

УДК 658.5

**Долгова Т. А.**, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ)**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НА КАЧЕСТВО ГОРЯЧЕГО ТИСНЕНИЯ ФОЛЬГОЙ**

В статье рассмотрено влияние давления, температуры и скорости на качество тиснения фольгой, построены соответствующие математические зависимости, предложена методика определения наилучших значений параметров тиснения в конкретных условиях.

In the article the influence of pressure, temperatures and speeds on the quality of stamping is considered. Corresponding mathematical dependences are received, the technique of definition of the best values of parameters of stamping in concrete conditions is given.

**Введение.** До недавнего времени тиснение фольгой использовали преимущественно для книжных переплетов. Сейчас этот вид отделки стал широко использоваться и для книг в мягкой обложке, и для периодических изданий, и для листовой рекламной продукции. Основной же сферой применения горячего тиснения полиграфической фольгой стало производство упаковки и этикетки, объемы выпуска которых ежегодно увеличиваются.

Фольга привлекает внимание покупателя к продукту, поскольку ее отражающая способность значительно выше, чем у металлизированных красок. Кроме чисто декоративных фольга имеет и защитные функции, препятствующие подделке продукции. Кроме того, фольга — экологически чистый продукт, не содержащий, например, тяжелых металлов [1]. Однако, несмотря на широкое использование, этот вид отделки остается сравнительно мало изученной областью.

Оборудование, используемое типографиями, имеет разную степень износа. Нередко в качестве прессов применяют переоборудованные машины высокой печати. Все это требует корректировки технологических параметров процесса, особенно когда предполагается использовать новый материал.

Полиграфическая фольга для горячего тиснения представляет собой сложный многослойный продукт. Фольга, как правило, состоит из несущей полиэфирной пленки-основы, разделительного, лакового, металлического (алюминиевого) и адгезионного слоев. Адгезионный (клеевой) слой обеспечивает закрепление всех слоев фольги на поверхности материала. В процессе тиснения необходимо активизировать клеевой слой под действием давления и температуры. Слишком высокая температура повредит клеевой слой, слишком низкая не обеспечит закрепление.

В настоящее время имеется широкий ассортимент полиграфической фольги — как специальной, так и с универсальными свойствами. Фирмы-производители указывают для них соответствующие диапазоны давления, температуры и других параметров процесса. Однако

выбор оптимальных значений для конкретных условий тиснения выполняется на основе практического опыта.

Авторы статьи [2] исследовали влияние температуры на четкость изображения при горячем тиснении металлизированной фольгой. Были проведены теоретические расчеты, учитывающие термомеханические свойства различных слоев полиграфической фольги и определена оптимальная температура штампа.

Затем была проведена экспертная оценка оттисков, полученных при различных значениях температуры, и отобраны оттиски, обеспечивающие наилучшее качество с точки зрения визуальной оценки. Интересным является тот факт, что соответствующая температура на 20–30°C выше теоретически рассчитанной.

Это еще раз подтверждает, что основой для определения режимов тиснения должны служить практические исследования. Вместе с тем актуальной представляется задача выработки методики, которая позволит при минимальном объеме экспериментов относительно просто определить параметры процесса для достижения качественного результата тиснения.

**Основная часть.** Для оценки влияния характеристик материала на качество тиснения был проведен следующий эксперимент.

На тигельном прессе получены оттиски на офсетной (65, 70 и 80 г/м<sup>2</sup>) и мелованной бумаге (170, 210, 250, 280 г/м<sup>2</sup>). При этом использовалась универсальная фольга, предназначенная для широкого диапазона бумажных и картонных поверхностей. Установленная постоянная температура, равная 95°C, соответствовала среднему из рекомендуемых производителем значению.

Воспроизводимый оригинал представлял собой довольно сложный рисунок, включающий большие по площади сплошные элементы, мелкие детали и относительно тонкие штрихи. Такой тестовый объект позволяет всесторонне оценить укрывистость и резкость тиснения.

Полученные оттиски оценивались визуально по десятибалльной системе пятью экспертами — специалистами областной типографии. Чтобы минимизировать влияние случайных

факторов на результат, было рассмотрено по пять оттисков для каждого типа бумаги. В общей сложности эксперты оценили 35 образцов.

