

## ОПОРИ ОБЕРТАННЮ ДУКТОРНОГО ЦИЛІНДРА

Дукторний циліндр фарбового апарата в процесі роботи друкарської машини знаходиться під дією власної ваги, гідростатичного та гідродинамічного тиску фарби, завантаженої у фарбове корито, які призводять до виникнення сил тертя в підшипниках вала та сил опору середовища на поверхні дукторного циліндра.

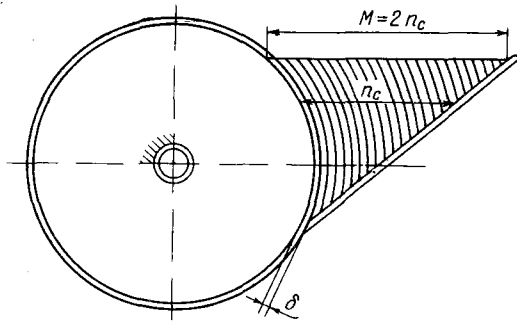


Рис. 1. Дукторний циліндр у статії.

Досвід та ряд робіт у цій галузі [1, 2, 7] показують, що при обертанні дукторного циліндра відбувається складний (турбулентний) рух фарби, який не може бути описаний класичними законами спокійного (ламінарного) руху в'язкої рідини. При обертанні дукторного циліндра залучаються до руху не лише ті шари, що знаходяться близько від його поверхні, але й віддалені.

Швидкість руху шарів у міру віддалення їх від поверхні дукторного циліндра зменшується. Дукторний ніж, встановлений під кутом на певній віддалі від циліндра, дає можливість регулювати товщину шару фарби  $\delta$  для забезпечення нормального живлення друкарської форми (рис. 1).

Внутрішнє в'язке тертя і зчеплення фарби з поверхнею дукторного циліндра, що обертається, є причиною виникнення у вузькій клиновій щілині між дуктором і ножем гідродинамічного тиску фарби. Все це пояснюється тим, що сили зчеплення фарби з поверхнею дукторного циліндра (сили адгезії) більші за сили міжмолекулярного зчеплення в масі самої фарби (сили когезії). В результаті рух шару фарби, що прилягає до поверхні дукторного циліндра, прискорюється, а при сповільненні швидкості надлишкового об'єму фарби, що прийшла в рух,

перед щілиною  $\delta$  тиск значно зростає (гідродинамічний ефект). Надлишок фарби призводить до видавлювання її з клинової щілини по лінії найменшого опору — вздовж похилої поверхні ножа.

Різниця тисків (низький біля поверхні фарби і ножа і підвищений в зоні клинової щілини) є причиною турбулентного руху фарби у фарбовому кориті і сприяє її перемішуванню (рис. 2).

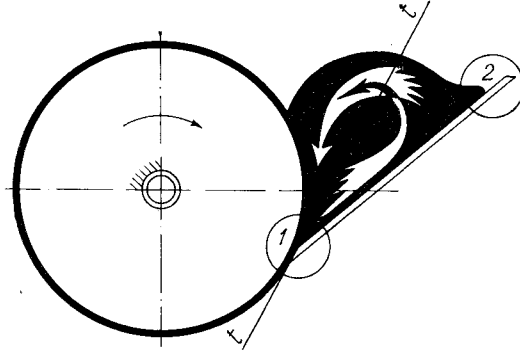


Рис. 2. Рух фарби в динамічних умовах.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Дукторний циліндр, в залежності від умов досліду, обертався постійно або дискретно. Опори обертанню дукторного циліндра вимірювались відомими електротензометричними методами із застосуванням дротяних чутливих елементів, а також відповідної підсилюючої та вимірювальної апаратури [6].

Під час дискретного обертання дукторного циліндра значення моментів опору записувались на фотоплівці за допомогою магнітно-електричного осцилографа МПО-2, а при постійному обертанні — за допомогою мікроамперметра типу М-24.

