

УДК 681.5.015+62.52

Б. В. Дурняк, І. М. Хмельницька*Українська академія друкарства***М. М. Луцків***Інститут поліграфії і папірництва Лодзької політехніки***МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ ДІЛЯНКИ
ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ**

Розглядається задача побудови математичної моделі натягу стрічки при наявності простоту швидкості на ділянці у нестационарному режимі, обумовленого зміною швидкості руху стрічки у широких межах, подано результати комп'ютерного симулювання.

Стрічкопровідні системи широко застосовуються в паперовій, текстильній, хімічній, поліграфічній та інших галузях промисловості і на ротаційних багатосекційних машинах, у яких на рухомому стрічковому матеріалі послідовно виконуються різні технологічні операції. Для підвищення точності їх виконання стрічкопровідні системи цих машин обладнуються різними системами автоматичного управління, наприклад, системи автоматичного управління швидкості і натягу стрічкового матеріалу, автоматичного суміщення технологічних операцій та іншими. Швидкість руху стрічки у рулонних ротаційних друкарських машинах сягає 10–15 м/с, що ускладнює роботу системи автоматичного управління. Машину запускають на повільній швидкості (близько 0,05 м/с) і з повним темпом поступово розганяють до робочої швидкості. Діапазон зміни швидкості може сягати навіть 1:200 [4, 6–7].

Отже, машина і стрічкопровідна система може працювати деякий час у нестационарному режимі, обумовленому зміною швидкості. При цьому параметри стрічкопровідної системи (коефіцієнт передачі і стала часу) можуть змінюватись у часі в ширших межах (у сотні разів). З практичного досвіду рулонних друкарських машин відомо, що при запуску машини значно погіршується якість продукції, може з'явитися бракована продукція і обриви стрічкового матеріалу, що призводить до аварійного режиму і вимушеної зупинки машини, втрати робочого часу і матеріалів. Традиційні системи автоматичного регулювання натягу і суміщення кольорів не здатні забезпечити роботу машини у нестационарному режимі роботи. Доволі часто ці системи виключають на час виведення машини на робочу швидкість. Це обумовлено тим, що наявні системи синтезовані як стаціонарні і не враховують зміни параметрів стрічкопровідної системи у широких межах.

Моделі стрічкопровідних систем, побудовані за умови, що швидкість руху стрічки є сталою [4, 6–7], тому вони є неповними, що обмежує їх

можливості та унеможливило створення ефективних систем автоматичного управління стрічкопровідними системами. Отож виникає актуальна проблема побудови математичної моделі натягу стрічки при наявності приросту швидкості на ділянці у нестационарному режимі, обумовленого зміною швидкості руху стрічки.

Математичні моделі стрічкопровідних систем будуються на основі лінійного диференціального рівняння деформації (натягу) рухомої стрічки на ділянці, якщо швидкість руху стрічкового матеріалу є сталою [4, 6–7]. Отож ці моделі не можуть описати динаміку роботи стрічкопровідної системи у нестационарному режимі роботи під час пуску машини і виведення на робочу швидкість, що обмежує їх можливості.

У багатьох публікаціях зазначається, що стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин є складними системами зі змінними параметрами, якими є лінійна швидкість руху стрічки, радіус і момент інерції рулону, з якого розмотується або на який намотується стрічковий матеріал. Окремі механізми й елементи стрічкопровідних систем описують диференціальними рівняннями, які містять їх параметри, що фігурують як сталі величини (наприклад швидкість V , момент інерції J , радіус R і т. п.) [4, 6]. Зауважимо, що в теорії автоматичного керування до класу об'єктів і систем зі змінними параметрами, які ще називають нестационарними, належать об'єкти, які описуються лінійними диференціальними рівняннями у повних похідних, в яких коефіцієнти є функціями часу, тобто змінними у часі. Отож вищезазначені моделі елементів стрічкопровідних систем не належать до моделей зі змінними параметрами, тому що вони описані диференціальними рівняннями зі сталими коефіцієнтами (ці параметри V , J , R і т. п. не є функціями часу).

