

## **ПРУЖНІ КОЛИВАННЯ В ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИНАХ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ**

Механізм або машина розглядаються, як правило, як сукупність рухомих і нерухомих ланок, призначених здійснювати конкретні рухи та виконувати корисну роботу.

При усталеному русі машини на її робочі органи діють сили рухомі, сили корисного та шкідливого опору. Оскільки ці сили в часі мають змінний характер, то передавальні ланки сприймають також власні змінні напруження.

З теорії коливань відомо, що під дією періодичних сил матеріальне тіло, маючи пружні властивості, приходить у коливальний рух. Після раптового прикладання збуджуючої сили тіло сприймає вільні коливання з конкретною частотою і з амплітудою, що поступово зменшується внаслідок дисипативних причин. Коли збуджуюча сила має періодичний характер, тіло сприймає вимушені коливання. Якщо частота прикладання збуджуючого навантаження дорівнює частотам і власним коливанням механічної системи або наближається до них, то амплітуди вимушених коливань нескінченно зростають і виникає резонанс.

Деталі рухомих та нерухомих ланок механізмів і машин, маючи пружні властивості, підпорядковуються закону Гука. Це є причиною появи в механічних системах незатухаючих власних та вимушених пружних коливань, характерних для перехідних коливних процесів. У різноманітних поліграфічних машинах можна зустріти одномасні, двомасні та багатомасні механічні системи з своїми частотами та амплітудами коливань.

Джерелами збудження коливань у механічних системах ланок механізмів і машин є не тільки збуджуючі сили, які змінюються якісно і кількісно, а й цілий ряд інших факторів. Так, джерелом збудження вимушених коливань у механічних системах є зазори в кінематичних парах ланцюгів, що утворюють цю систему. При зміні напрямку дії сили виникає удар, який і викликає пружні коливання. Джерелом збудження пружних коливань може також бути незрівноваженість обертових мас ланок (кулачків, кривошипів, барабанів і т. д.) та незрівноваженість машин на фундаменті.

Джерелом збудження згинних коливань швидкообертових валів можуть бути й підшипники кочення, які являють собою змінну опору, бо вал спирається на кульки, що мають різні розміри в полі допуску та змінні деформації в точках опори.

Точність виготовлення ланок передавальних та циклових механізмів також служить джерелом вимушених коливань систем. Пружина

часто використовується в циклових механізмах для здійснення силового замикання, вибору зазорів і т. д. При високих швидкостях у пружинах виникають пружні коливання, що являють собою пружні хвилі, які поширюються по витках. Швидкість поширення цих хвиль відповідає власній частоті коливання пружини.

Дослідження динаміки виконавчих коромислових кулачкових механізмів поліграфічних машин, проведені в Українському поліграфічному інституті автором статті під керівництвом професора К. В. Тіра, показали, що в роботі цих механізмів неодмінно виникають вільні та вимушені пружні коливання. На рис. 1 наведена осцилограма запису істинних кривих крутних моментів на головному валу виконавчого механізму, кривих прискорень на ведучій ланці і дійсної зміни зусилля пружини в часі. Як видно з осцилограми, всі ці криві спотворені накладанням вимушених пружних коливань.

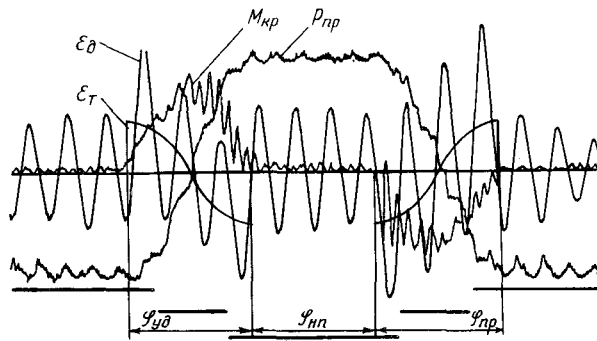


Рис. 1. Осцилограми крутних моментів на валу кулачка ( $M_{кр}$ ), кутових прискорень веденої маси ( $\epsilon_d$ ), зусилля замикаючої пружини ( $P_{пр}$ ), кутових прискорень, одержаних розрахунковим шляхом.

