

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ДРУКАРСЬКОГО АПАРАТА РОТАЦІЙНОЇ ДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ

А. І. Шустикевич¹

*1. Національний Університет «Львівська Політехніка», вул. Степана Бандери, 12,
Львів, 79013, Україна, <https://orcid.org/0009-0009-6463-2852>, andrii.i.shustykevych@
lpnu.ua*

Роз'яснено суть процесу виникнення поперечних коливань циліндрів і явища смугування під час друкування в ротаційних друкарських машинах. Розглянуто друкарський апарат із діючими силами та відповідними деформаціями його елементів. Встановлено, що основними деформаціями друкарського пресу в процесі друкування є деформації циліндрів і їхніх цапф. Наведено методику розрахунку цих деформацій і технологічного навантаження у зоні контакту циліндрів. На підставі цієї методики проведено розрахунки силових параметрів для деяких рулонних і аркушевих ротаційних друкарських машин різних форматів. Показано вплив конструктивних параметрів ротаційних друкарських машин на деформації циліндрів і їхніх цапф. Визначено жорсткість друкарських пресів даних машин і співвідношення жорсткості циліндрів до жорсткості їх цапф $C_{\text{цил}} / C_1$.

Ключові слова: *ротаційна друкарська машина, друкарський апарат, жорсткість, технологічне навантаження, деформація, циліндри, цапфи, поперечні коливання.*

Постановка проблеми. Забезпечення належного перенесення фарби з друкарської форми на папір досягається за умови, що тиск у зоні друкарського контакту перебуває в межах допустимого інтервалу ($p_{\min}$ – $p_{\max}$). Порушення цього режиму призводить до погіршення якості відбитка. Практичні спостереження свідчать, що під час друкування, особливо під час друкування суцільних фонових зображень, нерідко виникає дефект у вигляді поперечних смуг різної інтенсивності забарвлення, орієнтованих у напрямку руху матеріалу. Однією з основних причин цього явища, відомого як смугування, є поперечні коливання циліндрів друкарського апарата.

Зазначені коливання збуджуються в момент проходження виїмок циліндрів через зону друкарського контакту, що спричиняє періодичні зміни контактного тиску. У результаті відбувається нерівномірне перенесення фарбового шару на задрукований матеріал. Найбільш несприятливими є режими, що відповідають резонансним і близьким до них частотам, оскільки вони супроводжуються значним зростанням амплітуди коливань. Для запобігання таким режимам у практиці експлуатації застосовують зниження швидкості роботи друкарської машини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних наукових досліджень і публікацій, присвячених жорсткості друкарського апарата ротаційних

офсетних машин, свідчить про комплексний і багатofакторний характер цієї проблеми, що охоплює як статичні, так і динамічні аспекти роботи системи.

У наукових роботах встановлено, що жорсткість друкарського апарата є одним із визначальних чинників якості друку, оскільки вона безпосередньо впливає на стабільність контакту між формними, офсетними і друкарськими циліндрами, а також на рівномірність тиску в зоні друкування. Зокрема, підкреслюється, що параметри контакту циліндрів (тиск, співвісність, швидкість обертання) потребують точного налаштування, оскільки відхилення призводять до дефектів відбитка [6, 9, 15, 16].

Значна частина досліджень присвячена вивченню динамічної жорсткості системи «циліндри – декель – опори». Встановлено, що змінна жорсткість елементів друкарського апарата є причиною виникнення поперечних коливань, які викликають періодичні зміни контакту між циліндрами та погіршення якості друку [10-11].

У працях, присвячених коливальним процесам, доведено, що пружні деформації циліндрів, декеля та підшипникових вузлів змінюють тиск у зоні друкарського контакту, що безпосередньо впливає на формування і якість зображення. Експериментальні та аналітичні дослідження показують, що навіть незначні коливання жорсткості можуть спричиняти появу смугування та інших друкарських дефектів [3-5, 8, 13].

Окремий напрям досліджень стосується підвищення жорсткості друкарських систем шляхом удосконалення конструкції. Зокрема, показано, що використання контактних кілець, оптимізація параметрів підшипникових вузлів і узгодження динамічних характеристик циліндрів дозволяють зменшити амплітуду коливань і підвищити стабільність процесу друкування [7, 12, 14].