Спочатку записувався момент холостого ходу (без фарби)  $M_{xx}$ , а потім момент робочого ходу —  $M_{px}$ . Різниця  $M_{px} - M_{xx}$  дає уявлення про величину технологічних опорів.

Досліди проведені на різних швидкостях (від 0,08 до 1,05 м/сек), при різних величинах щілини між ножем і дуктором (від 0,05 до 0,25 мм), різній кількості фарби в кориті для чотирьох друкарських фарб, що відрізнялись своїми структурно-механічними властивостями.

Параметри механізму дуктора: діаметр і довжина циліндра  $D_{цл} = 80$  мм;  $L = 520$  мм; кут нахилу ножа  $\alpha = 30^\circ$ ; найбільша місткість фарбового корита  $570$  см<sup>3</sup>.

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ

1. Постійне обертання дуктора. В основу аналізу була покладена формула Ньютона, експериментально підтверджена Н. П. Петровим [3]:

$$F_T = \eta S \frac{dv}{dn} \kappa \Gamma, \quad (1)$$

де  $F_T$  — сила внутрішнього тертя в рідині (в  $\kappa\Gamma$ );

$S$  — площа суміжних шарів фарби (в м<sup>2</sup>);

$\frac{dv}{dn}$  — градієнт швидкості, що характеризує зміну величини швидкості на одиницю товщини шару рідини, прийняту за перпендикуляр до напрямку руху рідини (в  $\text{сек}^{-1}$ );  
 $\eta$  — коефіцієнт внутрішнього тертя рідини (в  $\frac{\text{кг}|\text{сек}}{\text{м}^2}$ ).

Або

$$F_T = \eta \frac{SV}{n} \text{ кг}, \quad (2)$$

де  $V$  — окружна швидкість циліндра (в  $\text{м/сек}$ );

$n$  — товщина шару рідини (в  $\text{м}$ ).

Говорячи про застосування формули (2), Н. П. Петров попереджував, що вона справедлива для ламінарного руху шарів. Разом з тим він зробив припущення, яке пізніше експериментально підтвердив Д. І. Менделєєв, що в умовах, які не можуть бути описані законом (2), сила тертя може бути визначена формулою, де вона пропорціональна поверхні контакту внутрішнього циліндра, що обертається, з рідиною (при нерухомому зовнішньому циліндрі) та швидкості не в першій, а в якій-небудь іншій степені [3].

Аналіз значної кількості дослідних даних показав, що при незначному коливанні температури фарби<sup>1</sup> у фарбовому кориті сила опору обертанню циліндра прямо пропорціональна середньому динамічному коефіцієнту внутрішнього тертя фарби (середня умовна в'язкість)  $\eta_c \left( \frac{\text{кг}|\text{сек}}{\text{м}^2} \right)$ , що відповідає певній температурі, площі взаємного контакту поверхні дукторного циліндра і фарби  $S$  ( $\text{м}^2$ ), окружній швидкості дукторного циліндра  $V$  ( $\text{м/сек}$ ) в степені 0,5 і обернено пропорціональна середній товщині фарбового «клина» в кориті  $n_c$  ( $\text{м}$ ) (рис. 1):

$$F_{\text{ду}} = \eta_c \frac{SV^{0,5}}{n_c} \text{ кг}, \quad (3)$$

$$S \cong (s - 0,01) L \text{ м}^2, \quad (4)$$

де  $s$  — довжина дуги контакту дукторного циліндра з фарбою (в  $\text{м}$ );

$L$  — довжина дукторного циліндра по фарбі (в  $\text{м}$ ).

Таким чином, сила опору обертанню дукторного циліндра

$$F_{\text{ду}} \cong \eta_c \frac{(s - 0,01) LV^{0,5}}{n_c} \text{ кг}. \quad (5)$$

Значення  $F_{\text{ду}}$ ,  $S$ ,  $V$  та  $n_c$  в рівнянні (3) відомі. Це дає можливість розрахувати  $\eta_c$ . В табл. 1 наведені результати розрахунку (за формулою 3) для ілюстраційних фарб № 54 і № 55т при розмірах щілини між дуктором та ножом  $\delta = 0,05-0,10 \text{ мм}$ .

