

К. В. ТИР  
Доцент

## КИНЕМАТИКА ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА РОТАЦИОННЫХ МАШИН

Ротационный способ печати характеризуется применением цилиндрической формы и цилиндрической давящей поверхности, между которыми для нанесения оттиска прокатывается бумажный лист или лента ролевой бумаги.

Цилиндры ротационных машин вращаются равномерно со значительными окружными скоростями, что, особенно при непрерывном питании машин ролевой бумагой, создает возможность достижения высокой производительности.

Именно поэтому закономерно все большее распространение ротационной высокой, плоской и глубокой печати в отечественной полиграфической промышленности.

Учитывая такое распространение и задачи интенсификации производства при одновременном повышении качества полиграфической продукции, необходимо углубить теорию ротационной печати.

В частности, необходимо глубже исследовать кинематику печатного контакта между формными и печатными (либо печатными и офсетными) цилиндрами, так как качество печати и производительность ротационных машин в значительной мере определяются оптимальным взаимодействием этих цилиндров.

В зоне печатного контакта цилиндров происходят сложнейшие процессы в той или иной мере уже изученные. Однако ряд явлений, сопровождающих цикл печатного контакта, еще мало исследован и не описан в литературе.

В публикуемой статье дана количественная оценка влияния установки печатного цилиндра на кинематические явления, происходящие в зоне печатного контакта.

Как и при всяком кинематическом исследовании, представляющем определенную научную абстракцию, здесь предусмотрен ряд допущений, а именно:

1. Поверхность формного цилиндра и поверхность тела печатного цилиндра под упруго-пластичной покрывкой приняты абсолютно жесткими;

2. Деформации покрывки приняты в первом приближении симметричными с учетом «идеальной» геометрии контакта, хотя опыт показывает, что восстановление деформации покрывок протекает во времени медленнее, чем цикл печатного контакта;

3. Упруго-пластичная покрывка принята однородной и надежно закрепленной на своем цилиндре, причем предполагается, что проскальзывание происходит между поверхностью покрывки и формой, а не меж-

ду крышкой и поверхностью тела цилиндра под нею, как это и наблюдается на практике.

Однако при определенных условиях возможен и обратный случай, который требует особого исследования.

4. Вопросы силового взаимодействия цилиндров печатных секций ротационных машин в статье не освещаются, как не относящиеся к теме, посвященной лишь оценке кинематических параметров печатного контакта, происходящего при перечисленных условиях.

В статье принята методика относительного анализа, причем единицей меры линейных величин принят радиус формного цилиндра ( $r_{\phi}$ ) независимо от его абсолютного размера.

Линейные величины при этом выражаются в относительном виде через  $r_{\phi}$  (например, относительное смещение  $\xi = \frac{S_{омн}}{r_{\phi}}$ , межцентровое расстояние  $A_o = \frac{A}{r_{\phi}}$ ), кинематические величины в относительном виде через  $\omega r_{\phi}$  (например, скорость относительного скольжения  $\beta = \frac{v_{омн}}{\omega r_{\phi}}$ ) и т. л.

Данное исследование является логическим продолжением ранее опубликованных автором работ в области теории механических явлений, происходящих в зоне печатного контакта (3), (4) и (5).

#### ОЦЕНКА СКОРОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Рассмотрим (рис. 1) кинематические явления, происходящие между поверхностью формного цилиндра 1, которую принимаем недеформируемой (абсолютно жесткой) и поверхностью печатного (либо офсетного) цилиндра 2 с деформирующейся упруго-пластичной крышкой (декем, офсетной резиной).

Диаметры начальных окружностей зубчатых зацеплений формного цилиндра  $D_{н.о.ф}$  и печатного цилиндра  $D_{н.о.о}$  считаем заданными:

$$\frac{D_{н.о.ф}}{D_{н.о.о}} = \frac{\omega_o}{\omega_{\phi}} = i, \quad [1]$$

где  $\omega_o$  и  $\omega_{\phi}$  — соответственно угловые скорости печатного (офсетного) и формного цилиндра, а  $i$  — передаточное число.

Считаем также заданными:

$A$  — межцентровое расстояние, которое в общем случае может быть не только номинальным ( $A = \frac{D_{н.о.ф} + D_{н.о.о}}{2}$ ), но и с отступлением от последнего в плюс или минус;

$r_{\phi}$  — радиус формного цилиндра по поверхности формы;

$z_m$  — максимальная деформация крышки, определяющая величину угла контакта  $2\varphi_m$ .

Рассмотрим произвольную точку  $K$  в зоне печатного контакта цилиндров 1 и 2, лежащую на поверхности формного цилиндра и определяемую угловой координатой  $\varphi$ .

Скорость формного цилиндра в этой точке, как и в любой точке на его поверхности

$$v_{к\phi} = \omega_{\phi} r_{\phi} \quad [2]$$

Скорость точки  $K_0$ , совпадающей в данный момент с рассматриваемой точкой  $K$  поверхности формы, но принадлежащей поверхности покрывки, определится по ее тангенциальной составляющей

$$v_{k_0}^{\tau} = \omega_0 r_{k_0}, \quad [3]$$

где  $r_{k_0}$  — переменный в период цикла печатного контакта мгновенный радиус-вектор поверхности покрывки в рассматриваемой точке  $K_0$ .

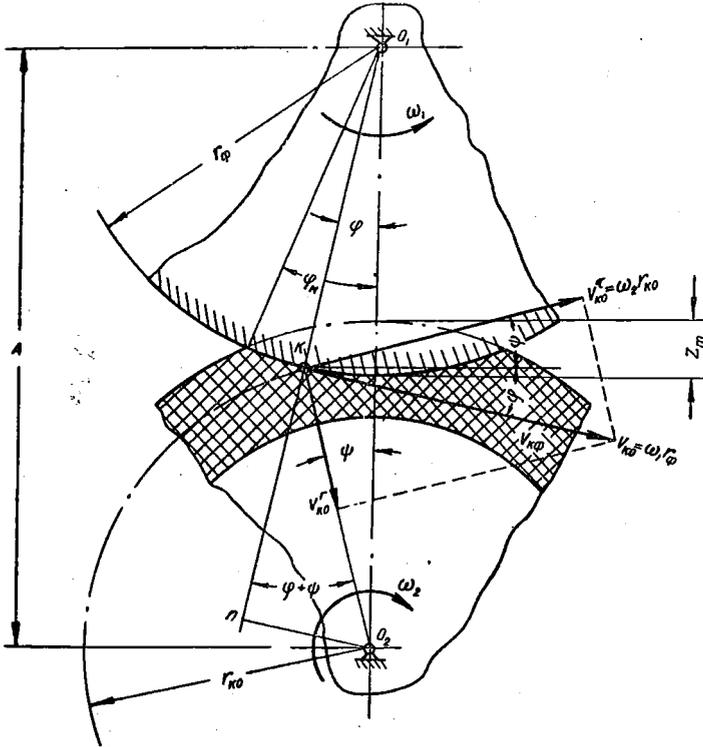


Рис. 1. Схема кинематического взаимодействия между цилиндрами ротационных машин.

Второй — радиальной составляющей скорости этой точки является скорость деформации покрывки (допущение о радиальном направлении деформации покрывки вполне оправдывается незначительностью величины центрального угла контакта  $2\varphi_n$ ). При наличии контакта абсолютная скорость точки  $K_0$  ( $V_{k_0}$ ) может быть направлена только по касательной к окружности формного цилиндра.

С учетом этого

$$v_{k_0} = \frac{v_{k_0}^{\tau}}{\cos(\varphi + \psi)} = \frac{\omega_0 r_{k_0}}{\cos(\varphi + \psi)}, \quad [4]$$

где  $\psi$  — центральный угол, соответствующий положению точки  $K_0$  (рис. 1).

Между точками  $K$  и  $K_0$  возникает скорость относительного скольжения, определяемая разностью их абсолютных скоростей, направленных во всех случаях касательно к поверхности формного цилиндра:

$$v_{отн} = v_{k_0} - v_{k\phi} = \frac{\omega_0 r_{k_0}}{\cos(\varphi + \psi)} - \omega_{\phi} r_{\phi}. \quad [5]$$

Величину радиуса  $r_{ko}$  выразим, пользуясь теоремой косинусов, (рис. 1)

$$r_{ko} = \sqrt{r_{\phi}^2 + A^2 - 2Ar_{\phi} \cos \varphi} = r_{\phi} \sqrt{1 + A_0^2 - 2A_0 \cos \varphi}, \quad [6]$$

где  $A_0 = \frac{A}{r_{\phi}}$ .