Вплив пружних коливань на динаміку системи прийнято оцінювати коефіцієнтом динамічності, який являє собою відношення істинного піка моменту до теоретичного, а для прискорень — відношення істинного піка прискорень до теоретичного.

Порівняння кривих крутних моментів, одержаних розрахунковим шляхом, та істинних кривих крутних моментів, зареєстрованих під час досліджень, показали, що розходження між ними виникають як від накладання торсійних крутильних коливань ведучого вала, так і в результаті істинних динамічних навантажень на веденій системі. Коефіцієнт динамічності крутного моменту для всіх досліджених законів періодичного руху збільшується з підвищенням швидкісного режиму та із зменшенням жорсткості ведучого вала. В проведених дослідженнях коефіцієнт динамічності для крутного моменту лежав у межах від 1,05 до 1,3. Криві дійсних кутових прискорень значно викривлені накладанням власних торсійних коливань вала веденої системи. Форма істинних кривих прискорень більше наближається до «ідеальної» розрахункової із збільшенням жорсткості веденої і в меншій мірі ведучої систем. На коефіцієнт динамічності веденої системи також кількісно впливають закон періодичного руху, швидкісний режим, пружна характеристика ведучої системи і т. д. Однак вплив цих факторів відчувається по-різному в залежності від їх поєднань.

У таблиці узагальнені дані про найбільш сприятливі закони руху в різноманітних умовах роботи кулачкових коромислових механізмів (кількість обертів головного вала за хвилину, різні власні частоти ведучої і веденої систем). Критерієм оцінки є дані про справжні піки кутових прискорень коромисла, узагальнені на основі значної кількості електронно-тензометричних вимірювань, згаданих вище.

У першому рядку вказані закони, що вийшли при відповідному поєднанні умов роботи на перше місце, в другому — ті, що вийшли на друге місце.

**Таблиця найбільш сприятливих законів руху в залежності від конкретних умов**

Власна частота веденої системи (в гц)	Кількість обертів головного вала (в хв.)								
	50,6			83,6			133,5		
	Власні частоти ведучої системи (в гц)								
	196	121,3	81	196	121,3	81	196	121,3	81
47,3	«0000»	«Ш»		«0317/1,5»			«0317/1,5»		
	«К»	«C <sub>0</sub> »	«0000»	«К»	«0000»	«Ш»	«C <sub>0</sub> »		
38,2	«C <sub>0</sub> »		«К»			«C <sub>0</sub> »	«К»	«C <sub>0</sub> »	
	«Ш»		«Ш»			«К»	«C <sub>0</sub> »	«К»	
32,7	«0000»		«0000»			«Ш»			
	«C <sub>0</sub> »	«Ш»	«C <sub>0</sub> »	«Ш»	«C <sub>0</sub> »	«C <sub>0</sub> »	«0000»	«C <sub>0</sub> »	
29,7	«К»	«Ш»		«Ш»			«Ш»	«C <sub>0</sub> »	
	«Ш»	«К»	«C <sub>0</sub> »	«К»	«C <sub>0</sub> »		«C <sub>0</sub> »	«Ш»	

В таблиці використано позначення законів періодичного руху, взяті з книги К. В. Тіра «Комплексный расчет кулачковых механизмов»: «C<sub>0</sub>» — закон руху з діаграмою прискорень — синусоїда, «Ш» — діаграма прискорень — складний поліном 3-го степеня, «К» — діаграма прискорень — косинусоїда, «0317/1,5» — діаграма, викреслена трапецією та ввігнутою параболою, «0000» — рівномірно-спадаюче прискорення. Дані, наведені в таблиці, можна врахувати при виборі закону періодичного руху для випадку замикання ролика на кулачку з пружиною і для динамічно подібних систем з числом Ньютона, що змінюється від 14 до 151.