Таблиця 1

Значення  $\eta_c \left( \frac{\text{кг}|\text{сек}}{\text{м}^2} \right)$  в залежності від окружної швидкості дукторного циліндра

Окружна швидкість дукторного циліндра (в $\text{м/сек}$ )	Ілюстраційна фарба для плоскодрукарських машин № 54 ( $\delta = 0,05 \text{ мм}$ )	Ілюстраційна фарба для плоскодрукарських машин № 55т ( $\delta = 0,10 \text{ мм}$ )
0,16	16,8	41,0
0,24	16,0	41,5
0,40	16,6	42,5
0,63	16,0	40,0

<sup>1</sup> Температура фарби в процесі дослідів змінювалась в межах  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Значення  $\eta_c \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}} \right)$  в залежності від розмірів щілини між дукторним циліндром і ножем

Щілина (в мм)	Газетна ротаційна фарба № 1Л	Ілюстраційна фарба для плоскодрукарських машин № 54	Ілюстраційна фарба для газетних плоскодрукарських машин № 55т	Літоофсетна голуба фарба № 363
0,05	13,4	16,3	43,5	49,0
0,10	9,5	13,5	41,0	67,0
0,15	12,3	11,8	50,0	—
0,05—0,15	11,8	13,9	45,0	58,0

Дані табл. 1 свідчать, що значення  $\eta_c$  при окружних швидкостях дуктора в межах 0,16—0,63 м/сек практично однакові. Знайдена закономірність дозволяє оперувати далі середніми значеннями  $\eta_c$  (табл. 2).

Табл. 2 свідчить, що для перших двох фарб (газетної № 1Л та ілюстраційної № 54) із збільшенням щілини має місце деяке зменшення  $\eta_c$ , а для двох останніх — збільшення. Оскільки збільшення розмірів щілини  $\delta$  в три рази (від 0,05 до 0,15 мм)<sup>2</sup> не викликає значної зміни  $\eta_c$ , в кінці табл. 2 наведені середні значення динамічної в'язкості, що характеризує поведінку фарб при постійному обертанні дукторного циліндра.

Коефіцієнт внутрішнього тертя  $\eta$ , або динамічна в'язкість фарби, в процесі обертання дукторного циліндра в різних зонах має відмінні значення. Умовно в загальній масі фарби в кориті можна визначити дві зони — 1 і 2, що відрізняються більшими і меншими значеннями в'язкості (рис. 2).

В зоні 1 панують високі градієнти швидкості. Досить сказати, що при окружній швидкості дуктора 0,08 м/сек і щілині  $\delta = 0,05$  мм градієнт швидкості дорівнює 1600 сек<sup>-1</sup>, а при швидкості 0,63 м/сек і тій же щілині — 12 600 сек<sup>-1</sup>. Як показала Т. І. Гудкова [1], при градієнтах швидкості 1000—2000 сек<sup>-1</sup> відбувається повне руйнування структури фарби. Таким чином, у зоні 1 завдяки високим градієнтам швидкості фарба має мінімальну в'язкість.

У зоні 2 перемішування практично відсутнє, а в'язкість — найменша. Крім того, можна припустити, що зліва від лінії  $t-t$  буде зона порівняно меншої в'язкості, ніж справа від неї.

Таким чином, значення  $\eta_c$ , наведені вище, є середніми величинами, що відображають складний характер перепаду напруг у всій масі фарби.

З метою визчення впливу кількості фарби, що знаходиться в кориті, на величину опорів обертанню дукторного циліндра були проведені дослідні по визначенню величини  $F_{\text{оп}}$ .

