

УДК 686.1.051.2

Пасіка В.Р., д.т.н. професор,	Національний Університет Львівська Політехніка» /Україна
Казьмірович Р.В., д.т.н. професор,	Українська академія друкарства/ Україна
Казьмірович О.Р., к.т.н. доцент,	Українська академія друкарства/ Україна
Гончарук О.С., ст. викладач	Українська академія друкарства/ Україна

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗІШТОВХУВАННЯ АРКУШІВ У СТОСІ НА ВІБРОЗІШТОВХУВАЧАХ

***Анотація:** у статті проведений аналіз факторів, що впливають на якість та продуктивність формування стосів аркушів на віброзіштовхувачах та здійснено динамічний синтез процесу зіштовхування.*

Метою роботи є визначення таких параметрів вібраційного збурення і кута нахилу вібростола, при яких вирівнювання відбуватиметься протягом найкоротшого часу.

Розглянуто детально процес віброзіштовхування, який містить фази розбігу і вибігу.

Висунуто і підтверджено гіпотезу, що при віброзіштовхуванні можуть виникати умови, при яких стос аркушів перебуватиме у стані «вільного тіла».

Відображено, що переміщення стосу можливе лише при нахилі і вібрації стола, амплітуда пришвидшення якого буде не менша від пришвидшення земного тяжіння.

Визначено час перебування столу у стані «вільного тіла» залежно від кута нахилу, частоти і амплітуди вібрації стола.

За наведеними графіками можна оцінити час вирівнювання аркушів у стосі від кута нахилу і параметрів віброзбурення.

***Ключові слова:** процеси зіштовхування, віброзіштовхувач, стоси аркушів, динамічний синтез, частота та амплітуда вібрації.*

ВСТУП

Зіштовхування – це базування, вирівнювання країв усіх аркушів у стосі за двома суміжними, так званими вірними сторонами. Аркуші після зіштовхування оцінюються за єдиним показником якості – точністю зіштовхування.

Вирівнювання країв різних аркушів виконується для підвищення надійності роботи самонакладів друкарських, обробних та фальцювальних машин та точності розрізання друкованої продукції за параметрами відстаней від лінії контуру на одноножових паперорізальних машинах.

Зіштовхування аркушів може виконуватись вручну, однак це трудомістка операція, яка вимагає значних витрат часу. При ручному зіштовхуванні праця робітника важка та непродуктивна: кожний стос віддрукованих аркушів він підносить та опускає на поверхню столу від 2 до 6 раз, опрацьовуючи за зміну до п'яти тон паперу.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Не дивлячись на наявні широкі можливості використання різних режимів роботи віброзіштовхувачів (ВЗ) за параметрами кутів нахилу, тривалості, частоти та амплітуди вібрації на сьогодні не розроблені кількісні науково - обгрунтовані рекомендації щодо визначення таких параметрів вібраційного збурення і кута нахилу стола, при яких зіштовхування відбуватиметься протягом найкоротшого часу.

Основною причиною такого стану в першу чергу є відсутність динамічного аналізу процесу зіштовхування стосу аркушів паперу на ВЗ, які належать до найменш досліджених технологічних операцій поліграфічних процесів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

У роботі [1] проведено аналіз та розрахунок точності розташування друкованих відбитків у зіштовхнутому на ВЗ стосі аркушів та розглянуто питання доцільності корекції похибок зіштовхування в процесі підрізання стосів на одноножовій паперорізальній машині.

На процес зіштовхування незалежно від його способу (механізованого або ручного) впливають [2,3,4]: формат аркушів (з його збільшенням – процес утруднюється); гладкість паперу (аркуші гладкого паперу легше зміщуються один відносно іншого); наявність статичної електрики (аркуші злипаються та перешкоджають утворенню повітряних прошарків); вологість паперу (при недостатці вологості в папері утворюється статична електрика, при підвищенні – утворюється тертя); щільність паперу (зіштовхування тонкого паперу утруднене). Точність та продуктивність ручного та машинного зіштовхування аркушів залежить від формату, поверхневої щільності, об'ємної маси, гладкості та вологості паперу, а також від середньої величини початкового зміщення аркушів і стану їх крайок.