У джерелах [4, 6] подано ряд структурних схем моделей елементів стрічкопровідних систем, у яких ті чи інші параметри формально представлені блоками як функціями окремих змінних, значення яких можна задавати при моделюванні. Наведено графіки сімейств перехідних характеристик моделей для окремих заданих значень параметрів. Однак вони не повною мірою характеризують їх динамічні властивості як нестационарних об'єктів. Вищезазначені моделі не належать до нестационарних, тому що жоден з розглянутих параметрів і (коефіцієнтів) не є функціями часу.

У роботі авторів [5] опрацьовано математичну модель натягу нестационарної стрічкопровідної ділянки у вигляді диференційованого рівняння у повних похідних, у якому стала часу ділянки є функцією часу. Побудовано структурну схему нестационарної моделі ділянки, що є зручною для аналогового і цифрового моделювання. На основі результатів комп'ютерного симулювання встановлено, що перехідна характеристика натягу стрічки нестационарної моделі значно відрізняється від стаціонарної, а час перехідного процесу, який визначає інерційність ділянки залежить від темпу наростання швидкості.

З вищевикладеного випливає актуальність поставленої задачі розвитку математичної моделі натягу стрічкопровідної ділянки при нестационарному режимі роботи.

Метою роботи є опрацювання моделі стрічкопровідної ділянки з урахуванням коефіцієнта передачі за швидкістю при нестационарному режимі роботи, побудова симулятора й аналіз динамічних властивостей.

Розглядаємо стрічкопровідну ділянку з натягнутою стрічкою, яка приводиться в рух двома парами стрічкопровідних циліндрів [4, 7]. При побудові математичної моделі натягу стрічки на ділянці при нестационарному режимі роботи зробимо такі основні припущення [5, 7]:

розтяг матеріалу відбувається у межах пружної деформації, яка є лінійною;

рухома стрічка натягнута і не провисає на ділянці;

швидкість руху стрічкопровідних циліндрів є однаковою і може змінюватись у широких межах;

відсутнє проковзування стрічкового матеріалу в зонах контакту ведучих пар циліндрів;

основними збуреннями є натяг стрічки на вході ділянки і приріст швидкості руху стрічки;

нехтуємо вагою стрічки та її аеродинамічними властивостями на ділянці; не надаємо значення масі стрічкопровідних циліндрів.

Якщо лінійна швидкість руху стрічки є сталою, то натяг стрічки на ділянці описується лінійним диференціальним рівнянням натягу [4, 7]:

$$T \frac{dF}{dt} + F = F_0 + K_v \Delta V, \quad (1)$$

де F_0 — натяг стрічки на вході ділянки, F — натяг стрічки на ділянці, ΔV — приріст швидкості стрічки, K_v — коефіцієнт передачі ділянки за швидкістю, T — стала часу ділянки стрічки (час проходження шляху між двома парами стрічкопровідних циліндрів).

Стала часу ділянки стрічки обернено пропорційна до швидкості:

$$T = \frac{L}{V}, \quad (2)$$

де L — відстань між циліндрами, V — лінійна швидкість стрічки.

При роботі машини швидкість стрічки може змінюватись у широких межах. Наприклад, при запуску машини вона змінюється від нуля до номінальної $[0 \leq V \leq V_H]$. Згідно з виразом (2) стала часу змінюватиметься від безмежності до номінальної сталої часу $[\infty \leq V \leq V_H]$. Така велика зміна сталої часу ділянки безумовно впливатиме на динаміку ділянки стрічки, що обумовлює її розгляд як об'єкта зі змінними параметрами.

Коефіцієнт передачі ділянки стрічки за швидкістю:

$$K_v = \frac{E_c}{V}, \quad (3)$$

де E_c — пружність стрічки в поздовжньому напрямку.