Учитывая [6] и [1], найдем из [5]

$$v_{омн} = \omega_{\phi} r_{\phi} \left[ \frac{i \sqrt{1 + A_0^2 - 2A_0 \cos \varphi}}{\cos(\varphi + \psi)} - 1 \right]. \quad [7]$$

Из вспомогательного  $\triangle O_2nk$  (см. рис. 1) найдем

$$\cos(\varphi + \psi) = \frac{\overline{nk}}{O_2k} = \frac{A_0 \cos \varphi - 1}{\sqrt{1 + A_0^2 - 2A_0 \cos \varphi}}, \quad [8]$$

где  $\overline{O_2k}$  определено по теореме косинусов из  $\triangle kO_1O_2$ .

Подставляя [8] в [7], найдем

$$v_{омн} = \omega_{\phi} r_{\phi} \left[ \frac{i(1 + A_0^2 - 2A_0 \cos \varphi)}{A_0 \cos \varphi - 1} - 1 \right] = \beta \omega_{\phi} r_{\phi}, \quad [9]$$

$$\text{где} \quad \beta = \frac{i(1 + A_0^2 - 2A_0 \cos \varphi)}{A_0 \cos \varphi - 1} - 1. \quad [10]$$

Для современных конструкций ротационных машин обычно  $i = 1$ .

В этом случае безразмерный коэффициент скорости относительного скольжения  $\beta$  может быть из [10] выражен величиной

$$\beta = \frac{v_{омн}}{\omega_{\phi} r_{\phi}} = \frac{A_0^2 - 1}{A_0 \cos \varphi - 1} - 3. \quad [11]$$

Каждому реальному значению относительного межцентрового расстояния  $A_0 = \frac{A}{r_{\phi}}$  и каждому частному значению  $\varphi$  в реальных пределах ( $-\varphi_m < \varphi < \varphi_m$ ) соответствует определенное значение относительной скорости  $v_{омн}$  и ее безразмерного коэффициента  $\beta$ .

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ КОНТАКТА $\varphi_m$

Предельные значения угла  $\varphi$  ( $\varphi_m$ ) практически достигают  $1^\circ + 3^\circ 30'$  и определяются по теореме косинусов (рис. 2)

$$\cos \varphi_m = \frac{r_{\phi}^2 + A^2 - r_0^2}{2Ar_{\phi}} = \frac{1 + A_0^2 - \left(\frac{r_0}{r_{\phi}}\right)^2}{2A_0}. \quad [12]$$

Так как величина максимальной деформации декеля  $z_m = r_o + r_{\phi} - A$

или  $\frac{z_m}{r_{\phi}} = \frac{r_o}{r_{\phi}} + 1 - A_0$ , то

$$\frac{r_o}{r_{\phi}} = A_0 + \frac{z_m}{r_{\phi}} - 1. \quad [13]$$

Подставляя это значение в [12] и пренебрегая незначительной величиной второго порядка  $\left(\frac{z_m}{r_\phi}\right)^2 \cdot \frac{1}{2A_0}$ , найдем

$$\cos \varphi_m \cong 1 - \frac{z_m}{r_\phi} \left(1 - \frac{1}{A_0}\right). \quad [14]$$

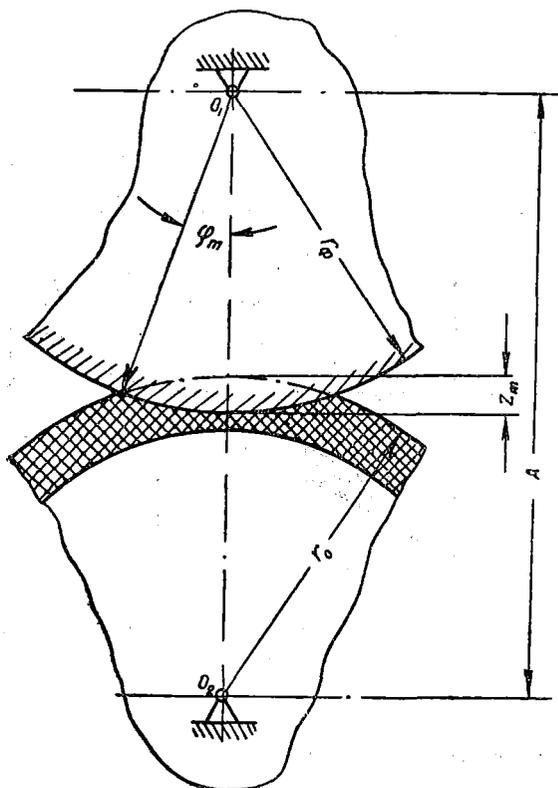


Рис. 2. Схема к определению угла контакта  $\varphi_m$ .

Для современных ротационных машин  $A_0 \cong 2$  и в этом случае

$$\cos \varphi_m \cong 1 - \frac{z_m}{D_\phi}$$

или

$$\varphi_m = \arccos \left(1 - \frac{z_m}{D_\phi}\right). \quad [15]$$

Значения угла  $\varphi_m$  в зависимости от диаметра формного цилиндра  $D_\phi$  и необходимой по условиям технологии печати величины максимальной деформации покрышки  $z_m$  приведены на графике (рис. 3).

Как видно из графика, угол контакта  $2\varphi_m$  увеличивается с повышением величины необходимой максимальной деформации покрышки и с уменьшением диаметров цилиндров ( $D_\phi$ ).

Однако с увеличением угла  $\varphi_m$ , как видно из анализа [11], растут

скорости относительного скольжения, а следовательно, ухудшаются условия печати.

Поэтому очевидно, что качество печати при прочих равных условиях повышается при использовании машин с бóльшими диаметрами печатных цилиндров и достаточно жесткими покрышками, не требующими их значительных абсолютных максимальных деформаций ( $z_m$ ).

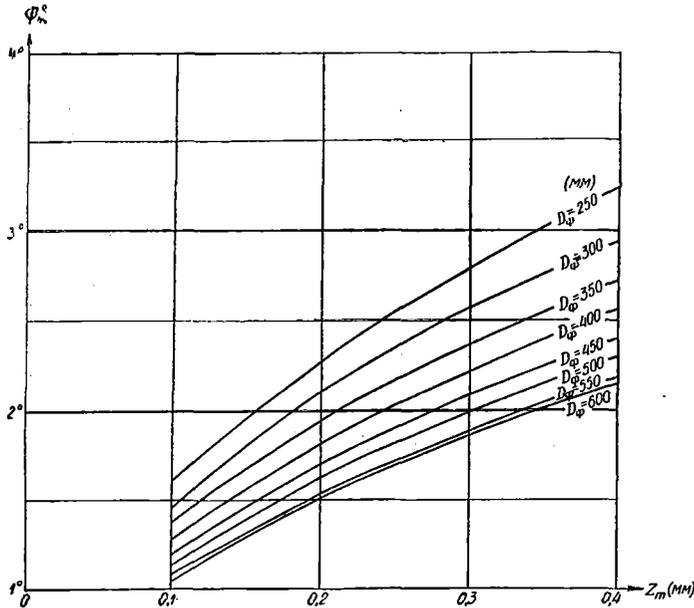


Рис. 3. Графики зависимости угла контакта  $\varphi_m$  от  $D_\phi$  и максимальной деформации покрышки  $z_m$ .

### ЭПЮРЫ СКОРОСТЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ $\beta = \frac{v_{отн}}{\omega_\phi r_\phi}$

Характер изменения безразмерных коэффициентов скоростей относительного скольжения  $\beta = \frac{v_{отн}}{\omega_\phi r_\phi}$  при  $i = 1$  определяется графиками на рис. 4, где представлены их величины для значений  $\varphi$  в пределах до  $\varphi_m = 4^\circ$  и для значений  $A_0$  в пределах от 1,995 до 2,005. Ординаты графиков вычислены по формуле [11].

Анализируя графики, заметим, что скорости относительно скольжения неизбежно растут с увеличением против номинала межцентрового расстояния ( $A_0 = \frac{A}{r_\phi}$ ), причем в этом случае они остаются однозначными (проскальзывание поверхности покрышки всегда направлено вперед по ходу поверхности формного цилиндра).