Краще зіштовхуються аркуші поливаного та крейдованого паперу з високою гладкістю поверхні, гірше – м'які, тонкі види паперу з хвилястою та шорсткою поверхнею, зім'ятими боковими крайками.

Аркуші великого формату менш зручні у роботі і при інших показниках мають більшу масу, тому для зіштовхування береться стос паперу з меншим числом аркушів, чим при середньому та малому форматі. Продуктивність зіштовхування при цьому знижується на 17-20%. У папері з високою поверхневою щільністю при інших рівних умовах вища маса, товщина та жорсткість, що виявляє двоякий вплив на трудомісткість операції: з однієї сторони, необхідно зіштовхувати стоси паперу з меншим числом аркушів, але, з іншої сторони, товсті та жорсткі аркуші паперу порівняно легко вирівнюються за крайками. За цими причинами із зростанням поверхневої щільності паперу на кожні 20% продуктивність зіштовхування паперу поверхневої щільності

більше 90 г/см знижується приблизно на 5%. Зіштовхування аркушів тонких видів паперу з малою поверхневою щільністю утруднюється через їх малу жорсткість. При вирівнюванні аркушів на твердій поверхні столу або на стінках віброзіштовхувача ймовірність зминання їх крайок значно зростає. З врахуванням цього норми вироблення (виробітку) на зіштовхування паперу із поверхневою щільністю нижче 55 г/м знижені на 17%. Тонкі, із малою поверхневою щільністю види паперу (наприклад, папіросна з поверхневою щільністю 16 г/м) зіштовхувати взагалі неможливо, їх вирівнюють наколюванням кожного аркуша на голки.

Каландровані та крейдовані аркуші із високою гладкістю добре ковзають один відносно іншого та легко зіштовхуються. Підвищена вологість паперу утруднює зіштовхування, так як при цьому знижується його жорсткість та зростає коефіцієнт тертя. При низькій (менше 5%) вологості папір легко електризується при щільному контакті та терті аркушів. Накопичення зарядів при електризації приводить до злипання аркушів, що утруднює виконання основних операцій зіштовхування.

Статична електрика в папері перешкоджає утворенню повітряного прошарку між аркушами, так як при цьому спостерігається явище злипання аркушів. Гладкий папір зіштовхується краще ніж шорсткий, так як сили тертя при цьому менші, що сприяє кращому ковзанню паперу один відносно іншого. При зниженій або підвищеній вологості утруднюється процес зіштовхування, так як при недостатній вологості в папері утворюється статична електрика, а при надлишковій вологості аркуші стають тяжчими та пухкішими. Постійну нормальну вологість в цеху забезпечує кондиціонування повітря. При нормальній рівноважній вологості паперу (7÷8)% забезпечуються нормальні умови зіштовхування паперу без утворення статичної електрики.

Оптимальна для даного технологічного процесу вологість паперу рівна 7÷8% може бути досягнута при нормальній відносній вологості повітря в цеху (60±5)% та після акліматизації паперу на протязі доби.

Великий початковий зсув аркушів, хвилясті, пом'яті та пошкоджені крайки аркушів утруднюють зіштовхування.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

На причинно-наслідковій діаграмі (рис. 1) виділено групи факторів, що впливають на якість та продуктивність формування стосів аркушів на ВЗ.