Таким чином, будь-якій машині, яка являє собою багатомасну систему, властиві власні та вимушені пружні коливання. Пружні коливання в машинах приводять до того, що зменшується продуктивність машини, передавальні ланки сприймають в окремих випадках значні перевантаження, внаслідок чого інтенсивно зношуються робочі поверхні ланок та погіршується якість продукції.

В поліграфічних машинах часто необхідне точне синхронне переміщення ланок двох виконавчих механізмів. Наприклад, у плоскодрукарських машинах — переміщення талера та друкарського циліндра, в ротаційних машинах — переміщення формного та друкарського циліндра в період друку і т. д.

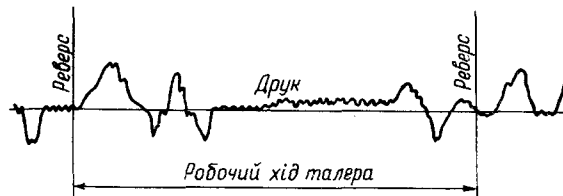


Рис. 2. Осцилограма крутних моментів на валу привода талера.

На рис. 2 наведена типова осцилограма крутних моментів на валу привода талера, одержана Я. І. Чехманом (УПІ). З осцилограми видно, що в установленому процесі після закінчення реверса виникають крутілісні коливання вала привода. В результаті пружних деформацій кручення зміщується поверхня друкарського циліндра відносно талера, пропорційнальна величині піків крутних моментів.

Виходячи з елементарних формул теорії механізмів та машин, швидкість талера ( $V_T$ ) і швидкість друкарського циліндра ( $V_{nc}$ ) можна зобразити на діаграмі  $V(t)$  у вигляді горизонтальної прямої лінії (рис. 3). В дійсності в результаті пружних коливань у системі талер—

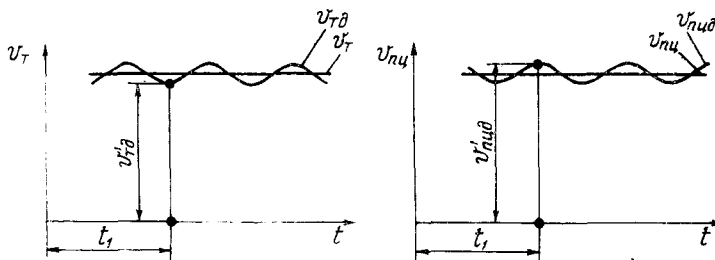


Рис. 3. Зміна швидкості талера і тангенціальної швидкості друкарського циліндра в часі.

друкарський циліндр зміна швидкостей як талера, так і друкарського циліндра в часі має хвилювий характер ( $V_{Td}$  і  $V_{ncd}$ ). Через нерівність швидкостей між талером та друкарським циліндром можливе просковзування з швидкістю  $\Delta V = V'_{ncd} - V'_{Td}$ , що призводить до змазування відбитків. Відносно положення талера та друкарського циліндра при цьому схематично зображено на рис. 4.

Найбільше тангенціальне зміщення циліндра відносно талера може оцінюватись величиною  $\Delta S = \Delta S_T + \Delta S_{nc}$ , де  $\Delta S_{nc} = R \cdot \Delta \phi$ .

Для досягнення стабільності кінематики відносного руху талера та друкарського циліндра використовують реєстрові зубчасті рейки, а також вводять додатковий фрикційний зв'язок за рахунок обкочування центроїдних поверхонь, що знаходяться під натягом. При малому натягу або його відсутності відбувається зміщення циліндра відносно талера, що викликає дроблення.