Далее был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла, полученное значение которого, равное 0,79, говорит о хорошей согласованности мнения экспертов. Поэтому достаточно рассмотреть средние баллы для каждого вида бумаги. Результаты оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Экспертная оценка качества тиснения на офсетной и мелованной бумаге

Офсетная бумага				
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	65	70	80	
Средний балл	6,35	5	2,5	
Мелованная бумага				
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	170	210	250	280
Средний балл	8,48	8,4	8,64	8,32

Как видно, для относительно тяжелого материала с мелованной поверхностью изменение весовых характеристик мало влияет на качество оттиска. Относительно низкие показатели качества для офсетной бумаги скорее всего свидетельствуют о несоответствии выбранных параметров процесса характеристикам материала. Следует также учесть, что при оценке оттисков низкого качества наблюдался наибольший разброс мнения экспертов. Так, согласованность оценок по пяти образцам на офсетной бумаге 80 г/м<sup>2</sup> составила около 50%. Поэтому можно считать, что основным фактором, влияющим на результат, является именно гладкость поверхности, а не весовые показатели материала.

Следующий эксперимент был проведен на мелованном картоне 215 г/м<sup>2</sup>, при этом рассматривалось тиснение по предварительно запечатанной краской поверхности и тиснение на незапечатанных листах.

Для горячего тиснения фольгой картонной упаковки рекомендуемый диапазон рабочих температур пресса лежит в пределах от 85 до 150°C. Были рассмотрены значения температуры, изменяющиеся от 110 до 140°C, при пяти возможных величинах давления в диапазоне 15–22,2 МПа.

Штамп содержал периодически расположенные одинаковые прямоугольные печатающие элементы. Оттиски просматривались на наличие непропечатанных участков, царапин, «рваных» краев. Прямоугольник с визуально заметным дефектом считался некачественным. За показатель качества оттиска было взято содержание качественных фрагментов в процентах от общего числа печатающих элементов на листе картона.

Такой подход дает несколько заниженные оценки качества оттисков, но позволяет мини-

мизировать влияние субъективных факторов на результат. Кроме того, в нашем случае интерес представляли не абсолютные показатели качества, а характер их изменения. Полученные результаты приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2  
Показатель качества тиснения на запечатанной краской поверхности

Давление, МПа	Содержание качественных печатных элементов на листе картона, %				
	Температура, °С				
	110	120	125	130	140
15	32	40	46	39	37
18	54	55	66	52	51
19,8	77	70	71	60	66
21,6	76	60	65	63	46
22,2	81	68	60	78	32

Как видно, при любых режимах технологического процесса качество припрессовки фольги к незапечатанной поверхности гораздо выше, чем к запечатанной. Это еще раз подтверждает тот факт, что изменение характеристик поверхности запечатываемого материала требует проведения новых исследований для определения оптимальных условий получения качественных оттисков.

Таблица 3  
Показатель качества тиснения на незапечатанной поверхности

Давление, МПа	Содержание качественных печатных элементов на листе картона, %				
	Температура, °С				
	110	120	125	130	140
15	60	80	72	65	60
18	63	86	75	73	70
19,8	76	91	90	84	72
21,6	82	97	94	88	80
22,2	90	94	94	90	87

При использовании универсальной фольги, когда производителем дается достаточно широкий диапазон изменения параметров работы оборудования, такие исследования приобретают особую актуальность.

Рассмотрим подробнее возможную методику их проведения и оценку результатов.

Проанализируем сначала результаты описанного выше эксперимента для незапечатанной поверхности (табл. 3), поскольку используемая фольга в рассмотренных диапазонах давления и температуры наиболее соответствует такому материалу.

Анализ данных показывает, что характер влияния температуры  $t$  для каждой из пяти величин давления один и тот же. Зависимость качественного показателя от  $t$  хорошо аппроксимирует параболическая функция.

Например, для тиснения при давлении, равном 19,8 МПа, эта функция, значение которой равно процентному содержанию качественных печатных элементов на листе-образце, будет иметь вид

$$f19(t) = -621,99 + 19,98t - 0,0428t^2.$$

На рис. 1 график зависимости и соответствующие экспериментальные точки обозначены символом С.