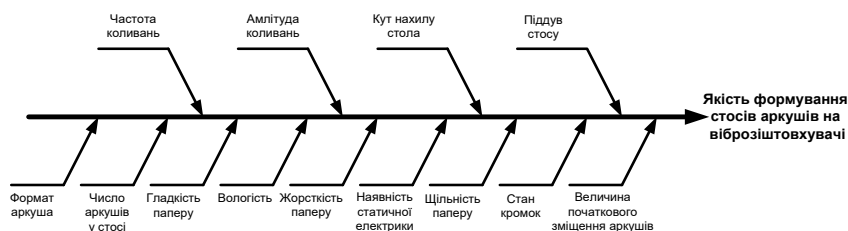


Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма якості формування стосів аркушів на віброзіштовхувачі

На невеликих та середніх поліграфічних підприємствах для зіштовхування використовують прості за конструкцією та доступні за ціною віброзіштовхувачі. ВЗ аркушів паперу уявляє собою стіл з регульованим кутом нахилу, частотою та амплітудою коливань, має масивну основу, стіл із двома низькими стінками-упорами, систему роздуву аркушів та електропривід, який забезпечує вібрацію стола в процесі зіштовхування. Вібрації передаються столу, наприклад, електродвигуном з незрівноваженою масою на валу або іншого пристрою, на який двигун передає рух. Частіше застосовуються пневматичний або гідравлічний привід стола. Такі приводи простіші та забезпечують більш зручну дію на параметри вібрацій.

Зіштовхуючий стіл обладнаний повітрядувами. Стіл має бокові упори, які встановлюються вручну. Стіл та відкидні борти мають повітряну подушку на своїх поверхнях з автоматичним включенням при переміщенні стосу та відключенням на час зіштовхування. Для утримання аркушів стосу від зміщення на час вигладжування валиком її край, який зіштовхнутий до постійного борта затискається планкою, яка опускається згори. Для підвищення ефективності зіштовхування в багатьох конструкціях застосовується високоякісне покриття із пластика або сталі.

Розрахункову схему пристрою для вирівнювання стосу віддрукованих аркушів наведено на рис. 2.

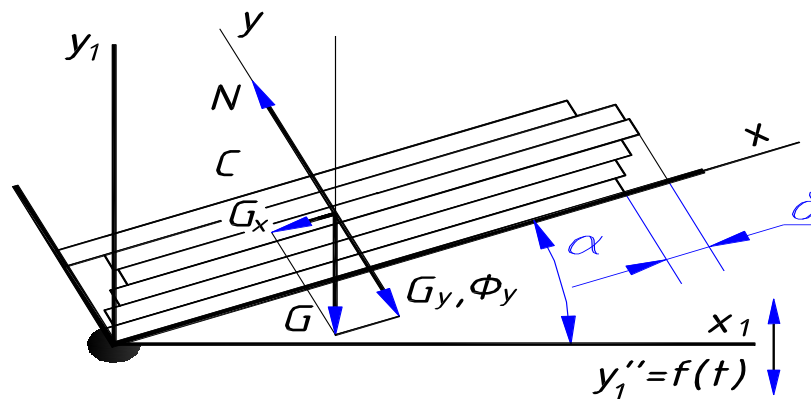


Рис. 2. Розрахункова схема пристрою для вирівнювання стосу віддрукованих аркушів

Стос аркушів розміщений на похилій площині (стіл) з якою пов'язана система координат x_1y_1 . Похила площина опирається на віброуючу основу, пришвидження якої змінюється за законом $y_1 = f(t)$ і з якою пов'язана система координат x_1y_1 . Нехай максимальний розмір початкового зміщення аркушів становить δ . Метою роботи є визначення таких параметрів вібраційного збурення $y_1'' = f(t)$ і кута нахилу стола α , при яких вирівнювання відбудеться протягом найкоротшого часу.

Щоб аркуші стосу вирівнялись по лівому краю необхідно, щоб проекція рівнодійної усіх сили які діють на окремий аркуш уздовж абсциси x були більшими від сил тертя, які діють на аркуш у протилежному напрямку. Ураховуючи, що коефіцієнт тертя для різних типів паперу змінюється у межах $0,35 \div 0,48$, то очевидно, що сили тертя при нерухомому столі будуть завжди більшими від складової сили тяжіння G_x для реальних кутів α . Тому необхідно створити такі умови, при яких сили тертя будуть суттєво меншими або повністю відсутніми.