Мета статті. Основна мета дослідження — оцінка жорсткості друкарського апарата рулонних і аркушевих ротаційних друкарських машин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Друкарський апарат ротаційної офсетної машини включає формний, офсетний і друкарський циліндри, механізм натиску, привід, а також систему регулювальних пристроїв. Його конструктивне виконання може варіюватися залежно від призначення машини та виду друкованої продукції. Циліндри, як правило, виготовляють із високоміцного сірого чавуну марок СЧ20 і СЧ30, що забезпечує необхідні механічні властивості та зносостійкість. Робочі поверхні циліндрів піддаються високоточній обробці (шліфуванню або поліруванню) з метою досягнення заданих параметрів шорсткості та геометричної точності. У швидкохідних рулонних машинах великого формату застосовують сталеві циліндри, виготовлені з кованих заготовок, що дає змогу підвищити їхню міцність і надійність за умов інтенсивних навантажень [2]. При цьому конструкція друкарського апарата повинна відповідати не лише вимогам міцності, а й, передусім, умовам жорсткості, оскільки саме жорсткісні характеристики суттєво впливають на експлуатаційні показники друкарських машин, зокрема точність друку та стабільність технологічного процесу.

На рис. 1 наведено схему друкарського апарата із позначенням діючих сил та відповідних деформацій його елементів. Під впливом технологічного навантаження всі складові апарата зазнають деформацій: циліндри ($f_{\text{цвл}}$) і їх цапфи ($f_{\text{цп}}$),

f_{12}) піддаються згину, декель і друкарська форма деформуються внаслідок стиску, контактні кільця зазнають зминання (f_2), а стінки станини – розтягу (f_3). Величини зазначених деформацій визначаються конструктивними особливостями друкарського апарата, жорсткісними характеристиками його елементів, а також рівнем прикладеного навантаження.

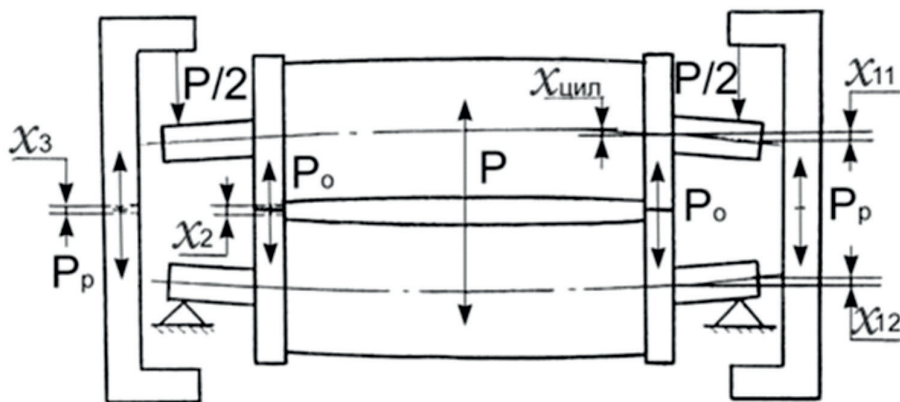


Рис. 1. Схема друкарського апарата з діючими силами і деформаціями

На рис. 2 подано еквівалентну (замінну) модель друкарського преса. Деформації згину циліндрів і їх цапф, а також можливий розтяг стінок станини змодельовані за допомогою пружних елементів розтягу із жорсткістю C_1 , що утворюють зовнішній контур системи. Деформації стиску контактних кілець циліндрів представлені пружними елементами стиску із жорсткістю C_2 , які формують внутрішній контур системи. Пружно-в'язкі властивості декеля враховано шляхом введення в'язкого елемента з коефіцієнтом μ та пружного елемента з жорсткістю C_d . Оцінювання деформацій друкарського преса свідчить, що найбільш податливими елементами системи є цапфи циліндрів [7], які істотно впливають на загальну жорсткість конструкції та стабільність процесу друку.