Вдалося з'ясувати, що окружне зусилля  $F_{\text{оп}}$  із збільшенням кількості фарби в кориті зростає пропорційно відношенню  $(s-0,01) : n_c$ .

2. Дискретне обертання дуктора. Явища, що супроводять дискретне обертання дукторного циліндра, відзначаються більшою

<sup>2</sup> Щілина між дукторним циліндром і ножем у практичних умовах змінюється в межах 50—100 мк [1, 4].

складністю, ніж у випадку постійного обертання. Причиною цього є різкий перепад швидкостей у короткий проміжок часу.

Експериментальне дослідження дискретного обертання дукторного циліндра дало можливість простежити вплив різних факторів на величину опорів обертання.

На рис. 3 наведені типові графіки залежності окружного зусилля  $F_{\partialц}$  від часу обертання на кути повороту  $81^\circ$  для літоофсетної голубої фарби № 363. Аналізуючи графіки, легко переконалися в тому, що із

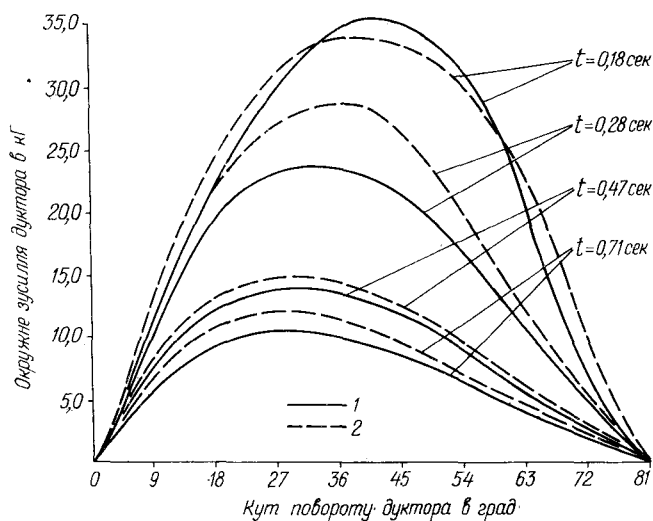


Рис. 3. Зміна окружного зусилля дуктора на кути повороту  $\varphi = 81^\circ$ .

1 —  $\delta = 0,05$  мм; 2 —  $\delta = 0,15$  мм.

зменшенням часу імпульсу при постійному куті повороту при інших рівних умовах (сорт фарби, кількість її в кориті тощо) окружне зусилля  $F_{\partialц}$  зростає. При цьому криві, які характеризують кінетику зміни окружного зусилля, не відзначаються симетричністю. Особливо це характерно для імпульсів, що відбуваються за більш тривалий проміжок часу. Така несиметричність викликана не лише характером зміни швидкості обертання дуктора, але й тими складними явищами, про які вже йшла мова.

Опори обертання дукторного циліндра в значній мірі залежать від в'язкості фарби. На рис. 4 показано, що окружне зусилля дуктора при інших рівних умовах для більш в'язкої літоофсетної голубої фарби № 363 більше, ніж для менш в'язкої ілюстраційної фарби № 55т. Разом з тим характер зміни окружного зусилля для цих фарб однаковий.

Характер зміни окружного зусилля дуктора залежить від швидкості, як це показано на графіках (рис. 5).

Для зіставлення законів зміни окружних зусиль дуктора і швидкості його обертання на осі ординат відкладені значення  $b_k$  і  $b_z$ :

$$b_k = \frac{v_i}{v_{\max}}; \quad b_z = \frac{F_{\partialц}^i}{F_{\partialц \max}^i},$$

де  $b_k$  — безрозмірний позиційний коефіцієнт, що відображає характер зміни швидкості дуктора при заданому законі руху (5);  $v_i$  і  $v_{\max}$  — поточне та максимальне значення швидкості дукторного циліндра (в м/сек);

$b_z$  — безрозмірний позиційний коефіцієнт, що відображає характер зміни окружного зусилля дуктора при заданому законі руху і даній фарбі;  
 $F_{\text{дц}}^i$  і  $F_{\text{дц}}^{\text{max}}$  — поточне і максимальне значення окружного зусилля дуктора (в  $\kappa\Gamma$ ).