Рух віброуючої основи завжди містить фазу розбігу і вибігу (гальмування, рис. 3). При русі уверх на фазі розбігу стос притискатиметься до столу, а на стадії гальмування – сили інерції Φ_y діятимуть у протилежному напрямку. Тобто, на стадії гальмування можуть виникнути такі умови, при яких стос не тиснутиме на стіл ($N=0$), а значить буде вільним тілом. У цьому випадку кожний аркуш паперу теж буде вільним тілом. А раз так, то зв'язаність між окремими аркушами будуть послаблені, або відсутні.

На наш погляд для вібраційного збурення найдоцільніше застосувати гармонійні закони періодичного руху, оскільки на краях у таких законів є стрибки пришвидшення, що викликатиме появу сил інерції. Найпростішими з таких законів є косинусоїдні, де пришвидшення змінюється, наприклад так (рис. 3):

$$y_1'' = a_0 \cos(\omega t),$$

де: a_0 – амплітуда пришвидшення, ω – кругова частота.

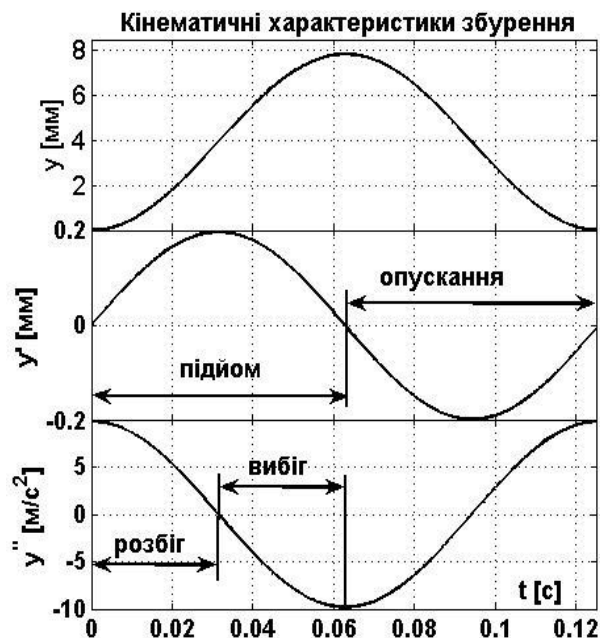


Рис. 3. Косинусоїдний закон руху

Двічі інтегруючи отримуємо при нульових початкових умовах

$$y_1 = \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)], \quad y' = \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t). \quad (1)$$

Максимальна амплітуда переміщень віброуючої основи

$$y_{1\max} = \frac{2a_0}{\omega^2}. \quad (2)$$

Застосуємо принцип Д'Аламбера і запишемо основне рівняння динамічної рівноваги стосу

$$\vec{N} + \vec{G} + \vec{\Phi} = 0, \quad (3)$$

де: вектори: \vec{N} – нормальна сила, \vec{G} – сила тяжіння стосу, $\vec{\Phi}$ – сила інерції стосу.

У проекції на вісь "y" отримуємо

$$N - G_y - \Phi_y = 0, \quad (4)$$

де: $G_y = G \cos(\alpha)$, $\Phi_y = ma_0 \cos(\omega t) \cos(\alpha)$, α – кут нахилу стола до осі x_1 , m – маса стосу.

З рівняння (4) визначаємо нормальну реакцію N і час t_1 , за якого нормальна сила $N \leq 0$

$$N = m \cos(\alpha) [g + a_0 (\cos \omega t)] \leq 0. \quad (5)$$

$$t_1 \leq \arccos(-g/a_0) / \omega \quad (6)$$

Вираз під арккосинусом мусить бути $|-g/a_0| \leq 0$. Рівність буде тоді, коли $a_0 = g$ і $t_1 = \pi/\omega$. Тобто, стіл буде у верхньому положенні, оскільки період коливань $T = 2\pi/\omega$.

Якщо амплітуда збурювального пришвидшення буде $a_0 > g$, то невагомість стосу наступить швидше і $t_1 < T/2$.

Розглянемо два етапи.