При сокращении межцентрового расстояния против номинала (минусовая установка цилиндров) скорости относительного скольжения могут иметь на краях площадки контакта положительное значение (проскальзывание по ходу формы), а в средней части площади всегда отрицательное значение (проскальзывание против хода формы).

Анализ эпюр скоростей относительного скольжения при различных условиях дает возможность судить о величине относительного смещения точки формы относительно поверхности покрышки, а следовательно, сознательно выбирать оптимальные условия печати с наилучшим качеством оттисков и при наименьшем износе формы.

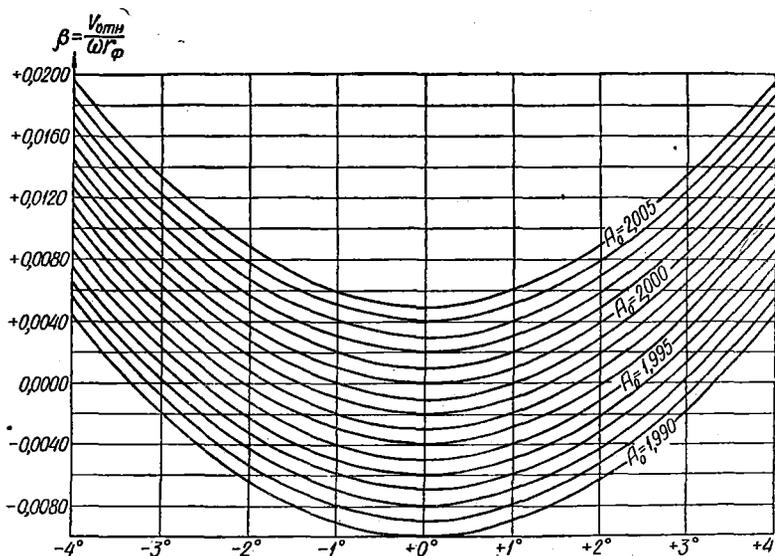


Рис. 4. Эпюры скоростей относительного скольжения  $\beta = \frac{v_{omn}}{\omega r_{\phi}}$  в зависимости от  $\varphi$ , и относительного межцентрового расстояния  $A_0 = \frac{A}{r_{\phi}}$ .

Установившееся мнение о том, что якобы оптимальной установкой цилиндров является «номинальная установка», при которой межцентровое расстояние является полусуммой диаметров начальных окружностей зубчатых зацеплений венцов цилиндров, как показывает приведенный ниже анализ, является неточным.

Действительные межцентровые расстояния всегда отличаются от номинальных, и задача заключается лишь в том, чтобы правильно установить пределы и положение поля допустимых отклонений этих расстояний, принимая во внимание существо происходящих явлений.

#### ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ ФОРМЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫШКИ ЗА ЦИКЛ ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА

Рассмотрим произвольную эпюру скоростей относительного скольжения (в безразмерном виде), характер которой по формуле [11] при  $A_0 < 2$  представлен на рис. 5.

Скорость относительного скольжения в дифференциальном виде выражается величиной

$$v_{omn} = \frac{ds_{omn}}{dt} = \frac{ds_{omn}}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega_{\phi} \frac{ds_{omn}}{d\varphi}.$$

Но вместе с тем величина  $v_{отн}$  выражается формулой [9], а поэтому

$$v_{отн} = \beta \omega_{\phi} r_{\phi} = \omega_{\phi} \frac{ds_{отн}}{d\varphi}.$$

Следовательно, элементарное смещение точки поверхности формы по крышке смежного цилиндра

$$ds_{отн} = \beta r_{\phi} d\varphi. \quad [16]$$

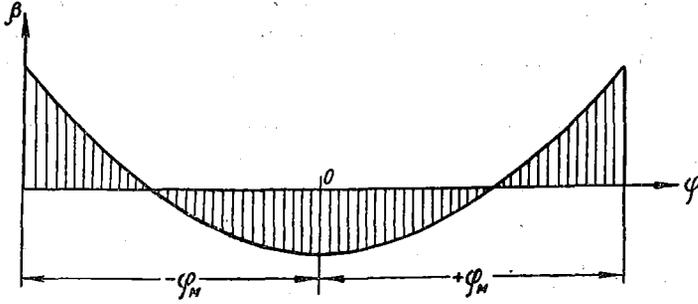


Рис. 5. Эпюры скоростей относительного скольжения  $\beta = \frac{v_{отн}}{\omega_{\phi} r_{\phi}}$  при  $A_0 < 2$ .

Полное смещение точки формы по крышке с момента начала контакта до рассматриваемой фазы цикла контакта

$$s_{отн} = r_{\phi} \int_{\varphi_M}^{\varphi} \beta d\varphi = r_{\phi} \int_{\varphi_M}^{\varphi} \left( \frac{A_0^2 - 1}{A_0 \cos \varphi} - 3 \right) d\varphi.$$

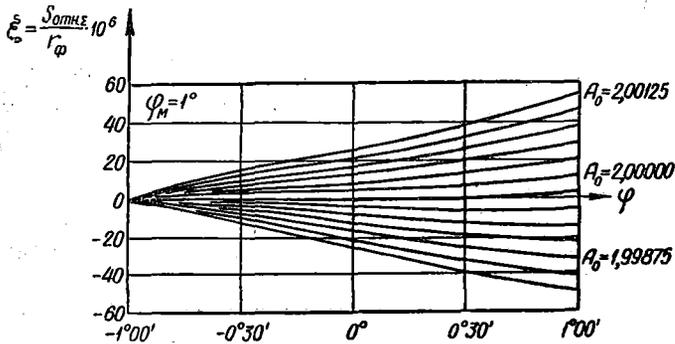


Рис. 6. Эпюры изменения коэффициентов относительного смещения  $\xi = \frac{s_{отн}}{r_{\phi}}$  при  $\varphi_M = \pm 1^{\circ}$ .

Используя табличный интеграл, найдем из [17]

$$s_{отн} = r_{\phi} \left[ \sqrt{A_0^2 - 1} \ln \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \sqrt{\frac{A_0 - 1}{A_0 + 1}}}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - \sqrt{\frac{A_0 - 1}{A_0 + 1}}} - 3\varphi \right]_{\varphi_M}^{\varphi} = r_{\phi} \cdot \xi. \quad [18]$$

Вычисление значений  $s_{отн} = \xi r_\phi$  по этой формуле необходимо производить с очень большой точностью, пользуясь семизначными таблицами натуральных логарифмов и тангенсов углов ввиду незначительной величины разности, определяемой, по сути, значениями шестых, седьмых значущих цифр.

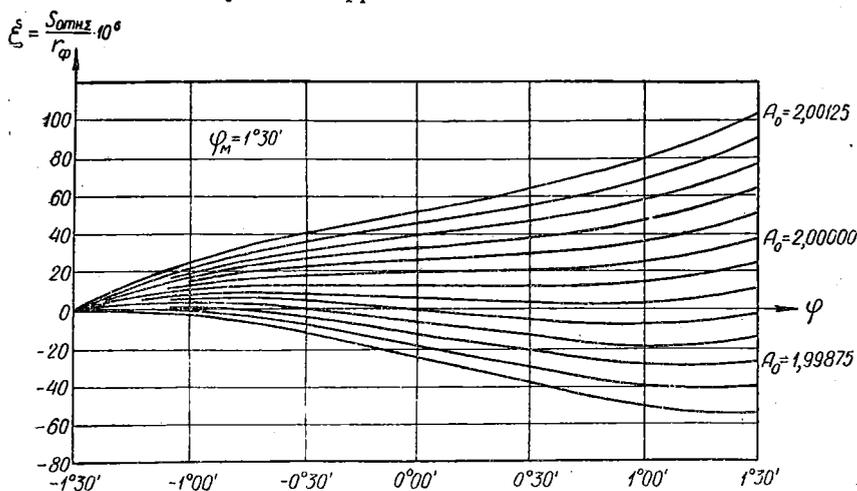


Рис. 7. Эпюры изменения коэффициентов относительного смещения  $\xi = \frac{s_{отн}}{r_\phi}$  при  $\varphi = \pm 1^\circ 30'$ .