Эта функция позволяет найти значение температуры, которая обеспечивает наилучшее тиснение фольгой в данных условиях. Максимум  $f19$  будет достигнут при  $t = 128,3$ , то есть рекомендуемым параметром техпроцесса может быть  $t = 130^\circ\text{C}$ .

Все необходимые расчеты были выполнены с помощью программного пакета для автоматизации инженерных вычислений — Mathcad.

Графики полученных аппроксимирующих функций для остальных значений давления также показаны на рис. 1.

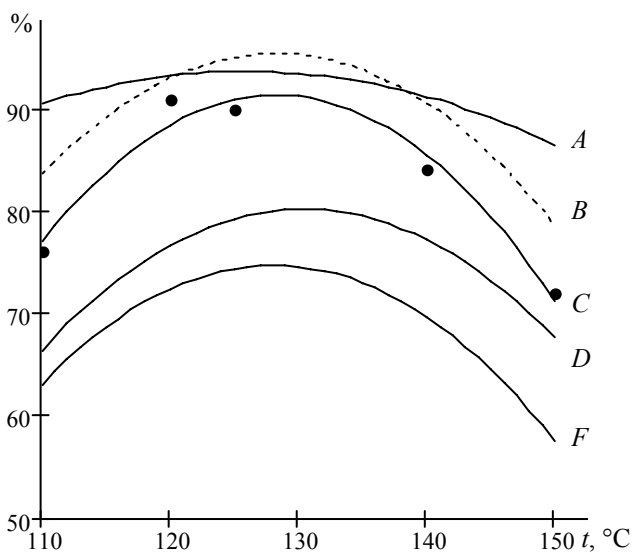


Рис. 1. Зависимость показателя качества от температуры при давлении  $P$ , МПа:  
 A —  $P = 22,2$ ; B —  $P = 21,6$ ; C —  $P = 19,8$   
 (••• — эксперимент,  
 — — аппроксимирующая функция);  
 D —  $P = 18$ ; F —  $P = 15$

Методика выбора оптимальных параметров технологического процесса для конкретных материалов должна, по возможности, опираться на сравнительно небольшое число практических исследований. Параболический характер изменения качественных показателей в зависимости от температуры экспериментально подтверждался как в литературе (например, [2]) так и проводимыми в данной работе исследованиями. Поэтому для нахождения коэффициентов

такой функции достаточно ограничиться минимально возможным числом узловых точек, то есть провести экспериментальное исследование образцов при трех значениях температуры (минимальной, средней и максимальной из диапазона, рекомендованного производителем фольги).

На рис. 2 даны для сравнения такие зависимости при нескольких значениях давления.

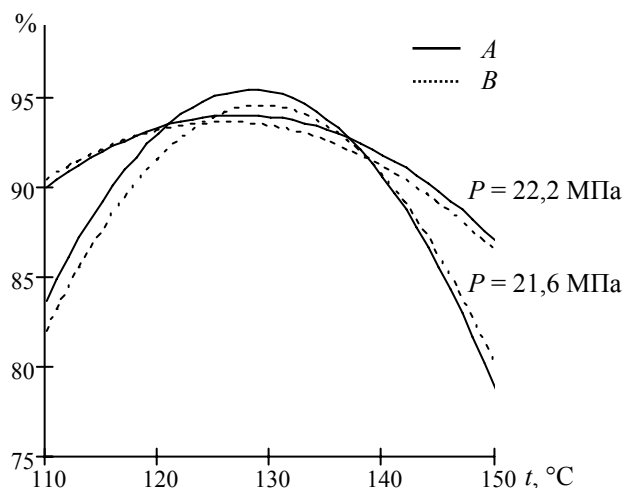


Рис. 2. Сравнение аппроксимирующих функций, полученных по:

A — данным из табл. 3; B — трем узловым точкам

Найденные для разных вариантов построения функций координаты максимумов также мало отличаются друг от друга. Так, при  $P = 22,2$  МПа это значения, равные 125,94 и 127,26, для данных из табл. 3 и в случае оценки всего трех образцов соответственно; для  $P = 21,6$  МПа — 128,25 и 129,27.

