

УДК 519.711

МОДЕЛЮВАННЯ СТРІЧКОЖИВИЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЗА ДИСКРЕТНОЇ ПОДАЧІ МАТЕРІАЛУ

Б. В. Дурняк, М. М. Луцків, Я. М. Угрин, І. М. Лях

*Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Запропоновано задачу моделювання стрічкоживильного пристрою для розмотування матеріалу з рулону за дискретної подачі на вхід машини для подальшої обробки. Наведено результати імітаційного моделювання.

***Ключові слова:** стрічкоживильний пристрій, моделювання, натяг, коливання, амплітуда, симулювання, варіація параметрів, властивості.*

Постановка проблеми. Розвиток пакувального виробництва із застосуванням рулонного задрукованого пакувального матеріалу ставить нові вимоги до структури технологічної системи. Зокрема, це пов'язано зі швидкозмінністю програми виробництва, що передбачає універсальність обладнання, застосування гнучких виробничих модулів і модульного принципу побудови, завдяки якому можна створювати машини і лінії з широкими функціональними можливостями. Одним із таких головних модулів є стрічкоживильний пристрій, призначений для розмотування задрукованого матеріалу з рулону і подачі його на вхід машини для виконання подальших технологічних операцій. Залежно від типу машини та її призначення ширина стрічки може змінюватися у 5–10 і більше разів. Вага рулону, залежно від формату (ширини), діаметру і граматики, становить 5–500 кг. У більшості пакувальних і кришкоробних машин відбувається послідовне дискретне розмотування і подача матеріалу, що обмежує швидкість роботи машини і погіршує якість готової продукції. Отже, існує актуальна проблема аналізу натягу стрічкового матеріалу за дискретної подачі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процеси, які відбуваються у стрічкоживильному пристрої, є складні і недостатньо вивчені. У працях [1, 2] подано аналогові моделі динаміки стрічкоживильного пристрою рулонних ротатійних друкарських машин. Модель побудовано за деяких припущень. Вона описана системою алгебраїчних і диференціальних рівнянь, є системою другого порядку. Встановлено, що за деяких параметрів стрічкоживильного пристрою можуть виникати коливання натягу стрічки. У [5] наведено результати дослідження коливань натягу за гармонічної зміни радіуса рулону, які зумовлені овальністю рулону. Для зменшення кількості коливань на вході першої друкарської секції встановлюють підпружинений (коливальний) валик, який зменшує коливання натягу за умови відповідного вибору параметрів коливального валика [5, 6].

Мета статті — опрацювати математичну модель динаміки стрічкоживильного пристрою для дискретної подачі матеріалу, на основі якої дослідити його динамічні властивості за варіації окремих параметрів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стрічкоживильний пристрій призначений для розмотування стрічкового матеріалу з рулону і подачі його на вхід пакувальної машини. Схему стрічкоживильного пристрою зображено на рис. 1.

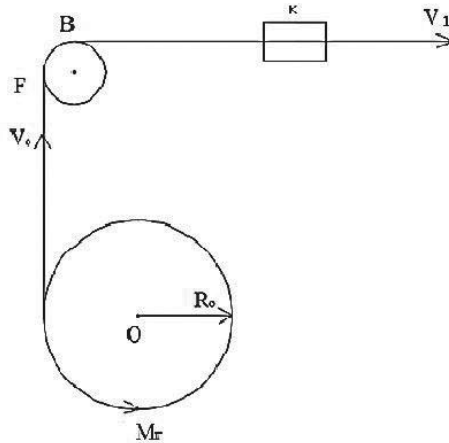


Рис. 1. Схема стрічкоживильного пристрою

Пакувальний стрічковий матеріал є змотаний у рулон, який закріплено на осі O . Подаюча каретка K здійснює дискретний поступово-зворотний рух. Спочатку каретка затискає стрічку і поступово переміщує на заданий крок. Переміщаючись, стрічка урухомлює рулон, а гальмо забезпечує заданий натяг стрічки на ділянці рулон-напрямний валик B — каретка.

Припустимо, що розмотування рулону є ідеальне. Ідеальний рулон має форму циліндра. Геометрична вісь рулону одночасно є віссю обертання. За малої товщини стрічки можна вважати, що швидкість стрічки є дотичною до ободу поля.