Более точные результаты дает графоаналитический расчет, с планиметрированием эпюр, построенных в большом масштабе по аналитически вычисленным ординатам.

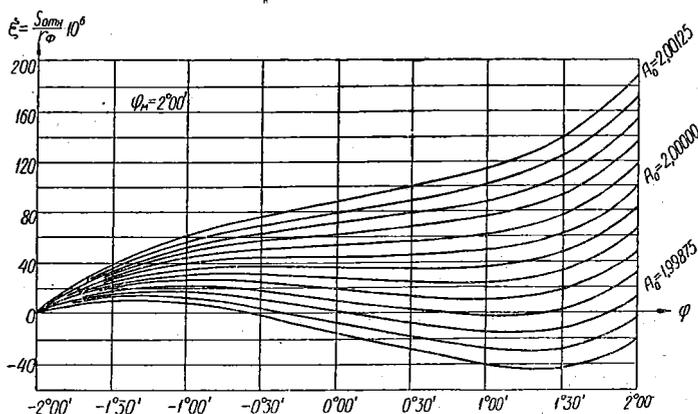


Рис. 8. Эпюры изменения коэффициентов относительного смещения  $\xi = \frac{s_{отн}}{r_\phi}$  при  $\varphi_M = \pm 2^\circ 00'$ .

Так вычислены ординаты эпюр  $\xi = \frac{s_{отн}}{r_\phi} = \xi(\varphi, A_0)$ , представленные на рис. 6, 7, 8, 9:  
на рис. 6 — при  $\varphi_M = \pm 1^\circ$ , на рис. 7 — при  $\varphi_M = \pm 1^\circ 30'$ ,  
на рис. 8 — при  $\varphi_M = \pm 2^\circ$  и на рис. 9 — при  $\varphi_M = \pm 2^\circ 30'$ .

Анализируя характер эпюр  $\xi(\varphi, A_0)$  заметим, что смещение  $s_{отн}$  является однозначным при положительном смещении осей цилиндров (в плюс) и разнозначным при отрицательном смещении осей (в минус).

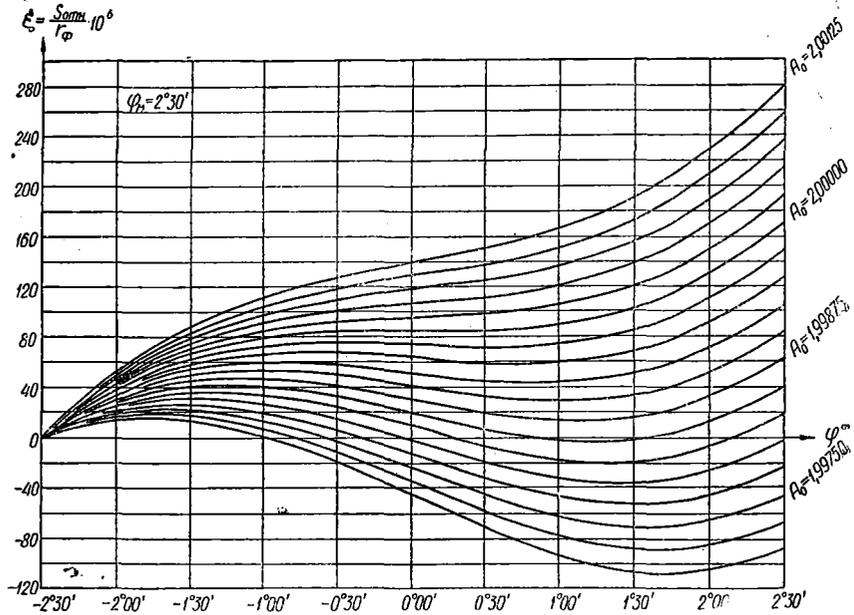


Рис. 9. Эпюры изменения коэффициентов относительного смещения  $\xi = \frac{s_{отн}}{r_\varphi}$  при  $\varphi_M = \pm 2^\circ 30'$ .

Если положительные и отрицательные площади эпюры  $\beta(\varphi, A_0)$  равны при  $A_0 < 2$ , то есть, когда  $2F_1 = F_2$  (рис. 10), относительное смещение  $s_{отн}$  за цикл печатного контакта равно нулю. Однако действительное смещение имеет место и в этом случае (см. эпюры, представленные на рис. 8 и 9). С учетом [17] действительное смещение определяется величиной

$$s^1_{отн} = 2r_\varphi \int_0^{\varphi_0} \beta d\varphi \quad [19]$$

и должно быть подсчитано самостоятельно, либо взято из эпюр на рис. 6, 7, 8 и 9.

Значения углов  $\varphi_0$ , определяющих пределы интегрирования, находим из [11], приравняв значение  $\beta$  к нулю.

$$\beta = \frac{A_0^2 - 1}{A_0 \cos \varphi_0 - 1} - 3 = 0,$$

$$\text{откуда } \cos \varphi_0 = \frac{A_0^2 + 2}{3A_0} \quad \text{и} \quad \varphi_0 = \arccos \frac{A_0^2 + 2}{3A_0}. \quad [20]$$

Используя эпюры на рис. 6, 7, 8 и 9, строим графики  $\xi_2 = \frac{s_{отн}}{r_\varphi} = \xi_2(\varphi_M, A_0)$ , сведенные на рис. 11 и охватывающие наибольшие от-

носительные смещения за цикл печатного контакта по формулам [18] и [19].

Эти графики наглядно подтверждают определенную тенденцию: наименьшие относительные смещения точки формы по крышке смежного цилиндра являются для каждого необходимого угла контакта  $\varphi_m$  минимальными по абсолютной величине при некотором отрицательном смещении осей цилиндров (в минус).

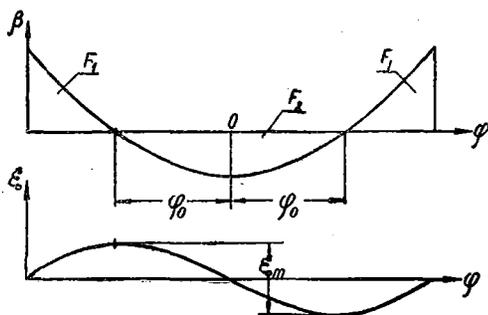


Рис. 10. Эпюры скоростей относительного скольжения  $\beta = \frac{v_{отн}}{\omega_{\phi} r_{\phi}}$ , соответствующая случаю  $2F_1 = F_2$ .

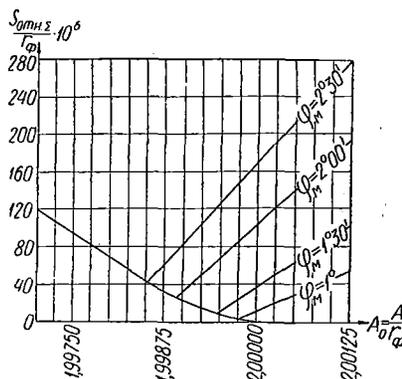


Рис. 11. Графики изменения наибольших суммарных относительных смещений точки формы по упруго-пластичной крышке в зависимости от

$$A_0 = \frac{A}{r_{\phi}} \text{ и } \varphi_m^{\circ}.$$

### ОПТИМАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ЦИЛИНДРОВ ПЕЧАТНОЙ СЕКЦИИ

Обобщая результаты произведенного анализа оптимальной установки осей печатных цилиндров с точки зрения минимального относительного смещения точек формы по крышке, строим график  $A_{opt}(\varphi_m)$ , изображенный на рис. 12, где точками обозначены найденные оптимумы.

Производя математическую обработку найденной зависимости общепринятыми методами, можно выразить значение оптимального межцентрового расстояния  $i = 1$  эмпирической формулой

$$A_{opt} = (2 - 0,8\varphi_m^2) r_{\phi}, \quad [21]$$

где  $\varphi_m$  — половина угла контакта (в радианах),

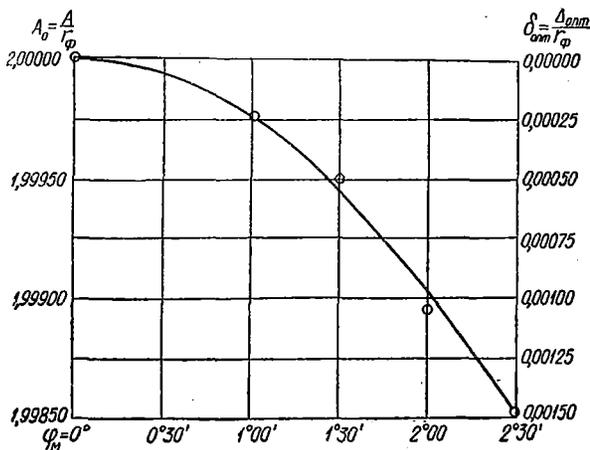


Рис. 12. Оптимальные смещения осей печатных цилиндров  $\delta_{opt} = \frac{\Delta_{opt}}{r_{\phi}}$  в зависимости от требующегося  $\varphi_m^{\circ}$ .

