6. Дорош, А. О. Реологические свойства краски. Исследование зависимости вязкости печатных красок от рабочих температур красочной секции печатных машин / А. О. Дорош, О. О. Гуцол // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. / Нац. техніч. ун-т Укр. «Київський політехн. ін-т», Видавничо-поліграф. фак-т; редкол.: П. О. Киричок (голов. ред.) [та інш.]. — Київ, 2007. — № 1–2. — С. 122–130.
7. Казарцев, Е. Влияние некоторых технологических факторов на технологические характеристики офсетных красок для листовой печати / Е. Казарцев [и др.] // Технологія і техніка друкарства: зб. наук. пр. / Нац. техніч. ун-т Укр. «Київський політехн. ін-т», Видавничо-поліграф. фак-т; редкол.: П. О. Киричок (голов. ред.) [та інш.]. — Київ, 2006. — № 3. — С. 91–98.
8. Ионова, И. В. Поверхностные явления в масляных фракциях / И. В. Ионова [и др.] // Структура и динамика молекулярных систем. — 2003. — Вып. X, ч. 3. — С. 121–123.
9. Физико-химические свойства органических соединений: справочник / под. общ. ред. А. М. Богомольного. — М.: Химия, КолосС, 2008. — 544.
10. 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.

Поступила 15.04.2011

УДК 655.222.3

**С. В. Медведев**, ассистент (БГТУ); **С. А. Барташевич**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**Ж. С. Шашок**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

### ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЛЕКСОГРАФСКИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ПЕЧАТНЫХ ФОРМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся технологии изготовления флексографских фотополимерных печатных форм (ФПФ) и процессов, происходящих при полимеризации композиции ФПФ. Проведен анализ технологических особенностей формных процессов и их влияния на качество эксплуатационных свойств ФПФ. Предложен способ повышения тиражестойкости печатных форм, позволяющий улучшить эксплуатационные характеристики ФПФ, целенаправленно влияя на их физико-механические свойства. В работе также предложено объяснение с экспериментальным подтверждением теоретических основ физико-химических процессов, происходящих в фотополимерной композиции при воздействии УЗ-колебаний.

The problems, concerning photopolymeric forms composition and the processes which are taking place during polymerization of composition of photopolymeric plates are observed in the paper. The analysis of technological features forming processes and their influence on quality of operational properties photopolymeric printing plates is carrying out. The way of increase plate run length is offered, allowing purposefully to influence physicochemical properties of photopolymeric plates, improving their operational characteristics. In work the explanation of physical and chemical processes which take place in a photopolymeric composition at influence of ultrasonic fluctuations to experimental confirmation of the stated theoretical bases of process also is offered.

**Введение.** При большом разнообразии торговых марок пластин для изготовления флексографских фотополимерных печатных форм, выпускаемых различными компаниями, стоит отметить, что все они обладают сходными свойствами, а их обработка осуществляется по схожим технологиям.

В основе технологического процесса изготовления флексографских печатных форм (ФПФ) лежит полимеризация молекул, происходящая за счет воздействия УФ-излучения на молекулы фотоинициатора (экспонирования), которые инициируют процесс полимеризации свободных молекул мономера [1, 2].

Традиционный аналоговый процесс изготовления ФПФ включает в себя шесть последовательных технологических этапов, три из которых являются экспонированием.

К относительно новым способам изготовления флексографских печатных форм можно отнести цифровую технологию «Computer-to-Plate» (СtP).

Для технологии СtP используются специально разработанные для этого процесса фотополимерные пластины с черным масочным слоем. Технологический процесс отличается от традиционного принципом прямой цифровой записи растровой структуры на масочном слое без применения негатива [3].

**Теоретическая часть.** Несмотря на схожесть двух технологических процессов изготовления ФПФ, анализ полученных печатных форм показал отличие их качественных и эксплуатационных свойств.

Во-первых, это касается различной кривизны граней печатных элементов форм, изготовленных по цифровой и аналоговой технологиям (рис. 1).

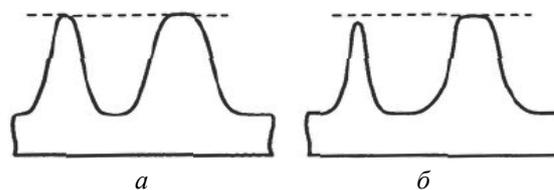


Рис. 1. Рельеф растровых фотополимерных форм, изготовленных по аналоговой (а) и цифровой (б) технологиям

Данное отличие профилей форм объясняется условиями их формирования при УФ-облучении. Образование печатного профиля с более широким основанием по аналоговой технологии объясняется тем, что облучение осуществляется через несколько сред, что вызывает рассеивание и частичное поглощение ультрафиолета [4].

Во-вторых, как видно из рисунка, размер минимального печатного элемента растрового изображения, полученного по аналоговой технологии, существенно больше размера такого же печатного элемента, полученного по цифровой технологии.

В-третьих, при монтаже печатных форм на формном цилиндре или гильзе происходит увеличение высоты растровых элементов в светах по отношению к растровым элементам в тенях, и тем более к плашкам. Причем растровые эле-