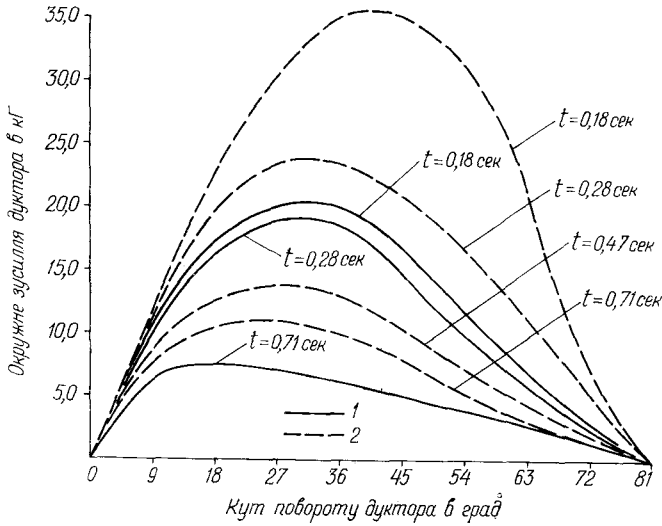


Рис. 4. Залежність окружного зусилля дуктора від в'язкості фарби ( $\delta=0,05$  мм).

1 — ілюстраційна фарба № 55т, 2 — літоофсетна фарба № 363.

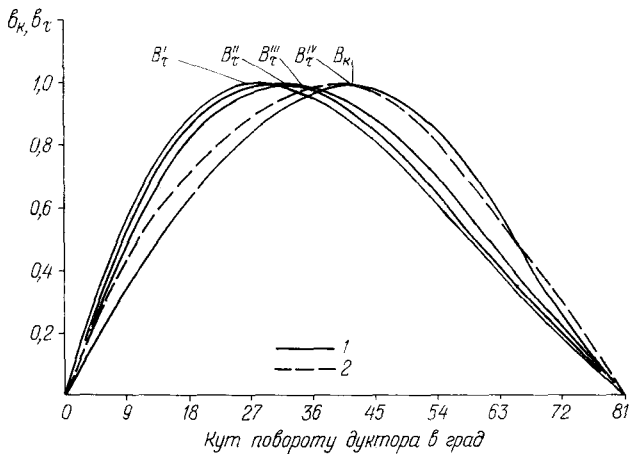


Рис. 5. Кінетика безрозмірних позиційних коефіцієнтів  $b_k$  та  $b_z$  для літоофсетної голубої фарби № 363 ( $\delta=0,05$  мм).

1 — піки опорів обертанню дукторного циліндра ( $B_z^I, B_z^{II}, B_z^{III}, B_z^{IV}$ ) при швидкостях головного вала ( $m/сек$ ):  $v_1=0,160; v_2=0,243; v_3=0,400; v_4=0,630$ ; 2 — закон зміни швидкості обертання дуктора на кути повороту  $\varphi = 81^\circ$ .

При куті повороту дуктора  $\varphi = 81^\circ$  в початковий період обертання окружне зусилля  $F_{\text{дц}}$  зростає інтенсивніше від швидкості і досягає максимального значення  $B_z^I, B_z^{II}, B_z^{III}, B_z^{IV}$  раніше, ніж швидкість  $B_k$ .