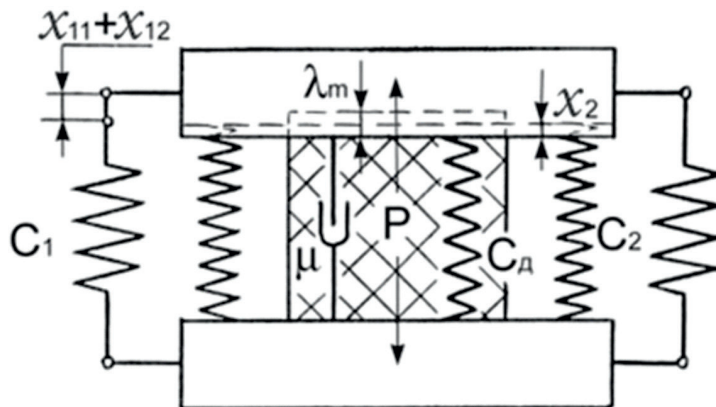


Рис. 2. Модель друкарського преса

У процесі друкування прогини цапф циліндрів можуть спричиняти виникнення поперечних коливань системи. Водночас прогини самих циліндрів зумовлюють нерівномірний розподіл деформації декеля вздовж довжини зони друкарського контакту, що, у свою чергу, призводить до виникнення перепаду тиску.

Деформації циліндрів і їх цапф можуть бути визначені за відомими залежностями [1]:

а) прогин суцільного циліндра на робочій ділянці:

$$X_{cul} = \frac{5q \cdot l^4}{384E_o \cdot I_o}, \quad (1)$$

де q – погонне навантаження на циліндр; l – довжина циліндра; E_o – модуль пружності матеріалу циліндра (для сталі $E_o = 2.105$ МПа, для чавуна $E_o = 1,3.105$ МПа);

$I_o = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$, момент інерції січення циліндра; D – діаметр циліндра.

б) прогин цапф циліндрів:

$$X_1 = \frac{q \cdot l \cdot a^3}{3E \cdot I}, \quad (2)$$

де a – довжина консолі; E – модуль пружності матеріалу вала; $I_o = I$ момент інерції перерізу вала; d – діаметр вала.

Деформація стінок станини, що визначається їх конструктивними параметрами (товщиною стінок і профілем поперечного перерізу), є незначною і орієнтовно на порядок меншою порівняно з деформацією цапф циліндрів. У зв'язку з цим її впливом у подальших розрахунках можна знехтувати.

Для визначення деформацій друкарського преса необхідно враховувати величину максимальних зусиль, що виникають у процесі друкування. Технологічне навантаження за заданих параметрів декеля та інших умов визначається, передусім, максимальним тиском у зоні друкування [2].

$$P = p_m \cdot \psi \cdot b \cdot l = 2 \cdot \psi \cdot \sqrt{\frac{2R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot E_y^{\frac{1}{2n}} \cdot \delta^{\frac{1}{2}} \cdot l \cdot p_m^{\frac{2n+1}{2n}} = K \cdot p_m^{\frac{2n+1}{2n}}, \quad (3)$$

де $K = 2 \cdot \psi \cdot \sqrt{\frac{2R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \frac{\delta}{E_y^{\frac{1}{n}}}$ величина стала для конкретного друкарського

апарата і декеля; $p_m = E_y \cdot \left(\frac{\lambda_m}{\delta}\right)^n$ номінальне значення максимального тиску при

друкуванні; E_y і n – фізичні константи декеля; δ і λ_m – товщина і максимальна деформація декеля по ширині смужки контакту; $\psi = 1 - \frac{n}{3} + \frac{n(n-1)}{10} - \frac{n(n-1)(n-2)}{42}$.

коефіцієнт усереднення; $b = 2 \sqrt{\frac{2R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \lambda_m$ - ширина смужки контакту; R_1 і R_2 -

відповідно радіуси циліндрів; l - довжина смужки контакту.

Технічні характеристики та окремі конструктивні параметри рулонних і аркушевих ротаційних машин офсетного плоского друку, а також значення максимального технологічного навантаження, деформацій і жорсткості циліндрів та їх цапф, визначені за формулами (1–3), наведено в таблицях 1 і 2. Таблиці сформовано на основі розрахунків, виконаних за таких вихідних даних:

- максимальний тиск при друкуванні $p_m = 1,5$ МПа;
- фізичні константи декеля $n = 1,22$ і $E_y = 34,1$ МПа.