Точки отражают результаты исследования, кривая соответствует найденной зависимости  $A_{opt} = (2 - 0,8\varphi_m^2) r_{\phi}$ .

необходимого по технологическим условиям и определяемого в зависимости от требующейся при данной покрывке максимальной ее деформации  $z_m$  и от диаметра формного цилиндра  $D_{\phi}$  (см. график на рис. 3). Кривая по уравнению [21] на графике (рис. 12) хорошо совпадает с нанесенными точками.

В формуле [21] величина  $0,8 \varphi_m^2 = \delta_{ont} = \frac{\Delta_{ont}}{r_{\phi}}$ , которая также нанесена на графике (рис. 12), представляет необходимое сокращение межцентрового расстояния осей цилиндров (в относительном виде).

Абсолютная величина сокращения этого же расстояния

$$\Delta_{ont} = -0,8 r_{\phi} \varphi_m^2. \quad [22]$$

Поле допускаемых отклонений  $\Delta_{ont}$  следует назначить, ориентируясь на пологую часть соответствующего графика (рис. 11), примыкающего к экстремальной точке  $\left| \frac{S_{ont}}{r_{\phi}} \right| \min$ . При этом необходимо учитывать производственные и конструктивные возможности завода-изготовителя машины.

Величина оптимального смещения оси печатного цилиндра  $\Delta_{ont}$  с учетом [14] может быть выражена через максимальную деформацию декеля  $z_m$ .

Действительно,

$$\cos \varphi_m = 1 - \frac{z_m}{r_{\phi}} \left( 1 - \frac{1}{A_0} \right)$$

или

$$\sqrt{1 - \sin^2 \varphi_m} = 1 - \frac{z_m}{r_{\phi}} \left( 1 - \frac{1}{A_0} \right). \quad [23]$$

При  $i=1$   $A_0 \cong 2$ , а так как при малых углах  $\sin \varphi_m \cong \varphi_m$ , то, возведя левую и правую части [23] в квадрат, найдем

$$1 - \varphi_m^2 = 1 - \frac{z_m}{r_{\phi}} + \left( \frac{z_m}{2r_{\phi}} \right)^2 \cong 1 - \frac{z_m}{r_{\phi}}.$$

Следовательно,

$$\varphi_m^2 \cong \frac{z_m}{r_{\phi}}. \quad [24]$$

Подставив найденное значение в [22], получим

$$\Delta'_{ont} = -0,8 z_m. \quad [25]$$

Для типографских и офсетных ротационных машин  $z_m = 0,2 \div 0,4$  мм. и соответственно

$$\Delta'_{ont} \cong -(0,16 \div 0,32) \text{ мм.} \quad [26]$$

#### ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ ФОРМЫ ПО ПОКРЫШКЕ

Для иллюстрации влияния установки печатных цилиндров на абсолютные величины относительных смещений точки формы по поверхности покрывки за цикл контакта ( $S_{ont}$ ) рассмотрим конкретный случай:

диаметры цилиндров «ОД»:  $D_{\phi} = 486,3 \text{ мм}$  [1] и  $z_m = 0,3 \text{ мм}$ . По графику на рис. 3 найдем для этих условий  $\varphi_m \cong 2^\circ$ .

Пользуясь графиками на рис. 8 или на рис. 11, найдем величины  $S_{\text{отн}}$  (см. таблицу 1).

Таблица 1

Результаты расчета величины относительного смещения точки формы по крышке за цикл контакта  $S_{\text{отн}}$  при  $D_{\phi} = 486,3 \text{ мм}$  («ОД») и  $\varphi_m = 2^\circ$

$A_0 = \frac{A}{r_{\phi}}$	$\Delta$ (в мм)	$\xi = \frac{S_{\text{отн}}}{r_{\phi}}$	$S_{\text{отн}}$ (в мм)	Примечание
2,00100	+ 0,24	0,000172	0,0419	Установка в плюс
2,00075	+ 0,18	0,000154	0,0375	
2,00050	+ 0,12	0,000136	0,0331	
2,00025	+ 0,06	0,000118	0,0287	
2,00000	0,00	0,000100	0,0243	„Номинальная“ установка
1,99975	— 0,06	0,000080	0,0195	Установка в минус
1,99950	— 0,12	0,000062	0,0151	
1,99925	— 0,18	0,000046	0,0112	
1,99900	— 0,24	0,000032	0,0078	
1,99875	— 0,30	0,000034	0,0083	Оптимальная установка
1,99850	— 0,36	0,000043	0,0105	

Результаты вычислений свидетельствуют о том, что «оптимальная» установка межцентрового расстояния на 0,24 мм в минус сокращает относительное смещение точки формы по поверхности крышки сравнительно с «номинальной» установкой более чем в 3 раза, сводя его к неизбежному минимуму.

Установка на те же 0,24 мм в плюс увеличивает смещения точки формы по крышке против оптимальной минусовой установки более чем в 5 раз.

Эти выводы заставляют обратить серьезное внимание на важность правильного проектирования, выполнения и регулировки межцентровых расстояний осей печатных цилиндров ротационных и иллюстрационных машин, где размеры растровых точек формы могут быть весьма малы.

#### ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ЦИЛИНДРОВ ПЕЧАТНЫХ СЕКЦИЙ НА ДЛИНУ ОТТИСКА

##### а) Для типографских ротационных машин

Пусть радиус формного (стереотипного) цилиндра  $r_{\phi}$ , радиус печатного цилиндра по поверхности бумаги  $r_n$ , толщина бумаги— $\delta$ , межцентровое расстояние— $A$  (рис. 13).

Передаточное число между цилиндрами  $i = \frac{\omega_\phi}{\omega_n}$ . Угол поворота формного цилиндра, соответствующий периоду передачи оттиска со стереотипа на бумагу, обозначим через  $\varphi_\phi$ , а угол поворота печатного цилиндра  $\varphi_o = \frac{\varphi_\phi}{i}$ .

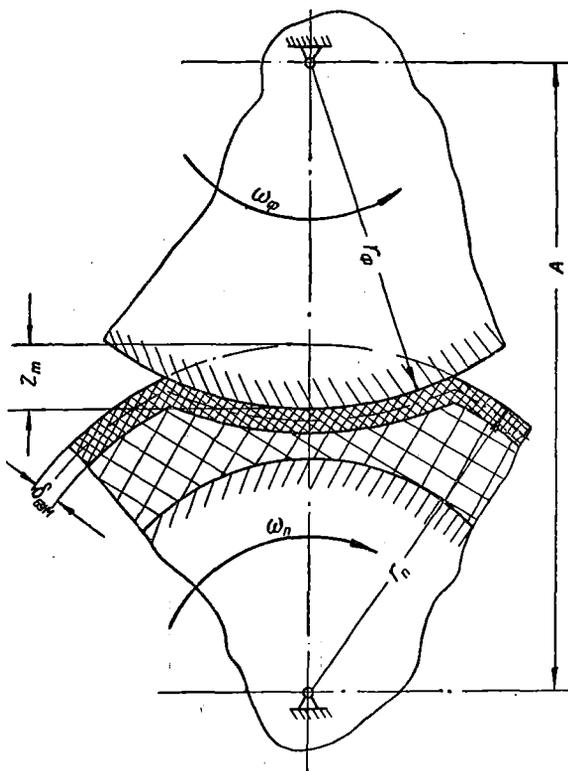


Рис. 13. Схема сопряжения формного и печатного цилиндров типографской ротационной машины.