Опрацьовуючи модель, припустимо, що швидкість переміщення каретки є функцією часу, яка відповідає закону переміщення, не враховуємо момент інерції напрямного валика і каретки, а радіус рулону є сталим для заданого часу розмотування. За таких припущень, запишемо рівняння руху рулону [.]

$$J_0 \frac{d\omega_0}{dt} = M_p - M_2 - M_0, \quad (1)$$

де ω_0 — кутова швидкість, J_0 — момент інерції рулону, M_p — рушійний момент (момент створений силою натягу стрічки), M_2 — гальмівний момент, M_0 — момент тертя в опорах гальмівного пристрою.

Рушійний момент рулону створюється силою натягу від стрічкоподібної каретки

$$M_p = F \cdot R_0, \quad (2)$$

де F — сила натягу стрічки на ділянці, R_0 — радіус рулону.

Приймаємо, що момент від сили тертя є прямо пропорційним кутовій швидкості рулону [3, 6]

$$M_0 = \alpha \cdot \omega_0, \quad (3)$$

де α — коефіцієнт тертя в опорах гальмівного пристрою рулону й опорах рулону.

Швидкість стрічки у точці розмотування рулону

$$V_0 = R_0 \cdot \omega_0. \quad (4)$$

Після підстановки (2–4) до виразу (1) одержимо рівняння руху рулону у вигляді:

$$\frac{J_0}{R_0} \frac{dV_0}{dt} = R_0 \cdot F - \alpha \cdot \omega_0 - M_2. \quad (5)$$

На основі диференціального рівняння деформації рухомої стрічки [2, 3, 6] запишемо диференціальне рівняння натягу стрічки:

$$T \frac{dF}{dt} + F = K_c (V_1 - V_0), \quad (6)$$

де V_1 — швидкість переміщення каретки.

Коефіцієнт передачі ділянки стрічки за швидкістю [2, 6]:

$$K_c = \frac{f \cdot E_M}{V_1}, \quad (7)$$

де f — площа поперечного перерізу стрічки, E_M — модуль пружності матеріалу стрічки.

Стала часу T характеризує інерційні властивості ділянки стрічки:

$$T = \frac{L}{V_1}, \quad (8)$$

де L — довжина ділянки стрічки, V_1 — середнє значення лінійної швидкості каретки.

Визначення натягу стрічки на ділянці під час її переміщення традиційним способом розв'язку системи диференціальних рівнянь є трудомістким, тому розв'язуватимемо її методом імітаційного моделювання у програмному пакеті Simulink [4]. Для цього подамо диференціальні рівняння (5) і (6) в операторній формі запису за нульових початкових умов:

$$\left(\frac{J_0}{R_0} s + R_0 \right) V_0 = R_0 \cdot F - M_2 \quad (9)$$

$$(Ts + 1)F = K_c [V_1(s) - V_0(s)]. \quad (10)$$

Застосувавши об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті Matlab-Simulink, на основі виразів (9) та (10) запропоновано структурну схему імітаційної моделі стрічкоживильного пристрою для дискретної подачі матеріалу (рис. 2).

Виразам (9) і (10) відповідають блоки Transfer Fcn, операції сумування моментів і швидкостей здійснюють блоки Add, а величину радіуса рулону задає блок Gain. Залежно від мети дослідження закон зміни швидкості переміщення каретки можна сформулювати, скажімо, блоком Sine Wave (синусоїдальний). Візуалізацію результатів розрахунку і побудови графіків забезпечують блоки візуалізації Scope, а числові значення висвітлює блок Display.