Таблиця 1

Ротаційні рулонні машини

Номинальний формат, см	59,4 x 42	70 x 92	84 x 59,4	84x54,6	84x109,2
Швидкість, об/год	15000	15000	27000	30000	25000
Діаметр формн. циліндра, мм	133,5	293	189	173,6	347,2
Діаметр офсет. циліндра, мм	267	293	189	347,2	347,2
Діаметр цапфи циліндра, мм	60	90	80	80	105
Консоль цапфи, мм	125	227	208	180	190
Співвідношення D / d	2,22 / 4,45	3,25	2,36	2,17 / 4,34	3,31
Макс. техн. навантаж. P_{max} , Н	4450	9223	6663	7057	8653
Деформація цилінд. $X_{цил}$, мм	0,0026	0,0007	0,0056	0,0039	0,0006
Жорсткість цилінд. $C_{цил}$, Н/м	1,72.109	1,32.1010	1,20.109	1,83.109	1,57.1010
Деформація цапф X1, мм	0,023	0,056	0,050	0,019	0,017
Жорсткість цапф C1, Н/м	1,95.108	1,65.108	1,34.108	2,79.108	5,22.108
Співвідношення $C_{цил} / C1$	8,8	80	8,9	6,6	30

Таблиця 2

Аркушеві рулонні машини

Номинальний формат, см	36 x 52	54 x 70	70 x 100	84 x 108	90x120
Швидкість, об/год	8000	12000	10000	7500	9000
Діаметр друк. циліндра, мм	180	270	310	350	390
Діаметр цапфи циліндра, мм	50	85	85	100	100
Консоль цапфи, мм	125	130	190	190	205
Співвідношення D / d	3,6	3,18	3,65	3,5	3,9
Макс. техн. навантаж. P_{max} , Н	4453	9441	13664	16055	18126
Деформація цилінд. $X_{цил}$, мм	0,0008	0,0017	0,0034	0,0033	0,0030
Жорсткість цилінд. $C_{цил}$, Н/м	5,63.109	5,70.109	4,02.109	4,83.109	6,09.109
Деформація цапф X1, мм	0,012	0,014	0,061	0,046	0,065
Жорсткість цапф C1, Н/м	3,60.108	7,00.108	2,24.108	3,50.108	2,78.108
Співвідношення $C_{цил} / C1$	15,6	8,2	18	13,8	22

Деформація цапф циліндрів за умов дії максимальних навантажень у досліджуваних машинах змінюється в межах 0,012–0,065 мм і визначається їхньою жорсткістю. Жорсткість цапф циліндрів друкарського апарата перебуває в інтервалі $C1 = 1,34 \cdot 10^8 - 7,0 \cdot 10^8$ Н/м. Найбільші значення цього параметра характерні для аркушевої офсетної машини формату 54 x 70 см, тоді як найменші – для рулонної машини формату 84 x 59,4 см. Діаметр цапф циліндрів ротаційних машин змінюється в межах 60...105 мм: мінімальні значення притаманні рулонній офсетній малоформатній машині 59,4 x 42 см, максимальні – машинам великого формату 84x109,2 см, 84 x 108 см і 90x120 см. Довжина консолі цапфа перебуває в діапазоні 125–227 мм.

Жорсткість циліндрів зазначених машин змінюється в межах $1,2 \cdot 10^9 - 1,57 \cdot 10^{10}$ Н/м і залежить від формату паперу та матеріалу виготовлення. Відповідна деформація циліндрів становить 0,0006–0,0056 мм.

Висновки. На основі розрахунків встановлено, що відношення жорсткості циліндрів до жорсткості їх цапф $S_{\text{цил}} / C1$ для розглянутих ротаційних машин змінюється в межах 7–80. Це свідчить про те, що деформація цапф циліндрів на порядок і більше перевищує деформацію самих циліндрів. У зв'язку з цим для друкарських машин одинарного формату деформацією циліндрів можна знехтувати (це не може стосуватися машин подвійного і потрійного форматів, для яких деформацію циліндрів потрібно враховувати), а під жорсткістю друкарського преса (зовнішнього контуру системи) доцільно розуміти жорсткість цапф циліндрів.