Отже, стрічкопровідна ділянка має два параметри (T і K_v), які залежать від швидкості, що обумовлює її розгляд як об'єкта зі змінними параметрами (нестационарного об'єкта).

На основі теорії нестационарну систему управління [8], припустивши, що стала часу ділянки і коефіцієнт передачі є змінними у часі параметрами за виразом (1), опишемо ділянку рухомої стрічки, як нестационарний об'єкт, за допомогою диференціального рівняння у повних похідних вигляду:

$$T(t) \frac{dF}{dt} + F = F_0 + K_v(t) \Delta V, \quad (4)$$

де функція $T(t)$ та $K_v(t)$ і її похідні є неперервними.

Аналіз ділянки стрічки зі змінними параметрами при детермінованих діях зводиться до розв'язку диференціального рівняння (4) зі змінними коефіцієнтами [1–2].

Розділивши рівняння (4) на $T(t)$, одержимо:

$$\frac{dF}{dt} = a(t)(F + F_0) + \frac{E_c}{L} \Delta V, \quad (5)$$

де $a(t) = \frac{1}{T(t)}$ — змінний коефіцієнт.

Характеристичне рівняння (5):

$$\alpha(t) = a(t) = 0, \quad (6)$$

звідси корінь $\alpha(t) = a(t)$.

Розв'язком однорідного рівняння за початкових умов $t_0 = 0$, $F(t) = F_0$ буде:

$$F(t) = F_0 \exp\left(\int_0^t a(t) dt\right). \quad (7)$$

При $F_0 = 1$ одержимо нормований фундаментальний розв'язок:

$$\Phi(t, 0) = \exp\left(\int_0^t a(t) dt\right). \quad (8)$$

Розв'язок рівняння при наявності збурень:

$$F(t, 0, F_0) = \exp\left(\int_0^t a(\tau) d\tau\right) \left[F_0 + \int_0^t \frac{E_c}{L} \Delta V(\tau) \exp\left(-\int_0^\tau a(\tau) d\tau\right) d\tau \right]. \quad (9)$$

Інтеграл вимірюється в квадратурах тільки в окремих випадках при простих виразах для функцій $a(t)$ і $\Delta V(t)$. Отож у теорії автоматичного управління при аналізі нестационарних систем зазвичай використовують методи, які ґрунтуються на аналоговому і цифровому моделюванні [8]. Для цього запишемо диференціальне рівняння (4) в операторній формі:

$$T(t)F_p + F = F_0 + K_v(t)\Delta V. \quad (10)$$

Звідси одержимо розв'язок в операторному вигляді:

$$F(t) = \frac{1}{T(t)p + 1} [F_0(t) + K_v(t)\Delta V(t)], \quad (11)$$

де p — символ диференціювання.

З виразу видно, що натяг стрічки на ділянці являє собою результат застосування деякого інтегрального оператора (вираз, що знаходиться перед дужками).

Відповідно до символної алгебри [8] рівняння натягу (4) зі змінними параметрами або відповідне йому рівняння у символному вигляді (11) можна подати структурною схемою, у якій паралельно можна враховувати наявність змінних параметрів (2) і (3), яка є зручною для цифрового моделювання.

Складання програми для цифрового моделювання стрічкопровідної ділянки у нестационарному режимі роботи є трудомістким процесом і вимагає відповідного рівня програмування. Для спрощення цієї задачі пропонується її розв'язувати методом комп'ютерного симулювання за допомогою програмного пакета MATLAB-Simulink, який є доволі вдалим поєднанням можливостей математики з останніми досягненнями в галузі обчислювальної техніки і програмування [3]. MATLAB-Simulink є мовою високого рівня, у якому реалізується принцип об'єктно-орієнтованого (візуального) програмування, відповідно до якого користувач на екрані монітора з бібліотеки операційних блоків у вікні моделі створює графічну модель, за якою здійснюється комп'ютерне симулювання.