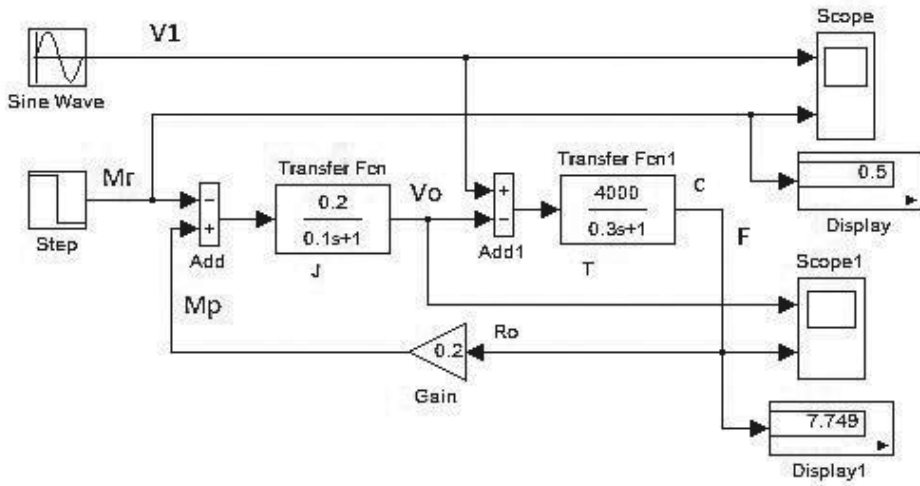


Рис. 2. Структурна схема імітаційної моделі стрічкоживильного пристрою

Мета імітаційного моделювання — це розрахунок і побудова графічних залежностей натягу стрічкового матеріалу за його дискретної подачі. Спочатку, для прикладу, налагоджували параметри моделі на такі номінальні дані стрічкоживильного пристрою: довжина ділянки стрічки $L = 1$ м, лінійна швидкість переміщення каретки $V_1 = 1$ м/с, стала часу ділянки стрічки $T = 1$ с, коефіцієнт тертя $a = 1$ кгм/рад/с, гальмівний момент $M_2 = 2$ кгм, радіус ролону $R_0 = 0,2$ м, а його момент інерції $J_0 = 0,1$ кгм, коефіцієнт передачі ділянки стрічки $K_c = 4000$ кг/м/с, які відповідають стрічкоживильному пристрою кришкоробної машини КДЗМ [7].

Результати імітаційного моделювання для одиничної ступеневої швидкості переміщення каретки наведено на рис. 3.

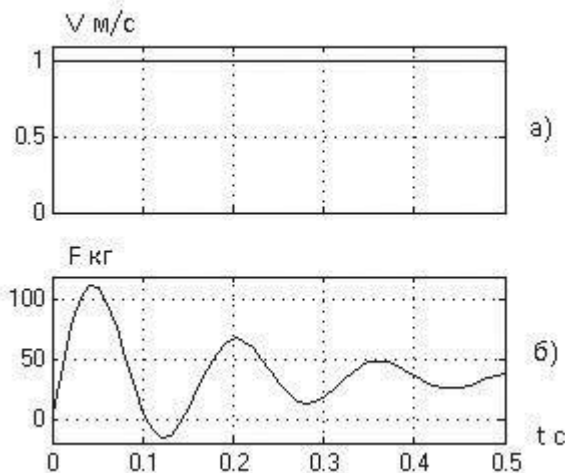


Рис. 3. Перехідні процеси зміни натягу стрічки під час переміщення каретки

У верхній частині рисунка (рис. 3а) подано графік одиничної ступеневої швидкості переміщення каретки. На рис. 3б зображено перехідний процес зміни натягу стрічки під час ступеневого переміщення каретки. Коливання натягу є досить великі. Перша амплітуда натягу становить 100 кг, а друга — 68 кг. В установленому режимі натяг стрічки становить 40 кг. Від'ємний натяг означає, що стрічка провисає на ділянці, а це може спричинити зморшки стрічки і погіршення якості продукції. Щоб усунути провисання, потрібно збільшити гальмівний момент на осі рулону. Однак в цьому випадку збільшиться амплітуда натягу, що спричинить можливий обрив стрічки.

Для поліпшення динаміки стрічкоживильного пристрою швидкість переміщення каретки плавно змінюють за гармонічним законом [1, 7]. Для прикладу, припустимо, що швидкість каретки змінюється за синусоїдальним законом з амплітудою 1 м/с і періодом 1 с, яку генерує блок Sine Wave. Результати імітаційного моделювання натягу стрічки на ділянці для синусоїдальної швидкості переміщення каретки наведено на рис. 4 у вигляді перехідної характеристики (реакції) стрічкоживильного пристрою на гармонічну зміну швидкості.

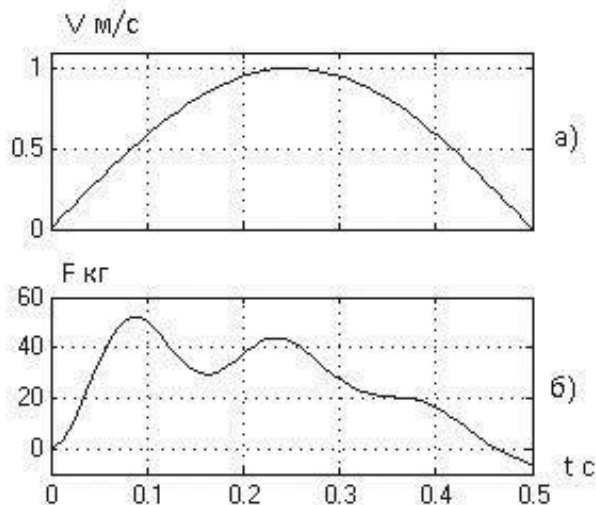


Рис. 4. Перехідні процеси зміни натягу стрічки за синусоїдальної швидкості переміщення каретки