Водночас аналіз жорсткісних характеристик друкарських апаратів сучасних ротаційних машин свідчить про відсутність уніфікованого підходу до формування необхідної податливості друкарського преса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів. Підручник. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.
2. Чехман Я.І., Сенкус В.Т., Дідич В.П., Босак В.О. Друкарське устаткування. 2005. 470 с.
3. Чехман, Я. І., Шустикевич, А. І. Аналітичне дослідження поперечних коливань циліндрів друкарського апарата ротаційної машини. Наукові записки [Української академії друкарства]. Львів, 2000. С. 11–15.
4. Чехман, Я. І., Шустикевич, А. І. До методики оцінки пружних коливань циліндрів друкарського апарата. Поліграфія і видавнича справа. 2000. № 36. С. 17–21.
5. Чехман, Я. І., Шустикевич, А. І. Оцінка імпульсу сили та амплітуди коливань у друкарському апараті. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2000. Вип. 2. С. 23–27.
6. Чехман, Я. І., Шустикевич, М. В. Тиск при друкуванні в офсетних машинах: причини коливання і наслідки. Квалілогія книги. 2008. Вип. 2. С. 90–93.
7. Шустикевич, А. І. Розрахунок необхідної жорсткості друкарського апарата з умови забезпечення допустимого інтервалу тисків при друкуванні. Квалілогія книги. 2002. Вип.5. С. 80–84.
8. Augustaitis, V. K., Šešok, N. The relative transversal vibrations of printing-press cylinders

that are pressed against each other via an elastic blanket. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. 2004. Vol. 50, No. 5. P. 277–290.

9. Jurkiewicz, A., Pyryev, Y. The change of printouts' quality depending on pressure of a blanket cylinder against an impression cylinder and a plate cylinder in offset machine. *Acta Mechanica et Automatica*. 2014. Vol. 8, No. 2. P. 89–94.

10. Neeb, S., Norrick, N. Measurement and modeling of sheet-fed offset printing press vibrations. 2019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/337533132> (дата звернення: 05.05.2026).

11. Norrick, N., Neeb, S. Calculation of torsional vibrations and prediction of print quality in sheetfed offset printing presses. *Technische Mechanik*. 2017. Vol. 37, No. 2–3. P. 123–135.

12. OuYang, T., Chen, N., Wang, J., Jing, H., Chen, X. Dynamic analysis of offset press gear–cylinder–bearing system applying finite element method. *Journal of Vibroengineering*. 2015. Vol. 17, No. 3. P. 1234–1245.

13. Pyryev, Y., Terranova, L. M. Vibration analysis associated with the operation of printing units in offset printing machines: applications towards metamaterials. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2024. DOI: 10.1007/s00161-024-01329-w.

14. Šešok, N., Iljin, I. The investigation on the impact of the contact rings of cylinders and on transversal vibrations of blanket and plate cylinders in offset printing press. *Journal of Vibroengineering*. 2010. Vol. 12, No. 1. P. 95–100.

15. Wu, J.-Z., Gong, Z.-Z. Printing pressure distribution in contact areas of offset press cylinder. *TAGA Proceedings*. 2024.

16. Yang, M., Li, J. Y., Chen, J. C., Kong, S. J. A brief analysis of vibration on the printing area in ordinary offset press. *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 591–593. P. 2091–2094. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.2091.

REFERENCES

1. Pisarenko, H. S., Kvitka, O. L., Umanskyi, E. S. *Strength of Materials*. Textbook. Kyiv: Vyscha Shkola, 2004. 655 p.

2. Chekhman, Ya. I., Senkus, V. T., Didych, V. P., Bosak, V. O. *Printing Equipment*. 2005. 470 p.

3. Chekhman, Ya. I., Shustykevych, A. I. Analytical study of transverse vibrations of cylinders of a rotary printing unit. *Scientific Notes [Ukrainian Academy of Printing]*. Lviv, 2000. pp. 11–15.

4. Chekhman, Ya. I., Shustykevych, A. I. On the methodology for evaluating elastic vibrations of printing unit cylinders. *Printing and Publishing*. 2000. No. 36. pp. 17–21.

5. Chekhman, Ya. I., Shustykevych, A. I. Evaluation of force impulse and vibration amplitude in a printing unit. *Scientific Notes [Ukrainian Academy of Printing]*. 2000. Issue 2. pp. 23–27.