Характерно, що із зменшенням часу обертання дуктора інтенсивність зростання окружного зусилля  $F_{\text{дц}}$  зменшується, а положення піка  $B_{\tau}$  наближається до піка швидкості  $B_k$ . Для імпульсу, що відбувається за  $t = 0,18$  сек, окружне зусилля зростає повільніше, ніж швидкість, а його пік  $B_{\tau}^{\text{IV}}$  співпадає з піком швидкості  $B_k$ . Період спаду характеризується протилежною закономірністю. Нехтуючи незначним відхиленням від закономірності для імпульсу  $t = 0,18$  сек, відзначимо, що зменшення окружного зусилля починається раніше від спаду швидкості і відбувається повільніше.

При дослідженні дискретного обертання дукторного циліндра, крім літоофсетної фарби № 363 та ілюстраційної фарби № 55г, були випробувані також ілюстраційна № 54 та газетна ротаційна № ІЛ. Для них характерні аналогічні закономірності.

Поточні значення  $F_{\text{дц}}$  при дискретному обертанні дуктора не можуть бути описані рівнянням (3). Проте максимальні значення  $F_{\text{дц max}}$ , як і в випадку постійного обертання, підкоряються рівнянню (3).

При зміні  $V_{\text{max}}$  в межах 0,26—1,04 м/сек умовна динамічна в'язкість фарби  $\eta_c$  змінюється мало, що дає можливість оперувати середніми її значеннями (табл. 3).

Таблиця 3

Середні значення  $\eta_c$  в залежності від величини щілини  $\delta$  між дуктором і ножем в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$

Щілина (в мм)	Газетна ротаційна фарба № ІЛ	Ілюстраційна фарба для плоскодрукарських машин № 54	Ілюстраційна фарба для плоскодрукарських машин № 55г	Літоофсетна голуба фарба № 363
0,05	10,0	16,7	26,5	36,4
0,10	19,1	21,0	38,3	44,7
0,15	21,7	23,4	53,4	59,0

Умовна в'язкість  $\eta_c$  при дискретному обертанні дукторного циліндра, як свідчать дані табл. 3, із збільшенням щілини  $\delta$  зростає. При інших рівних умовах це приводить до зростання опорів обертанню дуктора. Це, очевидно, пояснюється тим, що із збільшенням щілини внутрішній гідродинамічний тиск, а також ступінь руйнування структури фарби зменшується, що й сприяє інтенсивному перемішуванню її в кориті.

Для дискретного, як і для постійного обертання дуктора характерна та сама залежність  $F_{\text{дц}}$  від кількості фарби. Тому при визначенні пікових значень  $F_{\text{дц max}}$  у випадку дискретного обертання дукторного циліндра треба скористатись рівнянням (3) і значеннями  $\eta_c$ , наведеними в табл. 3.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Т. И. Гудкова. Исследование влияния структурно-механических свойств краски на ее поведение в процессе типографского печатания. Автореферат диссертации. М., 1959.
2. Л. А. Козаровицкий. Еще о перемешивании краски в красочном ящике печатных машин. «Полиграфическое производство», № 6, 1955.
3. Н. П. Петров. Гидродинамическая теория смазки. Изд. АН СССР, М., 1948.
4. Равномерная подача краски. «Полиграфическое производство», № 12, 1937.
5. К. В. Тир. Комплексный расчет кулачковых механизмов. Машгиз, М., 1958.

6. Г. Д. Толстой. Исследование энергетических параметров красочных аппаратов машин высокой и плоской печати. Автореферат диссертации. М., 1962.
7. Б. Н. Шахкельдян. Физико-механические свойства печатных красок и явление «невращения». Научные труды МПИ, сб. IV, 1956

*Г. Д. ТОЛСТОЙ*

### **СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ ДУКТОРНОГО ЦИЛИНДРА**

**Резюме**

В статье изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований, посвященных изучению технологических нагрузок и явлений, сопровождающих вращение дукторного цилиндра красочного аппарата.

*G. D. TOLSTOY*

### **ON THE RESISTANCE OF DUCTOR ROLLER TO ROTATION**

**Summary**

In the article the findings of experimental and theoretical research of technological loads and phenomena accompanying the rotation of ink apparatus' ductor roller are presented.