Длина формы, измеряемая по дуге формного цилиндра,  $L_\phi = \varphi_\phi r_\phi$ , а соответствующая длина развернутого оттиска

$$L_o = \varphi_o \left( r_n - \frac{\delta}{2} \right).$$

Разность между длиной оттиска и длиной формы, измеренной по дуге формного цилиндра,

$$\Delta = L_o - L_\phi = \frac{\varphi_\phi}{i} \left( r_n - \frac{\delta}{2} \right) - \varphi_\phi r_\phi. \quad [27]$$

Рассматривая схему на рис. 13, заметим

$$r_n = A - r_\phi + z_m. \quad [28]$$

Подставляя [28] в [27], найдем

$$\Delta = \frac{\varphi_{\phi}}{i} \left( A - r_{\phi} + z_m - \frac{\delta}{2} \right) - \varphi_{\phi} r_{\phi}. \quad [29]$$

Чтобы устранить различие в длине оттиска и длине формы (номинальный размер которой исчисляется по дуге формного цилиндра), необходимо обеспечить условие

$$\Delta = \frac{\varphi_{\phi}}{i} \left( A - r_{\phi} + z_m - \frac{\delta}{2} \right) - \varphi_{\phi} r_{\phi} = 0. \quad [30]$$

Из этого условия и определяется оптимальное межцентровое расстояние ( $A = A_{\text{опт}}$ ), обеспечивающее совпадение длины оттиска и длины формы

$$A_{\text{опт}} = (i + 1)r_{\phi} - z_m + \frac{\delta}{2}. \quad [31]$$

Номинальным межцентровым расстоянием, соответствующим «нулевой» установке зубчатых зацеплений цилиндров, считают

$$A_{\text{ном}} = (i + 1)r_{н.о.}, \quad [32]$$

где  $r_{н.о.}$  — радиус начальной окружности зубчатого венца формного цилиндра.

Очевидно, что для правильной работы зубчатых зацеплений следует проектировать печатные цилиндры так, чтобы при оптимальной их установке при нормальной толщине бумаги сохранялось правильное зацепление зубьев.

Приравнявая  $A_{\text{опт}} = A_{\text{ном}}$ , найдем из [31] и [32]

$$(i + 1)r_{\phi} - z_m + \frac{\delta}{2} = (i + 1)r_{н.о.},$$

откуда заметим, что при проектировании следует выполнять  $r_{\phi} \neq r_{н.о.}$

$$r_{\phi} = r_{н.о.} + \frac{z_m - 0,5\delta}{i + 1} = r_{н.о.} + z_m \frac{1 - \frac{\delta}{2z_m}}{i + 1}.$$

Так, например, при толщине печатной бумаги 0,06—0,08 мм и необходимой максимальной деформации бумаги с декем 0,2—0,4 мм при  $i = 1$  (как принято в современных ротационных машинах)

$$r_{\phi} = r_{н.о.} + (0,4 \div 0,46) z_m \quad [33]$$

или

$$A = 2r_{н.о.} = 2r_{\phi} - (0,8 \div 0,92) z_m. \quad [34]$$

Как видим, и с точки зрения сохранения длины оттиска в сопоставлении с длиной формы, измеренной по дуге стереотипного цилиндра, целесообразна установка межцентрового расстояния осей цилиндров в минус сравнительно с размером  $2r_{\phi}$

Это достигается либо выполнением размера наружного радиуса стереотипа в рабочем положении по формуле [33], либо при сохранении номинального размера этого радиуса ( $r_{\phi} = r_{н.о.}$ ) установкой межцентрового расстояния округленно в минус на  $(0,8 \div 1) z_m$ .

### б) Для офсетных ротационных машин

Офсетные ротационные машины применяются главным образом для цветной печати.

При этом неизбежны смены формных пластин, которые могут колебаться по толщине при сохранении толщины тиражной бумаги (ее обжатие в процессе печати можно считать практически несущественным).

В таком случае диаметр печатного цилиндра (по поверхности бумаги) (рис. 14) для данного тиража остается постоянным

$$D_n = D'_n + 2\delta, \quad [35]$$

где  $D'_n$  — диаметр тела печатного цилиндра, а  $\delta$  — толщина тиражной бумаги.

При установке формной пластины любой толщины должно быть соблюдено равенство

$$D_\phi = D_n, \quad [36]$$

причем

$$D_\phi = L'_\phi + 2d + 2c, \quad [37]$$

где  $D_\phi$  — наружный диаметр формного цилиндра по формной пластине,  $D'_\phi$  — диаметр тела формного цилиндра,  $d$  — толщина прокладки под формную пластину, а  $c$  — толщина последней.

Так как наружный диаметр печатного цилиндра в процессе печатания данного тиража остается неизменным, то и наружный диаметр формного цилиндра ( $D_\phi$ ) независимо от толщины формной пластины должен быть сохранен.

Обратим внимание на влияние изменения толщины формной пластины, на размер формы в рабочем положении (после закрепления ее на формном цилиндре).

Размеры переводов формы для всех красок на развернутые пластины принимаем точно совпадающими.

При огибании пластин первоначальная их длина, измеренная по дуге цилиндра, сохраняется по нейтральному слою пластины.

Пусть  $L_\phi$  — длина формы в развернутом виде. Тогда справедливо равенство

$$L_\phi = \varphi_z \left( \frac{D_\phi - c}{2} \right), \quad [38]$$

где  $\varphi_z$  — центральный угол, соответствующий длине нейтрального слоя, равной первоначальной длине формы  $L_\phi$ .

Длина формы на поверхности формного цилиндра в связи с растяжением верхних волокон сечения пластины под влиянием изгиба увеличится и станет равной

$$L'_\phi = \varphi_z \frac{D_\phi}{2}. \quad [39]$$

Подставляя в [39] значение  $\varphi_z$ , определенное из [38], найдем

$$L'_\phi = L_\phi \frac{D_\phi}{D_\phi - c}.$$

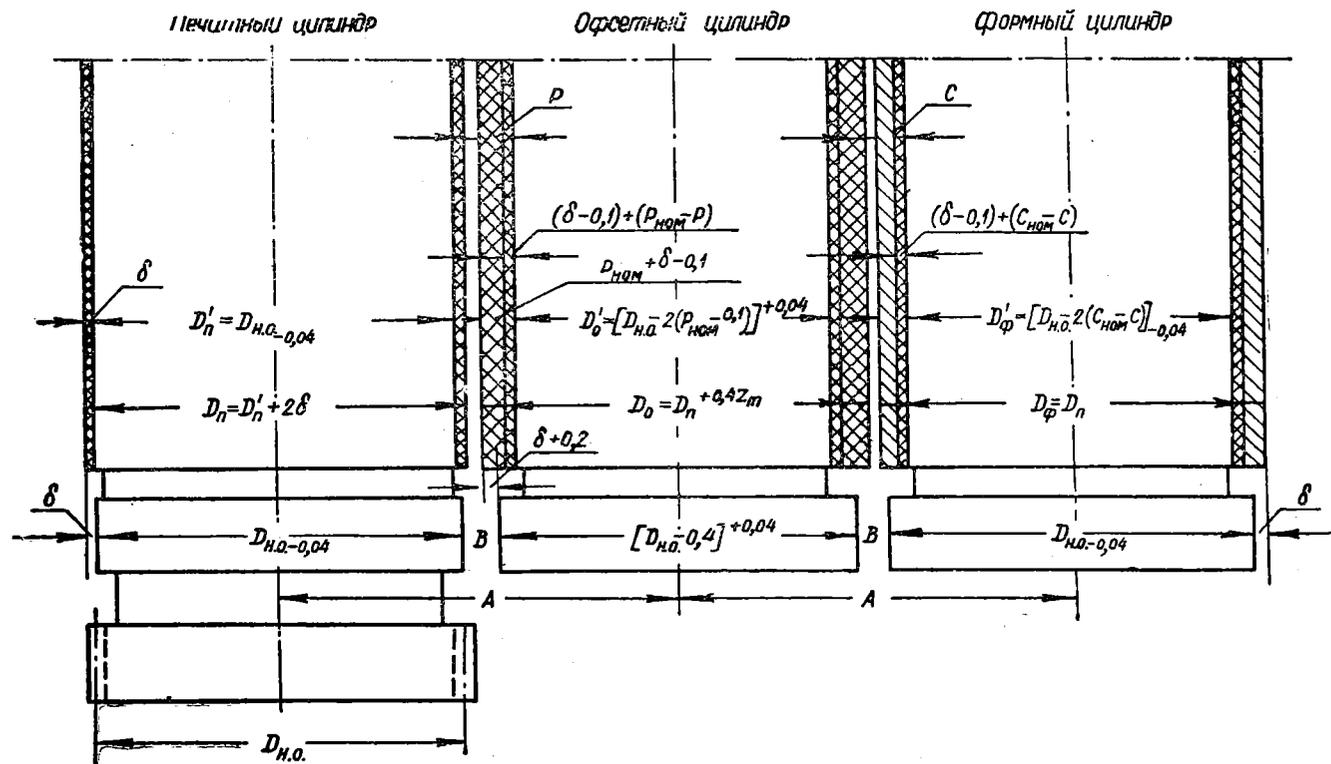


Рис. 14. Схема размерной настройки цилиндров печатной секции офсетной машины.