6. Chekhman, Ya. I., Shustykevych, M. V. Printing pressure in offset machines: causes of fluctuations and consequences. *Book Qualilogy*. 2008. Issue 2. pp. 90–93.

7. Shustykevych, A. I. Calculation of the required stiffness of a printing unit based on ensuring an allowable pressure range during printing. *Book Qualilogy*. 2002. Issue 5. pp. 80–84.

8. Augustaitis, V. K., Šešok, N. The relative transversal vibrations of printing-press cylinders that are pressed against each other via an elastic blanket. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. 2004. Vol. 50, No. 5. pp. 277–290.

9. Jurkiewicz, A., Pyryev, Y. The change of print quality depending on the pressure between the blanket cylinder, impression cylinder, and plate cylinder in an offset machine. *Acta Mechanica et Automatica*. 2014. Vol. 8, No. 2. pp. 89–94.

10. Neeb, S., Norrick, N. Measurement and modeling of sheet-fed offset printing press vibrations. 2019. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/337533132> (accessed:

May 5, 2026).

11. Norrick, N., Neeb, S. Calculation of torsional vibrations and prediction of print quality in sheet-fed offset printing presses. *Technische Mechanik*. 2017. Vol. 37, No. 2–3. pp. 123–135.

12. OuYang, T., Chen, N., Wang, J., Jing, H., Chen, X. Dynamic analysis of offset press gear–cylinder–bearing system using the finite element method. *Journal of Vibroengineering*. 2015. Vol. 17, No. 3. pp. 1234–1245.

13. Pyryev, Y., Terranova, L.M. Vibration analysis associated with the operation of printing units in offset printing machines: applications towards metamaterials. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2024. DOI: 10.1007/s00161-024-01329-w.

14. Šešok, N., Iljin, I. Investigation of the impact of cylinder contact rings and transversal vibrations of blanket and plate cylinders in an offset printing press. *Journal of Vibroengineering*. 2010. Vol. 12, No. 1. pp. 95–100.

15. Wu, J.-Z., Gong, Z.-Z. Printing pressure distribution in contact areas of offset press cylinders. *TAGA Proceedings*. 2024.

16. Yang, M., Li, J.Y., Chen, J.C., Kong, S.J. A brief analysis of vibrations in the printing area of a conventional offset press. *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 591–593. pp. 2091–2094. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.2091.

doi: 10.32403/0554-4866-2026-1-91-302-310

STUDY OF THE STIFFNESS OF THE PRINTING UNIT OF A ROTARY PRINTING PRESS

A. I. Shustykevych¹

*I. Lviv Polytechnic National University, 12 Stepan Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine,
<https://orcid.org/0009-0009-6463-2852>, andrii.i.shustykevych@lpnu.ua*

The essence of the process of transverse vibrations of cylinders and the phenomenon of banding during printing in rotary printing presses is explained. The printing unit is considered with the acting forces and the corresponding deformations of its elements. It is established that the main deformations of the printing press during the printing process are the deformations of the cylinders and their journals.

A methodology for calculating these deformations and the technological load in the cylinder contact zone is presented. Based on this methodology, an assessment of the deformations of the printing press for certain sheet-fed and web-fed rotary machines has been carried out. It has been determined that the most compliant elements are the cylinder journals. During the printing process, the deflection of the cylinder journals may cause transverse vibrations.

The deflection of the cylinders themselves leads to a variation in the blanket deformation along the length of the contact zone and, consequently, to pressure variation. The deformation of the frame walls, which depends on the design (wall thickness and cross-sectional profile), is insignificant (approximately an order of magnitude smaller than the deformation of the cylinder journals) and can be neglected.

Based on the performed calculations, the ratio of the stiffness of the cylinders to the

stiffness of their journals has been determined. A review of the stiffness characteristics of the printing units of several rotary presses has shown that there is no unified approach to achieving the required compliance of the printing press.

Keywords: rotary printing press, printing unit, stiffness, technological load, deformation, cylinders, journals, transverse vibrations.



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© А. І. Шустикевич

Стаття надійшла до редакції 05.05.2026.

Received 05.05.2026.

Прийнято до друку: 15.05.2026.

Accepted: 15.05.2026.

Опубліковано: 30.05.2026.

Published: 30.05.2026.