Перший. Стос і стіл рухаються як одне ціле до виконання умови $N=0$. У кінці першого етапу обчислюємо переміщення і швидкість столу зі стосом
Помилка! Джерело посилання не знайдено.

$$y_1 = \frac{a_0}{\omega^2} \cos(\alpha) [1 - \cos(\omega t)], \quad y_1 = \frac{a_0}{\omega} \cos(\alpha) \sin(\omega t_1). \quad (7)$$

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

Другий етап. Стос вільне тіло на яке діє лише сила тяжіння G . З моменту часу коли $t=t_1$ стос за інерцією ще рухатиметься уверх, а потім опускатиметься. За основним рівнянням динаміки [6] маємо

$$my'' = -G \cos(\alpha). \quad (8)$$

Двічі інтегруємо і при початкових умовах $t=0 \rightarrow y=y_1, y' = y_1$ отримуємо

$$y = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t^2}{2} + \frac{a_0 t}{\omega} \sin(\omega t) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)] \right\};$$

$$y' = \cos(\alpha) \left[-gt + \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t) \right]. \quad (9)$$

Визначимо час t_{v_0} , за який стос підніметься максимально уверх від кінця першого етапу. У найвищому положенні швидкість стосу дорівнюватиме нулю. Тому з другого рівняння (9) визначаємо

$$t_{v_0} = \frac{a_0}{g\omega} \sin(\omega t_1)$$

і обчислюємо переміщення стосу до максимально віддаленого положення. Для цього у перше рівняння (9) підставляємо $t=t_{v_0}$ і обчислюємо y_{\max}

$$y_{\max} = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t_{v_0}^2}{2} + \frac{a_0 t_{v_0}}{\omega} \sin(\omega t) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t)] \right\}.$$

Інтегруючи двічі рівняння (8), визначаємо швидкість і переміщення стосу у вільному падінні при таких початкових умовах $t=0 \rightarrow y=y_{\max}, y'=0$

$$y = -g \frac{t^2}{2} \cos(\alpha) + y_{\max}, \quad y' = -gt \cos(\alpha). \quad (10)$$

Час вільного падіння стосу визначаємо з першого рівняння (10), коли $y=0$

$$t_n = \sqrt{\frac{2y_{\max}}{g \cos(\alpha)}} \quad (11)$$

Оскільки стос може повернутись у початкове положення, у загальному випадку, не одночасно зі столом, то можливі варіанти, коли стіл уже унизу, а стос ще не «долетів». Або навпаки, стос доганяє стіл і далі рухається із ним униз як одне ціле.

Розглянемо перший варіант. Тут справедлива така нерівність

$$\Delta t = t_{v_0} + t_n - t_{ct} > 0, \quad (12)$$

ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ №1 (16), 2019

де: $t_{\text{ст}} = 2\pi / \omega - t_1$ – час за який стіл повернеться у початкове положення.

У цьому варіанті стіл, повернувшись у початкове положення починає рухатись уверх назустріч стосу. Необхідно визначити час їхньої зустрічі t_3 , щоб уточнити час стосу у стані «вільне тіло». Спочатку визначаємо висоту на якій перебуватиме стос, коли стіл буде у початковому положенні. Для цього у перше рівняння (9) підставляємо $t = t_{\text{ст}}$

$$h = y_{t=t_{\text{ст}}} = \cos(\alpha) \left\{ -g \frac{t_{\text{ст}}^2}{2} + \frac{a_0 t_{\text{ст}}}{\omega} \sin(\omega t_1) + \frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t_1)] \right\}. \quad (13)$$

Виходячи з умови, що сумарне переміщення стола і стосу за час t_3 дорівнює висоті h , визначаємо час зустрічі. Для цього другі рівняння (7) і (9), які визначають швидкості стосу і столу, домножуємо на невідомий час t_3 , записуємо рівняння переміщень і визначаємо час

$$t_3 \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t_3) - g t_3 + \frac{a_0}{\omega} \sin(\omega t_1) = h. \quad (14)$$

Отримане рівняння нелінійне тому розв'язуватимемо його чисельно.