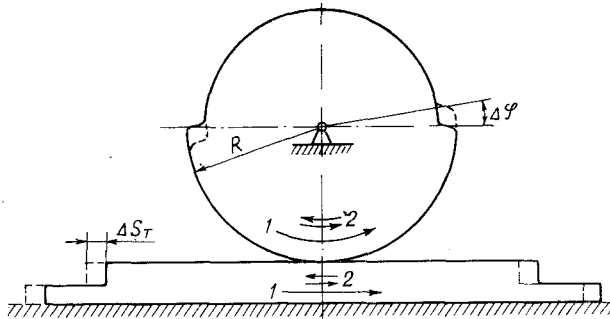


Рис. 4. Відносне положення талера і друкарського циліндра в результаті пружних коливань:  
1 — головний напрям руху; 2 — напрям коливань рухів, що накладаються на головні.

В механічних системах, транспортуючих пристроях, які передають півфабрикати або заготовки з однієї робочої позиції на іншу, також мають місце вимушені коливання. Тому базировка заготовки чи півфабрикату в період виконання робочої операції може бути порушена. Якщо в цей період повинен відбутися збіг деталей виробу, то їх взаємне розміщення одержить додатковий розкид в межах пружної деформації системи.

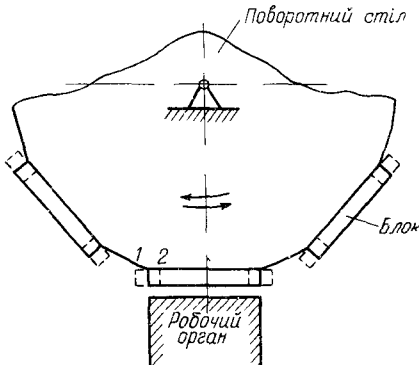


Рис. 5. Відносне положення блока і робочого органу в результаті пружних деформацій в системі привода транспортуючого пристрою.

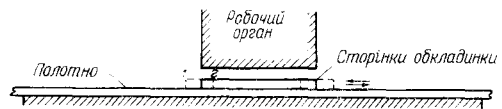


Рис. 6. Відносне положення сторінок обкладинки і робочого органу в результаті пружних деформацій полотна і ланок механізму привода каретки.

На рис. 5. схематично зображено поворотний транспортуючий пристрій машин для покриття м'якою обкладинкою, який в період пауз сприймає вільні крутильні коливання відносно точки 0. Під час виконання робочої операції блок може зайняти будь-яке положення в межах 1—2. Для підвищення точності збігу елементів виробу в транспортуючих пристроях такого типу застосовуються спеціальні фіксуючі пристрої або ж гальма.

У машинах для виготовлення палітурок КД-2 та КД-3 транспортуючим пристроєм є ролонна тканина, яка служить для покриття картонних палітурок. Як полотно тканини, так і система механізму транс-

портуючої каретки під дією сил, що періодично змінюються, мають в період робочого ходу вимушені і власні пружні коливання. Це порушує точність приводки полотна, що значною мірою погіршує якість продукції.

На рис. 6 зображена схема коливання положення елементів палітурки відносно робочого органу в результаті пружних коливань полотна та ланок механізмів каретки при приводці. В аркушевих ротаційних офсетних машинах для передачі аркуша від самонакладу до друкарського циліндра використовується механізм форгрейфера. Ведена ланка форгрейфера у відповідності з циклограмою машини повинна в конкретній фазі кінематичного циклу переміщуватися з швидкістю,

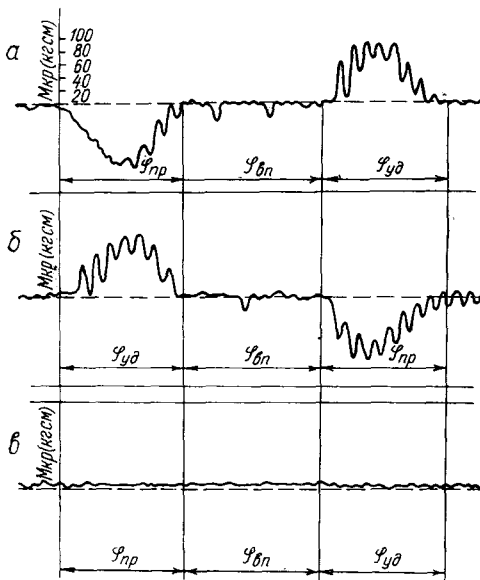


Рис. 7. Осцилограми крутних моментів на головному валу механізму:

а — від виконавчого механізму; б — від зрівноважуючого механізму; в — від спільної їх дії.

плітуди їх коливань бувають настільки великі, що можливе порушення синхронізації роботи окремих виконавчих механізмів. Конструктор, який проектує машину, має цілий ряд засобів, що зводять пружні коливання в механічних системах ланок механізмів та машин до мінімуму. Наприклад, засобами зменшення вимушених коливань можуть бути:

- а) раціональне розподілення мас і жорсткостей ланок у механічних системах з метою віддалення їх від резонансних явищ;
- б) обдуманий вибір закону періодичного руху ведених ланок виконавчих механізмів;
- в) введення в системи додаткових опорів у вигляді демпферів або глушителей коливань;
- г) введення в системи додаткових пристроїв у вигляді антивібраторів, що можуть значно знизити вимушені коливання;
- д) введення в системи спеціальних зрівноважуючих пристроїв, що розвантажують передавальні механізми від надлишкових сил та моментів і при цьому демпфують систему.

На рис. 7 наведена осцилограма запису крутних моментів на головному валу виконавчого механізму, одержана автором: а) без зрівноважуючого пристрою, б) від зрівноважуючого пристрою, в) при тих же

швидкості, що дорівнює тангенціальній швидкості допоміжного циліндра. Однак через наявність пружних коливань у системі механізму форгрейфера захват листа клапанами допоміжного циліндра може відбуватися не в заданому положенні, а на якійсь межі, у відповідності з абсолютною величиною пружних деформацій ланок системи. Щоб запобігти цьому, застосовують регістрові зубчасті передачі, які практично не допускають відносних переміщень веденої ланки форгрейфера та допоміжного циліндра. Однак присутність періодичної збуджуючої сили в системах машини є джерелом коливань, що погіршує якість продукції, зокрема викликає «дроблення» друку.

У потокових лініях, де агрегати або машини з'єднуються загальним головним валом, амплітуди їх коливань бувають настільки великі, що можливе порушення синхронізації роботи окремих виконавчих механізмів.

умовах, але з встановленням зрівноважуючого пристрою. З осцилограм видно, що коливання в системі головного вала після встановлення зрівноважуючого пристрою практично зникли.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. К. В. Тир. Комплексный расчет кулачковых механизмов. Машгиз. К.—М., 1958.
2. К. В. Тир. Механика полиграфических автоматов. М., 1965.
3. А. Е. Кобринский. К выбору закона движения толкателя. Труды семинара по ТММ АН СССР, т. IX, вып. 35, 1950.
4. А. Н. Полюдов. Исследование истинной динамики исполнительных и уравновешивающих кулачковых механизмов. Автореферат диссертации. Львов, 1964.

*А. Н. ПОЛЮДОВ*

### **УПРУГИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИНАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ**

#### Резюме

В статье рассматриваются причины возникновения упругих крутильных колебаний в звеньях механизмов и машин, их влияние на качество продукции и средства по улучшению динамических характеристик полиграфических машин.

*A. N. POLYUDOV*

### **THE ELASTIC OSCILLATION VIBRATIONS IN THE PRINTING MACHINES AND THEIR INFLUENCE ON THE QUALITY OF THE PRODUCTION**

#### Summary

The causes of elastic torsional oscillations origin in the links of mechanisms and machines are considered, as well as their influence on the production quality and means for the improvement of polygraphic machines dynamic characteristics.