Расчетные и рекомендуемые значения температуры, соответствующие максимумам функций, полученных при оценке образцов для всех проанализированных величин давления приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Оптимальное сочетание параметров процесса тиснения**

Давление, МПа	Значение температуры, °C	
	расчетное	принимаемое
15	128,1	130
18	130,47	130
19,8	128,3	130
21,6	128,25	130
22,2	125,94	125

Эти результаты, в частности, вновь подтверждают вывод о том, что давление оказывает на результат горячего тиснения фольгой меньшее влияние, чем температура.

В качестве еще одного варианта построения математической модели процесса и решения с ее помощью оптимизационных задач можно предложить построение двумерной регрессионной зависимости качества тиснения от температуры и давления.

Так, по результатам оценки оттисков, которые соответствуют сочетаниям трех величин давления (15, 19,8 и 22,2 МПа) и трех значений температуры (110, 125 и 150°C), была построена функция  $F(t, P)$ .

Для нахождения коэффициентов регрессии, как и ранее, использовались стандартные средства программы Mathcad.

График поверхности, которую задает функция  $F(t, P)$ , представлен на рис. 3.

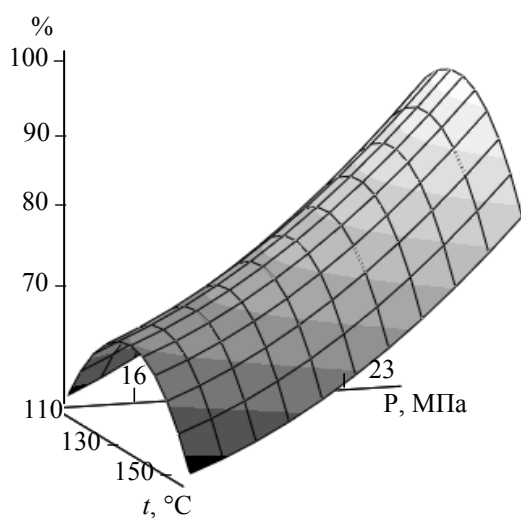


Рис. 3. Двумерная регрессия для оценки качества тиснения

Решение задачи поиска максимума этой функции дает вполне ожидаемый результат: максимально возможное давление (в данном случае равное 22,2 МПа) и температуру, равную 128,5°C.

Заметим, что построение такой математической модели позволяет быстро найти наилучшую температуру для любого значения давления из заданного диапазона или, наоборот, определить минимально возможную температуру для конкретной величины давления. Такая задача является весьма актуальной в связи с необходимостью снижения энергоемкости производства.

Например, если предположить, что достаточным является отсутствие каких-либо дефектов на 85% печатных элементов бумажного листа, то будет получено решение:  $t = 110,4^\circ\text{C}$  и  $P = 21,4$  МПа. Если нужно ограничить и величину давления, например 20 МПа, то аналогичные расчеты дадут большее значение температуры, равное 118,55°C.

Таким образом, сравнительно небольшое количество тестовых образцов, соответствующих определенным сочетаниям параметров тиснения, позволяет всесторонне исследовать процесс с целью получения наилучшего результата.

До сих пор речь шла о тиснении на тигельных прессах, где основными параметрами, устанавливаемыми для работы оборудования, являются температура и давление. Если же тиснение выполняется на цилиндрических прессах, то к этим факторам добавляется еще и скорость  $v$ , измеряемая обычно в оттисках, обрабатываемых в час.

В этом случае для сокращения объема экспериментальных исследований и уменьшения сложности используемых математических моделей можно воспользоваться методами планирования эксперимента.

Рассмотрим подробнее самый популярный (и относительно простой) метод — полный факторный эксперимент, в котором опыты проводят при всех сочетаниях минимальных и максимальных значений переменных, влияющих на процесс.

Отметим, что для определения таких значений удобнее воспользоваться рекомендуемыми диапазонами для конкретного сочетания фольги и запечатываемой поверхности. При отсутствии информации для используемых материалов, что чаще всего встречается при тиснении на нестандартной поверхности, можно рассмотреть характеристики работы применяемого оборудования.

В проведенном в ходе работы эксперименте рассматривались следующие границы диапазонов факторов (здесь называют нижним и верхним уровнями): температура от 93 до 130°C, давление от 12 до 15 МПа, скорость от 2000 до 3500 отг./ч. Качество тиснения оценивалось экспертами по десятибалльной шкале. В качестве окончательной оценки брали округленное (до 0,5) среднее арифметическое значение. План проведения опытов по тиснению на мелованной матовой бумаге 200 г/м<sup>2</sup> и результаты оценки полученных оттисков приведены в табл. 5.