На основі вищевикладеного за виразом (11) розв'язку диференціального рівняння з урахуванням змінних у часі параметрів (2) і (3) у Simulink побудовано симулятор стрічкопровідної ділянки зі змінними параметрами. Вікно симулятора наведено на рис. 1.

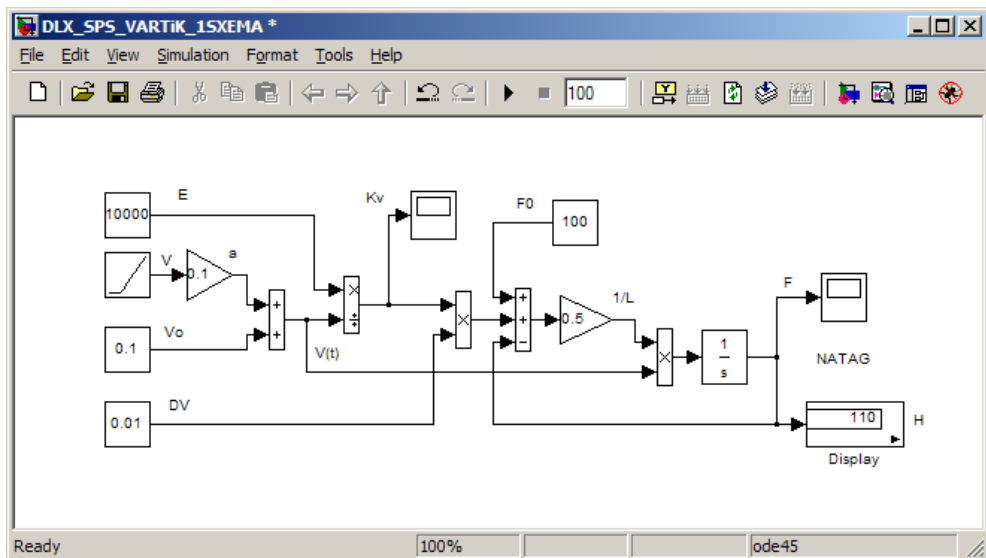


Рис. 1. Вікно симулятора стрічкопровідної ділянки зі змінними параметрами

Для побудови симулятора використано операційні блоки інтегрування, множення і додавання. На вході симулятора блоки Constant задають натяг стрічки на вході ділянки, пружність ділянки, приріст швидкості DV (збурення) і початкову швидкість V_0 . Блок Ramp задає бажаний темп розгону стрічки. Довжина ділянки задається у діалоговому вікні другого блока Gain. Візуалізація результатів симулювання здійснюється блоком Scope і Display.

Мета комп'ютерного симулювання — ілюстрування запропонованого підходу до аналізу динаміки натягу ділянки стрічки у нестационарному режимі, якщо є ступеневе збурення швидкості.

Для прикладу здійснювалося комп'ютерне симулювання натягу стрічки на ділянці при розгоні зі сталим прискоренням $V(t) = V_0 + at$. Задавалися такі дані: довжина ділянки стрічки $L = 2$ м, приріст швидкості $\Delta V = 0,01$ м/с, жорсткість стрічки $E = 10000$ Н.

Результати симулювання подано на рис. 2, як залежність коефіцієнта передачі ділянки зі швидкістю K_v від часу для трьох різних темпів наростання швидкості $a = 0.1, 0.2, 0.05$ м/с.