Приращение длины формы, натянутой на цилиндр, против длины формы в развернутом виде

$$\lambda = L'_{\phi} - L_{\phi} = L_{\phi} \left( \frac{D_{\phi}}{D_{\phi} - c} - 1 \right) = \frac{cL_{\phi}}{D_{\phi} - c}. \quad [40]$$

Это приращение неизбежно и его нельзя не учитывать.

Если толщина формной пластины остается для всех красок постоянной, то и приращение длины формы, натянутой на цилиндр (при  $D_{\phi} = \text{const}$ ), остается постоянным.

При колебании толщины формной пластины на величину  $c_{\max} - c_{\min}$  возникает разность в приращениях длин формы, выражающаяся с учетом [40] величиной

$$\lambda_{\max} - \lambda_{\min} \cong L_{\phi} \frac{c_{\max} - c_{\min}}{D_{\phi} - (c_{\max} + c_{\min})}. \quad [41]$$

Если подставить в [41] паспортные данные отечественных машин ( $c_{\max} = 0,65$  мм и  $c_{\min} = 0,50$  мм), то разности приращений длины формы выразятся: для офсетной однокрасочной машины «ОМ» — 0,271 мм, для офсетной двухкрасочной машины «ДО» — 0,232 мм.

Очевидно, что для точных работ такое расхождение в длинах форм разных красок недопустимо. Поэтому для каждого оригинала следует так подбирать комплект формных пластин, чтобы отклонения их толщин в комплекте лежали в пределах 0,05 мм.

В таком случае расхождение в длинах форм в рабочем положении не превысит 0,1 мм, что допустимо.

При использовании новейшей техники гальванонаращивания формных пластин можно обеспечить поддержание их толщин в пределах допустимого отклонения от номинала (на наш взгляд, в пределах  $-0,05$ ).

При качественной офсетной печати обеспечить равенство длины оттиска и длины формы в развернутом виде не представляется возможным из-за существенной разницы в толщине тиражной бумаги и формных пластин.

Разность в длине оттиска и длине формы в развернутом виде может достигать 1 мм.

Однако, учитывая, что номинальной длиной формы принято считать размер ее, измеренный по дуге окружности формного цилиндра (независимо от вида печати), указанная разница не существенна. Важнее обеспечить оптимальную установку цилиндров, постоянство толщины формных пластин и равенства радиусов формных и печатных цилиндров при всех краскопрогонах для данного многокрасочного оттиска, что дает постоянство его длины (совпадение меток) и высокое качество печати.

#### РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЦИЛИНДРОВ И ОПТИМАЛЬНАЯ НАЛАДКА ПЕЧАТНЫХ СЕКЦИЙ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОФСЕТНЫХ МАШИН

Установка офсетного цилиндра относительно печатного и формного цилиндров должна производиться с учетом сделанных выше выводов.

Если принять во внимание влияние «игры» цилиндров и соответственной жесткости системы прессы, то, учитывая характер кривых на рис. 11, можно рекомендовать производить оптимальную установку цилиндров

с сокращением межцентрового расстояния в пределах от  $0,8 z_m$  до  $z_m$  (последний размер учитывает допуск  $0,2 z_m$  в минус).

Напоминаем, что номинальным расстоянием мы называем  $A_{ном} = 2r_{\phi} = 2r_n$ .

Так как при расчетной номинальной толщине бумаги  $0,1$  мм, принятой отечественными и зарубежными заводами, необходимо создать правильное сопряжение зубчатых зацеплений, то при исходной установке цилиндров (при  $\delta = 0,1$  мм) должно быть  $A_{ном} = D_{н.о}$ , где  $D_{н.о}$  — диаметр начальной окружности зубчатых венцов цилиндров, а при  $\delta \neq 0,1$  мм

$$A_{опт} = D_{н.о} + 2(\delta - 0,1) \text{ мм.}$$

В рабочем положении цилиндров при  $\delta = 0,1$  мм

$$A_{ном} = r_n + r_o - z_m = D_{н.о}$$

и, учтя, что  $r_{о.ном} = r_{н.ном} + (0 \div 0,2) z_m$ ,

$$D_{н.ном} - (0,8 \div 1) z_m = D_{н.о}$$

или

$$D_{н.ном} = D_{н.о} + (0,8 \div 1) z_m. \quad [42]$$

Диаметр тела печатного цилиндра ( $D'_n$ )

$$D'_n = D_{н.ном} - 2\delta_{ном} = D_{н.о} - 0,2 + (0,8 \div 1) z_m. \quad [43]$$

Для жестких покрышек  $z_m = 0,2$  мм, и в этом случае можно принять

$$D'_n = D_{н.о - 0,04}. \quad [44]$$

Диаметр тела формного цилиндра определяется с учетом [36], [37] и [42]

$$D'_{\phi} + 2c_{ном} = D_{н.о} + (0,8 \div 1) z_m$$

или

$$D'_{\phi} = |D_{н.о} + 0,2 - 2c_{ном}|_{-0,2z_m} = |D_{н.о} - 2(c_{ном} - 0,1)|_{-0,04}, \quad [45]$$

где  $c_{ном}$  — номинальная (максимальная) толщина офсетной пластины.

Диаметр тела офсетного цилиндра определяется соотношениями, приведенными выше

$$D'_o = D_{о.ном} - 2p_{ном} = D_{н.ном} + (0 \div 0,4) z_m - 2p_{ном} = |D_{н.о} - 2(p_{ном} - 0,1)|_{+0,04}, \quad [46]$$

где  $p_{ном}$  — номинальная толщина офсетной покрышки, которая выбирается равной двойной толщине офсетной резины, измеренной на толстомере-индикаторе.

Контрольные кольца обычно выполняются на печатном и формном цилиндрах с диаметрами, равными диаметру начальной окружности зубчатых венцов цилиндров, а на офсетном цилиндре на  $0,4$  мм меньше. Таким образом, при номинальной установке печатных цилиндров (при толщине тиражной бумаги  $0,1$  мм и жесткой покрышке из двух резиновых полотнищ) зазор между кольцами должен составлять  $0,2$  мм, недоформированная поверхность офсетной покрышки должна выступать под кольцами своего цилиндра на  $0,30$ — $0,34$  мм, а поверхность формной пластины над кольцами формного цилиндра на  $0,06$ — $0,10$  мм.

Вообще же установка печатных цилиндров, как следует из наших выводов, зависит как от толщины тиражной бумаги, так и от механической характеристики офсетных покрышек.

Ниже приводим таблицы 2 и 3 оптимальных настроек печатных секций офсетных машин.

Таблица 2

Оптимальная настройка печатных секций для отечественных машин  
„ОМ“ „ДО“ и „ПОЛ“

Толщина тиражной бумаги (в мм)	Высота над кольцами (в мм)			Расстояние между кольцами при величине деформации покрышки $z$ (в мм)		
	бумаги	офсетной покрышки	формной пластины	$z_m = 0,2$	$z_m = 0,3$	$z_m = 0,4$
0,10	0,00	0,20	0,00	0,0	—	—
0,15	0,05	0,25	0,05	0,1	0,0	—
0,20	0,10	0,30	0,10	0,2	0,1	0,0
0,25	0,15	0,35	0,15	0,3	0,2	0,1
0,30	0,20	0,40	0,20	0,4	0,3	0,2
0,35	0,25	0,45	0,25	0,5	0,4	0,3
0,40	0,30	0,50	0,30	0,6	0,5	0,4

Допускаемые отклонения в (мм)

при		
$z_m = 0,2$	+0,04	-0,02
$z_m = 0,3$	+0,06	-0,03
$z_m = 0,4$	+0,08	-0,04

Необходимая максимальная абсолютная деформация покрышки зависит от ее механических характеристик:

$z_m = 0,2$  мм — для двойной офсетной резины;

$z_m = 0,3$  мм — для одинарной офсетной резины с подложенной под нее тонкой кирзой;

$z_m = 0,4$  мм — для одинарной офсетной резины с подложенной под нее толстой кирзой.