Таблица 5

План и результаты полного факторного эксперимента

№ эксперимента	Температура, °C	Давление, МПа	Скорость, отг./ч	Оценка, баллов
1	93	12	2	5
2	93	12	3,5	4,5
3	93	15	2	8
4	93	15	3,5	6
5	130	12	2	8
6	130	12	3,5	8
7	130	15	2	9
8	130	15	3,5	9,5

В качестве функции, описывающей экспериментальную зависимость, было рассмотрено регрессионное уравнение, включающее одинарные, двойные и тройные эффекты взаимодействия. В ходе регрессионного анализа найдены коэффициенты таких функций и проведена оценка их значимости [3]. Полученное после исключения незначимых коэффициентов уравнение имеет следующий вид:

$$f(z_1, z_2, z_3) = 7,25 + 1,38z_1 + 0,88z_2 + 0,38z_1z_3,$$

где  $z_1, z_2, z_3$  — безразмерные значения факторов, принимающие значения от  $-1$  до  $1$ , что соответствует реальным значениям температуры, давления и скорости от минимальной до максимальной величины из рассмотренных диапазонов значений.

Как показано, слагаемое, соответствующее линейному вкладу третьего фактора, отсутствует, то есть скорость оказывает на результат незначительное влияние и только в сочетании с определенной температурой (относительно небольшой коэффициент двойного взаимодействия первого и третьего фактора). Поэтому можно ограничиться рассмотрением только нескольких возможных величин скорости, например минимальной, средней и максимальной. В этом случае анализироваться будут уравнения, полученные из исходного при  $z_3$ , равном  $-1, 0$  и  $1$  соответственно.

Таким образом, стоит задача отыскания соотношения факторов, которое обеспечит требуемый уровень качества, то есть оценку не ниже  $K$  баллов. Для функции, зависящей от двух переменных, оптимизационная задача при наличии ограничений легко решается стандартными средствами Mathcad.

На рис. 4 для примера показано пересечение поверхности, которая соответствует среднему значению скорости и плоскости  $K = 8$ . Соотношение температуры и скорости, для которых график регрессионной функции находится выше этой плоскости, обеспечивает нужное качество. Из этих возможных значений желательно выбрать наименьшие, что обеспечит экономию энергоресурсов.

Например, в результате решения для  $K = 8$ , когда факторы рассматриваются в пределах от  $-1$  до  $1$ , получим  $z_1 = 0,553$  и  $z_2 = -0,012$ , что в реальных величинах примерно соответствует температуре  $122^\circ\text{C}$  и давлению  $13,5$  МПа.

При необходимости диапазон изменения температуры и (или) давления может быть уменьшен. Так, если рассмотреть только отрицательные значения  $z_1$ , то есть определить необходимое давление, при условии, что температура будет не выше среднего значения

( $z_1 < 0$ ), то получим  $z_1 = -0,035$  и  $z_2 = 0,912$  ( $112^\circ\text{C}$  и  $14,9$  МПа).

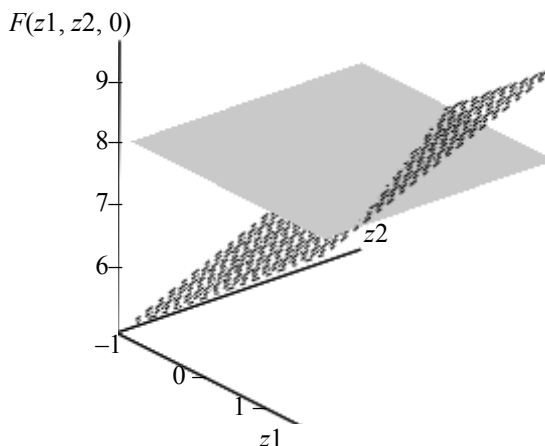


Рис. 4. Пересечение регрессионной функции ( $z_3 = 0$ ) с плоскостью, соответствующей  $K = 8$

Можно в исходной регрессионной зависимости зафиксировать значение другого параметра (а не скорости) и, например, определить, какое максимальное качество может быть получено при некотором значении давления или при определенной температуре.