Отже, при збільшенні темпу наростання швидкості крива коефіцієнта передачі зміщується донизу, тобто коефіцієнт передачі зменшується. Його початкове значення складає 10^4 Н з часом розгону змінюється до номінального

$$\text{значення } K_v = \frac{E}{V_H}.$$

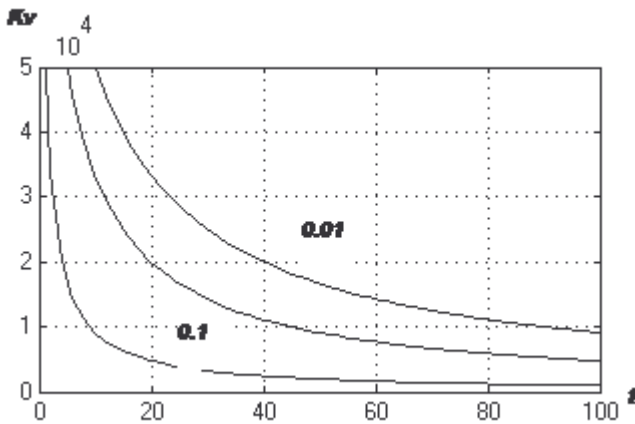


Рис. 2. Залежність коефіцієнта передачі ділянки за швидкістю для різних темпів наростання швидкості

Результати другого етапу симулювання подано на рис. 3, як перехідні характеристики натягу нестаціонарної ділянки для різних темпів наростання швидкості при ступеневій дії її приросту $\Delta V = 0.01$ Н/с.

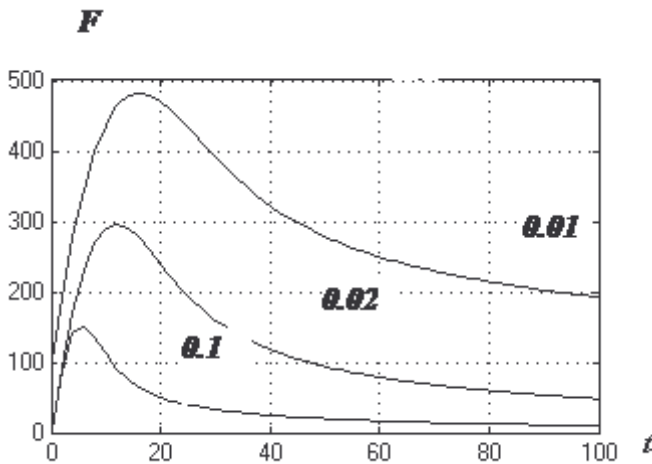


Рис. 3. Перехідні характеристики нестаціонарної стрічкопровідної ділянки для різних темпів наростання швидкості

Перехідні характеристики натягу стрічки на ділянці мають значне перерегулювання. Спочатку натяг стрічки стрімко зростає, досягає свого максимального значення і поступово прямує до усталеного значення, яке залежить від робочої швидкості:

$$F = K_v(t)\Delta V = \frac{E}{V_p} \Delta V. \quad (12)$$

Максимальне відхилення натягу залежить від темпу наростання швидкості і складає 151, 297, 482 Н. Що меншим буде темп наростання швидкості, то більшою стане амплітуда максимального відхилення.

З виробничого досвіду відомо, що під час пуску і виведення на робочу швидкість рулонних друкарських машин доволі часто можуть бути обриви стрічкового матеріалу. Однією з причин обриву стрічки може бути збільшення інерційності стрічкопровідної ділянки і значні збільшення натягу при розгоні машини. Якщо систему автоматичного регулювання натягу синтезовано за умови, що стрічкопровідна ділянка є стаціонарним об'єктом регулювання, а при розгоні машини ділянка стає нестационарним об'єктом, то у системі можуть виникати значні перерегулювання натягу, що може призвести до обриву стрічкового матеріалу.