При оптимальной настройке размеры прокладок под офсетные покрышки и формные пластины для отечественных машин определяются следующим расчетом:

а) под офсетную покрышку

$$q = [(\delta - 0,1) + (p_{ном} - p)]^{+0,2z_m},$$

где  $\delta$  — толщина тиражной бумаги в мм;

$p_{ном}$  — номинальная толщина офсетной покрышки при  $\delta = 0,1$  мм, составляющая для „ОМ“ — 3,05 мм, для „ДО“ — 2,95 мм;

$p$  — действительная толщина покрышки, определяемая путем обмера на толстомере.

б) под формную пластину

$$d = [(\delta - 0,1) + (c_{ном} - c)]^{-0,2z_m},$$

где  $c_{ном}$  — номинальная толщина формной пластины, принятая для „ОМ“, „ДО“ и „ПОЛ“ — 0,65 мм;  
 $c$  — действительная средняя толщина формной пластины, определяемая путем обмера.

Таблица 3

Оптимальная настройка печатных секций для импортных машин фирмы „Планета“ („Планета—Терция“, „Ультра-Планета-Квинта“ и др.)

Толщина тиражной бумаги (в мм)	Высота над кольцами (в мм)			Расстояние между кольцами в зависимости от требуемой величины деформации покрывки $z_m$ (в мм)		
	бумаги	офсетной покрывки	формной пластины	$z_m = 0,2$	$z_m = 0,3$	$z_m = 0,4$
0,05	0,05	0,25	0,05	0,1	0,0	—
0,10	0,10	0,30	0,10	0,2	0,1	0,0
0,15	0,15	0,35	0,15	0,3	0,2	0,1
0,20	0,20	0,40	0,20	0,4	0,3	0,2
0,25	0,25	0,45	0,25	0,5	0,4	0,3
0,30	0,30	0,50	0,30	0,6	0,5	0,4
0,35	0,35	0,55	0,35	0,7	0,6	0,5
0,40	0,40	0,60	0,40	0,8	0,7	0,6

Допускаемые отклонения высоты над кольцами (в мм)

при			
$z_m = 0,2$		+ 0,04	— 0,02
$z_m = 0,3$	—	+ 0,06	— 0,03
$z_m = 0,4$	—	+ 0,08	— 0,04

Данная таблица настроек высоты поверхностей цилиндров над кольцами, вычисленная по нашим формулам, совпадает с последними рекомендациями завода печатных машин «Планета» в г. Радеболь (народное предприятие Германской Демократической Республики), предусмотренными инструкциями фирмы по монтажу и обслуживанию машины «Планета-Терция» выпуска конца 1954 года (при  $z_m = 0,2$  мм).

Фирма не указывает только расстояний между кольцами при необходимой деформации офсетной покрывки  $z_m = 0,3$  и  $z_m = 0,4$  мм, что соответствует офсетной резине с подложенной под нее кирзой, а также не указывает допусков, которые предложены нами с учетом вышеизложенных соображений.

Размеры прокладок под офсетные покрывки и формные пластины для импортных офсетных машин определяются расчетом по тем же формулам, что и для отечественных машин, однако номинальные толщины их офсетных покрывок и формных пластин составляют для «Планеты-Терции»:  $p_{ном} = 4,1$  мм и  $c_{ном} = 0,85$  мм.

Для объективной настройки офсетных машин необходимо обеспечить полиграфические предприятия, кроме щупов, индикаторными приборами для обмера толщины бумаги, формных пластин, офсетных покрыв-

шек и прокладок под них, а также приборами для объективного определения механических характеристик покрышек.

Крайне желательно унифицировать номинальные толщины бумаги, офсетных покрышек и формных пластин при обточке тела печатных, офсетных и формных цилиндров.

Применение жестких офсетных покрышек — двойных стандартных прорезиненных полотнищ, с точки зрения повышения качества печати, является перспективным, а поэтому, на наш взгляд, на офсетных машинах Щербаковского завода полиграфических машин в дальнейшем следует ввести размеры тел цилиндров, аналогичные размерам цилиндров машин, поставляемых из ГДР (при  $\delta_{ном} = 0,1$  мм,  $r_{ном} = 4,1$  мм и  $c_{ном} = 0,85$  мм):

для печатного цилиндра  $D'_n = D_{н.о.} - 0,04$ ,  
 для офсетного цилиндра  $D'_o = |D_{н.о.} - 8|^{+0,04}$ ,  
 для формного цилиндра  $D'_ф = |D_{н.о.} - 1,5|_{-0,04}$ .

Улучшение характеристик машин «ДО» и «ОМ», ранее выпущенных Щербаковским заводом, при необходимости печати на бумаге  $\delta = 0,1$  мм может быть достигнуто путем доведения диаметра тела печатного цилиндра до упомянутых размеров, обоснованных выводами данной статьи.

#### ВЫВОДЫ

1. Относительное скольжение деформированной упруго-пластичной покрышки по поверхности формы в той или иной мере неизбежно сопровождается цикл печатного контакта ротационных машин.

2. Относительное смещение точки формы по контактирующей поверхности количественно минимизируется при межцентровом расстоянии цилиндров, равном  $A_{онм} = 2r_\phi - 0,8z_m$ , где  $r_\phi$  — радиус печатающей поверхности формного цилиндра, а  $z_m$  — максимальная абсолютная деформация покрышки, необходимая по технологическим условиям.

3. С учетом количественного анализа величин относительного смещения точки формы по бумаге, в зависимости от установки печатных цилиндров и, принимая во внимание влияние этой установки на совпадение размеров формы и оттиска, межцентровое расстояние лучше устанавливать, как  $A_{онм} = |2r_\phi - z_m|^{+0,2z_m}$ , то есть в пределах

$$A_{онм} = 2r_\phi - (0,8 \div 1)z_m.$$

4. Оптимальная установка при  $i = 1$  может быть достигнута либо при номинальном межцентровом расстоянии зубчатых колес  $A_{ном} = D_{н.о.}$ , если размер диаметра формного цилиндра довести до величины  $D_\phi = D_{н.о.} + (0,8 \div 1)z_m$ , либо при номинальном диаметре формного цилиндра  $D_\phi = D_{н.о.}$  при сокращении межцентрового расстояния до  $A_{онм} = D_{н.о.} - (0,8 \div 1)z_m$ . В последнем случае следует тщательно проверять возможность такой установки при имеющихся боковых зазорах между зубцами венцов цилиндров данной конкретной машины.

5. Выведенные зависимости позволили составить таблицы оптимальных настроек печатных секций офсетных машин, приведенные в этой статье, которые существенно отличаются от необоснованных рекомендаций, имеющихся в существующей специальной литературе (1), (2) и др.

6. С целью улучшения технической эксплуатации парка офсетных машин на предприятиях СССР необходимо унифицировать расчет размеров их цилиндров конструкторскими отделами машиностроительных заводов, согласовав эти размеры со стандартами на офсетные покрышки и формные пластины и предусмотрев в конструкциях машин возможность соответствующих регулировок печатных секций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров А. Г. и Безпрозванный Г. К. — Оборудование лито-офсетных цехов. Изд. «Искусство» (1953).
2. Тюрин А. А. — Конструкция и расчет полиграфических машин. Книга IV. Ротационные печатные машины. Изд. «Искусство», стр. 110—111 (1954).
3. Тир К. В. — О нагрузках, возникающих при печати на печатных машинах. Сборник трудов УНИИП, в. первый (1937).
4. Тир К. В. — Механические явления, неизбежно сопровождающие цикл печатного контакта в плоскочечатных машинах. Сборник трудов УНИИП, в. третий, (1954).
5. Тир К. В. — Дробление печати и его устранение. Сборник трудов УНИИП, в. третий, (1954).