Тепер можемо визначити час протягом якого стос перебуватиме у стані вільного тіла

$$t_{\text{см}} = t_{v_0} + t_n - t_2. \quad (15)$$

Для другого варіанту стос «доганяє» стіл ще до досягненням столом початкового положення і далі рухається з ним як одне ціле. Тут виходимо з того, що, коли переміщення стола і стосу вирівнюються то у цей момент, нехай це буде час t_2 . Для його визначення прирівнюємо перші рівняння з (7) і (10) при $t = t_2$.

$$\frac{a_0}{\omega^2} [1 - \cos(\omega t_2)] = -g \frac{t_2^2}{2} + y_{\text{max}} / \cos(\alpha). \quad (16)$$

Отримане рівняння теж нелінійне.

Час, протягом якого стос перебуватиме у стані вільного тіла, обчислимо так

$$t_{\text{см}} = t_{v_0} + t_n - t_2. \quad (17)$$

Протягом часу $t_{\text{см}}$ кожний з аркушів теж є вільним тілом і на них у напрямку осі «x» діє лише складова G_x сили тяжіння, яка намагається вирівняти аркуші. Тертя між аркушами не буде, або практично буде незначним.

Основне рівняння динаміки (3) у проекції на вісь абсцис матиме вигляд

$$mx'' = -G \sin(\alpha), \quad (18)$$

або

$$x'' = -g \sin(\alpha). \quad (19)$$

Двічі інтегруємо (19) при початкових умовах $t = 0 \rightarrow x = 0, x' = 0$ і отримуємо:

$$x = -g \frac{t^2}{2} \sin(\alpha), \quad \dot{x} = gt \cdot \sin(\alpha). \quad (20)$$

Далі визначаємо переміщення аркушів стосу $x_{\text{и}} = x(t_{\text{вт}})$ за один цикл, коли стос перебуває у стані «вільне тіло», тобто, коли час $t = t_{\text{вт}}$. Тоді для того, щоб усі аркуші вирівнялись необхідно $k = \delta/x_{\text{ц}}$ циклів, що відповідатиме часові

$$t_{\text{с}} = kT = \frac{2\pi\delta}{\omega x_{\text{ц}}}, \text{ с.} \quad (21)$$

Отримані у статті аналітичні залежності справедливі і для вібростолів, які одночасно нахилені до обох горизонтальних осей. У такому випадку обчислення проводять для кожної осі і час вирівнювання стосу аркушів буде найбільшим із двох обчислених.

При вирівнюванні аркушів необхідно враховувати розміри, щільність паперу. Так для щільнішого паперу кут нахилу стола може бути більшим, ніж для менш щільного. Згідно [5] із збільшенням формату продукції доцільність периферійного обладнання зростає. Згідно рис. 3 навіть для кута нахилу стола 1° завжди можна підібрати відповіді амплітуду і частоту збурення, щоб отримати час вирівнювання у прийнятних межах.

У роботі використано найпростіший циклоїдний закон збурення (рис. 3). Проте доцільно було б проаналізувати вплив інших законів, зокрема комбінованих, де на фазі розбігу пришвидшення відбувається за циклоїдним законом, а на фазі вибігу – за гармонійним.

Аналізуючи графіки (рис. 3) робимо такі висновки:

- зі збільшенням кута нахилу стола і максимальної амплітуди пришвидшення збурення час вирівнювання зменшується;
- з ростом частоти збурення час вирівнювання збільшується;
- за отриманими графіками можна завжди підібрати такі співвідношення між кутом нахилу стола, амплітудою пришвидшення і частотою збурення, щоб отримати час вирівнювання у реальних границях.