За гармонічної зміни швидкості натяг стрічки поступово наростає до амплітудного значення 52 кг, а коливання натягу поступово сповільнюються. Зменшення швидкості каретки викликає зменшення натягу. Після переміщення каретки натяг стає від'ємним, а отже, стрічка провисає на ділянці. Для усунення провисання потрібно збільшити гальмівний момент, прикладений до осі рулону. Для прикладу, збільшити гальмівний момент хоча б до 4 кгм. Результати імітаційного моделювання натягу стрічки за збільшеного гальмівного моменту наведено на рис. 5.

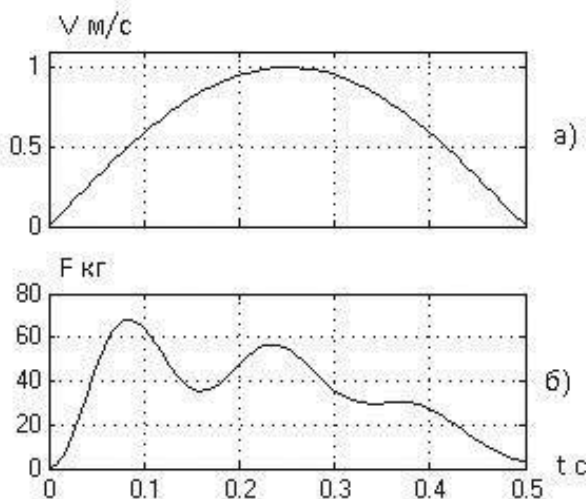


Рис. 5. Перехідні процеси зміни натягу стрічки за збільшеного гальмівного моменту

Як видно з рисунка, збільшення гальмівного моменту усуває провисання стрічки на ділянці. Порівнюючи рис. 5 і рис. 4, можна зробити висновок, що величина гальмівного моменту не впливає на загальний вигляд перехідної характеристики стрічкоживильного пристрою. Однак збільшення гальмівного моменту спричиняє збільшення амплітуди натягу із 52 до 68 кг, що може викликати обрив стрічки.

Висновки. Розроблено математичну модель стрічкоживильного пристрою, яка описує залежність натягу на ділянці у перехідних режимах за дискретної подачі матеріалу. Запропоновано структурну схему імітаційної моделі натягу стрічки в пакеті Simulink, яка паралельно розраховує і будує перехідні характеристики. Побудовано перехідні характеристики натягу за ступеневої та синусоїдальної швидкостей переміщення каретки. Встановлено, що натяг є коливним, затухаючим і можливе провисання стрічки на ділянці, що негативно впливає на якість готової продукції. Проаналізовано вплив зміни параметрів системи і встановлено, що система рулон — ділянка стрічки — каретка є досить чутлива до варіації параметрів, зокрема до зміни жорсткості матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошак І. А. Автоматизований електропривід поліграфічних машин : підруч. / І. А. Волошак, І. Т. Стрепко. — Львів : Фенікс, 1998. — 240 с.
2. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Моделювання, управління / Б. В. Дурняк. — К. : Атика, 2002. — 293 с.
3. Дурняк Б. В. Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами / Б. В. Дурняк, О. В. Тимченко. — К. : Ву «Просвіта», 2003. — 232 с.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения : Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. — М. : Солон-Пресс, 2002. — 242 с.

5. Луцків М. М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами / М. М. Луцків. — Львів : Фенікс, 2000. — 152 с.
6. Луцків М. М. Математичне моделювання і комп'ютерне симулювання електромеханічних та стрічкопровідних систем / М. М. Луцків, І. М. Хмельницька. — Львів : Укр. акад. друк., 2010. — 172 с.
7. Ярема С. М. Видавничо-поліграфічні технології та обладнання / С. М. Ярема. — К. : Ун-т «Україна», 2003. — 367 с.

MODELLING OF A TAPE-FEEDING DEVICE WITH MATERIAL DISCRETE FEEDING

B. V. Durnyak, M. M. Lutskiv, Ya. M. Uhryn, I. M. Lyakh

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

The problem of modelling of a tape-feeding device has been suggested for unwinding a material roll with the discrete feeding to the press input for further processing. The results of the simulation have been presented.

Keywords: *a tape-feeding device, modelling.*

Стаття надійшла до редакції 11.08.2016.