Отже, стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин є складними системами, параметри яких залежать від швидкості роботи машини (від часу), які значно впливають на їх динамічні властивості. Існуючі математичні моделі стрічкопровідних систем є стаціонарними, побудовані при певних припущеннях, не враховують зміну швидкості при запуску і розгоні машини, що обмежує їх можливості при аналізі й синтезі ефективних систем управління ними. Отож виникає актуальна проблема побудови математичної моделі натягу стрічки у нестационарному режимі роботи. Запропоновано математичну модель стрічкопровідної ділянки з врахуванням зміни коефіцієнта передачі при нестационарному режимі роботи на основі диференціального рівняння у повних похідних. Побудовано симулятор стрічкопровідної ділянки зі змінними параметрами, який здійснює моделювання і візуалізацію потрібних параметрів і змінних, що є зручним для широкого аналізу і практичних застосувань. Результати симулювання подано у вигляді кривих залежності коефіцієнта передачі ділянки від швидкості для різних темпів наростання швидкості, який може змінюватись у тисячі разів. Перехідні характеристики натягу стрічки на ділянці спочатку стрімко зростають, досягають свого максимального значення і поступово прямують до усталеного значення та залежать від темпу наростання швидкості. Динамічні властивості стрічкопровідної ділянки у нестационарному режимі роботи значною мірою кількісно і якісно відрізняються від властивостей у стаціонарному режимі роботи.

1. Алферов С. М. О приближенном интегрировании линейных дифференциальных уравнений с переменным коэффициентом / С. М. Алферов // Вопросы теории автоматического регулирования. — 1956. — С. 25–34. 2. Василенко В. А. Инвариантные оптимальные линейные системы с переменными параметрами / В. А. Василенко // Автоматическое управление и вычислительная техника. — 1961. — Вып. 4. — С. 258–268. 3. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учеб. курс / А. Гулятьев. — СПб. : Питер, 2000. — 432 с. 4. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Моделювання управління / Б. В. Дурняк. — К. : Атака, 2002. — 292 с. 5. Дурняк Б. В. Математична модель нестационарної стрічкопровідної ділянки / Б. В. Дурняк, М. М. Луцків, І. М. Хмельницька // Поліграфія і видавнича справа. — № 2 (48). — 2008. — С. 123–131. 6. Дурняк Б. В. Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами / Б. В. Дурняк, О. В. Тимченко. —

К. : Видавничий центр «ПРОСВІТА», 2003. — 232с. 7. Луцків М. М. Системи автоматичного керування ротаційними машинами / М. М. Луцків. — Львів : Укр. акад. друкарства; Фенікс, 2000. — 152 с. 8. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. — М. : Машиностроение, 1989. — Кн. — 3. Ч. 1. — 607 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕНТОПРОВОДНОГО УЧАСТКА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Рассматривается задача построения математической модели натяга ленты при наличии прироста скорости на участке в нестационарном режиме, обусловленного изменением скорости движения ленты в широких пределах, поданно результаты компьютерной симуляции.

MATHEMATICAL MODEL OF STRICHKOPROVIDNOY OF AREA IS AT NON-STATIONARY OFFICE HOURS

The task of construction of mathematical model of natyagou of ribbon is examined at presence of increase of speed on an area in the unstationary mode, motion of ribbon in wide scopes conditioned by the change of speed, given results of computer simulation.

Стаття надійшла 17.03.09

УДК 655.59+881.3

I. В. Піх

Українська академія друкарства

ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЧНОГО ФОРМАТУВАННЯ РЯДКА

Розроблено та оптимізовано графічну ієрархічну модель пріоритетного впливу множини параметрів на процес та якість автоматичного форматування текстових рядків книжкових видань з урахуванням варіантів різної щільності тексту.

Переважає більшість видань художньої літератури при наявності алгоритмів (та відповідних їм програм) автоматичного форматування тексту, з урахуванням за потреби варіантів різної щільності, може бути підготовлена до тиражування за скороченою схемою, яка не передбачає додаткового опрацювання сформованого тексту оператором-верстальником. Такий варіант вимагає чіткішого встановлення множини критеріїв, які вносять у відповідні алгоритми, з одночасним визначенням пріоритетності їх впливу на процес та якість автоматичного форматування рядків книжкових видань з урахуванням варіантів різної щільності тексту.