Таким образом, построенная регрессионная зависимость позволяет решать разные возникающие на практике задачи.

**Заключение.** Для получения качественного результата горячего тиснения фольгой необходимы предварительные исследования. Они могут базироваться на экспертных оценках оттисков, полученных при разных режимах работы оборудования. Снизить количество экспериментов и всесторонне проанализировать влияние технологических факторов на процесс позволяет построение и использование относительно простых математических моделей. Заметим, что для решения этой задачи можно воспользоваться стандартными средствами математических пакетов.

### Литература

1. Позолотные прессы. XXI век // Маркировка [Электронный ресурс]. – 2006–2010. – Режим доступа: [http://markerovka.ru/pozolot\\_process.html](http://markerovka.ru/pozolot_process.html). – Дата доступа: 17.03.2011.
2. Киричок, Т. Ю. Вплив температури на перенесення зображення під час гарячого тиснення / Т. Ю. Киричок, Ю. П. Маневич // Технологія і техніка друкарства. – 2008. – № 1 (19). – С. 54–57.
3. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента / И. М. Жарский, Б. А. Каледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 182 с.

Поступила 19.04.2011

# ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

---

УДК 621.311

Анкуда Д. А., ассистент (БГТУ);

Юденков В. С., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛИСТОВОЙ ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРОВ С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ

Разработана система автоматического управления главным электроприводом двухсекционной листовой офсетной печатной машины. Предлагаемая система управления на основе регуляторов с нечеткой логикой адаптивна по отношению к типу запечатываемого материала и сюжету на печатной форме.

Developed a system automatic control by the main drive of the two-section sheet offset printing machine. The proposed control system on the basis of fuzzy logic controllers is adaptive with respect to type of printed material and image on a printed form.

**Введение.** При многокрасочной печати одним из основных требований к печатной машине является точное геометрическое нанесение изображения на запечатываемый материал. Это требование выполняется синхронизацией по положению печатных цилиндров различных секций за счет использования общего механического вала.

В настоящее время для многокрасочных печатных машин сформировалась тенденция к переходу от группового трансмиссионного электропривода к индивидуальному электроприводу отдельных печатных секций. При этом упрощаются кинематические схемы машин, обеспечивается модульное построение печатных машин любой красочности, а также сокращается время подготовительных операций перед печатью тиража.

Отсутствие общего механического вала накладывает высокие требования к синхронизации по скорости и положению печатных цилиндров отдельных печатных секций, приводимых не связанными механически электроприводами переменного тока.

При рассмотрении требований, предъявляемых к многодвигательному электроприводу листовых печатных машин, можно отметить следующее:

– диапазон регулирования скорости должен составлять не менее 20;

– должна обеспечиваться высокая точность синхронизации по угловому положению валов электроприводов отдельных печатных секций (допустимое отклонение расположения изображения на лице и обороте запечатываемого листа составляет 0,1 мм; точность приводки красок при многокрасочной печати должна быть в пределах нескольких сотых долей миллиметра [1]).

Для реализации такого диапазона регулирования скорости необходимо применение асинхронных электроприводов с векторным управлением. Синхронизация по положению печатных цилиндров различных печатных секций достигается применением датчиков обратной связи по положению и по скорости двигателя.

**Основная часть.** При использовании двухдвигательного асинхронного электропривода в качестве главного привода двухкрасочной листовой печатной машины синхронизованное вращение валов и цилиндров печатных секций будет зависеть от нагрузки на валах электродвигателей.

Момент статического сопротивления в печатной секции в основном определяется следующими составляющими:

- 1) момент сопротивления от взаимного перекатывания формного и офсетного цилиндров;
- 2) момент сопротивления от взаимного перекатывания офсетного и печатного цилиндров;
- 3) момент сопротивления, создаваемый валиками и цилиндрами красочного аппарата.

Оценим, какие технологические параметры процесса печати оказывают влияние на суммарный момент статического сопротивления на валу главного привода печатной секции. Определим влияние давления печати. В офсетной печати контакт жесткого и эластичного цилиндров происходит по полосе, ширина которой определяется выражением [2, 3]

$$b = 2 \sqrt{\lambda \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — абсолютная деформация офсетного полотна;  $R_1$  — радиус жесткого цилиндра;  $R_2$  — радиус эластичного цилиндра.