ВИСНОВКИ

1. Наведено загальну оцінку впливу фізичних, кліматичних, геометричних та інших факторів на точність та продуктивність зштовхування;
2. Проведено динамічний синтез і створено динамічну модель процесу вібровирівнювання стосу віддрукованих аркушів на вібрувальному столі;
3. Виявлено і визначено періоди віброциклу, упродовж яких стос аркушів перебуває у стані «вільного тіла» і на нього окрім сил тяжіння не діють інші сили;
4. Показано, що вібровирівнювання можливе за умови нахилу вібростолу і амплітуди вібропришвидшення, яка не менша від пришвидшення Земного тяжіння.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Казьмірович Р.В., Казьмірович О.Р. (2009) Розрахунок величини корекції похибок зіштовхування друкованих аркушів у стосі при їх підрізанні. Комп'ютерні технології друкарства. № 21. С. 235-241.
- [2] Павлов И.П., Хмылко В.Ф. (1975) Сталкивание и резка листов М.: Книга. — 40 с.
- [3] Воробьев Д.В. (1998) Чем подрезка отличается от разрезки и где они сталкиваются. Курсив. — № 2. — С. 42–48.
- [4] Хведчин Ю.И. (2003) Подготовка стопы и организация рабочего места на резальной машине. Businessprint. №5 (29). С. 24-29.
- [5] Дробікова К.О., Шостачук Ю.О. (2008) Можливості підвищення продуктивності одноножових різальних машин. Технологія і техніка друкарства №2(20). С. 77–82.
- [6] Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. (1983) Курс теоретической механики. Т.2, Москва: Наука. — 640 с.

DYNAMIC SYNTHESIS OF JOGGING PROCESS OF SHEETS IN A STACK ON THE JOGGERS

Pasika VR. , DThSc., Prof.,	National University "Lviv Polytechnic" / Ukraine
Kazmirovich R.V. , DThSc., Prof.	Ukrainian Academy of Printing / Ukraine
Kazmirovich O.R. , PhD., Assoc. Professor,	Ukrainian Academy of Printing / Ukraine
Goncharuk O.S. , Senior Lecturer	Ukrainian Academy of Printing / Ukraine

Abstract: *the article conducted analysis of factors affecting the quality and productivity of the formation of sheets in a stack on the joggers and the dynamic synthesis of the jogging process. The purpose of the work is determination of such parameters of jogging perturbation and the angle of inclination of the vibrate table, at which the alignment will take within the shortest time. The jogging process, which contains the running start and run out, is the considered in detail. The hypothesis has pulled out and confirmed that under jogging conditions there may be conditions under which a stack of sheets will be in the state of "free-body". It's represented, that moving of the stack is possible only when the table is tilted and vibrated, the acceleration amplitude of which will be not less than the acceleration of the Earth's gravity. The time of stay of the table is in the state of "free body" determined depending on the angle of inclination, frequency and amplitude of the vibration table.*

The following graphs it is possible to estimate time of alignment of sheets in a stack of from the angle and vibration parameters.

Keywords: *jogging processes, jogger, stack of sheets, dynamic synthesis, frequency and amplitude of the vibration.*

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Kazmirovich, R.V., & Kazmirovich, O.R. (2009). Calculation of the magnitude of the error correction of pushing printed sheets in the stack when cutting them. *Computer printing technologies*, 21, 235-241. (in Ukrainian).
- [2] Pavlov, I.P., & Khmylko, V.F. (1975). *Collision and cutting of sheets* M: Book. (in Russian).
- [3] Vorobyov, D.V. (1998). How the undercut differs from the cut and where they collide. *Italics*, 2, 42–48. (in Russian).
- [4] Khvedchin, Y.V. (2003). Foot preparation and workplace organization on a cutting machine. *Businessprint*, 5 (29), 24-29. (in Russian).
- [5] Drobikova, K.A., & Shostachuk, Yu.O. (2008). Performance enhancements for single-blade cutting machines. *Printing technology and technology*, 2 (20), 77–82. (in Ukrainian).
- [6] Lojciansky, L.G. & Lurie, A.I. (1983). *Course in Theoretical Mechanics*. Vol.2, Moscow: Science. (in Russian).

Стаття надійшла до редакції 16.11.2019