

всіх можливих напружених станів тіла тільки такі задовольняють умови суцільності деформацій, для яких теж енергія W_{\min} .

Звідси, враховуючи формули (11), (12), можна зробити висновки:

а) значення роботи $A(12)$ і енергії $W(11)$ залежать від функцій $k_i(E, \nu)$, тобто від коефіцієнтів n_1, n_2, n_3 перед членами функцій (1), (3);

б) зміна коефіцієнтів n_1, n_2, n_3 перед членами функцій (1), (3) приводить до зміни значень функцій (11), (12) по абсолютній величині;

в) якщо функції переміщень (1), (3) не змінювати, то зміна коефіцієнтів n_1, n_2, n_3 перед членами цих функцій може бути використана для мінімізації формул (11), (12).

На основі наведених висновків можна сформулювати наслідок із принципу Лагранжа: із всіх можливих систем переміщень дійсними будуть такі, в яких комбінація коефіцієнтів, що враховують постійні Ламе, надасть мінімального значення питомій потенціальній енергії, якщо задовольняються всі умови теорії пружності.

Якщо функції переміщень не задовольняють виконання граничних умов (6), то такий розв'язок є, очевидно, наближеним. У такому випадку модифікація систем переміщень, тобто зміна коефіцієнтів n_1, n_2, n_3 перед членами функцій, може привести до виконання умов (6).

1. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М., 1980.
2. Лурье А.И. Некоторые контактные задачи теории упругости // ПММ. 1941. Т. V. Вып.3. С.45-48.
3. Папкович П.Ф. Теория упругости. М., 1939.
4. Neuber H. Ein neuer Ansatz zur Losung raumlicher Probleme der Elastizitatstheorie // ZAMM. 1934. Bd.14. № 4. P.203-306.
5. Hertz H. Gesammelte werke. 1985. Bd.1. P.179-195.
6. Беляев Н.М. Труды по теории упругости и пластичности. М., 1957.
7. Подгорный А.Н., Марченко Г.А., Пустынников В.И. Основы и методы прикладной теории упругости. К., 1981.

УДК 678.067. 5

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ ДІЛЯНКИ ФЛЕКСОГРАФСЬКОЇ ДРУКАРСЬКОЇ МАШИНИ З ПРИВІДНИМИ ВАЛИКАМИ

© Дурняк Б.В., 1999

Українська академія друкарства, кафедра «Автоматизація поліграфічного виробництва»

Досліджується нестационарна модель стрічкопровідної системи із запізненням флексографської друкарської машини з врахуванням приводу обвідних валиків. Знайдено аналітичні залежності натягу та швидкості на останній ділянці системи від параметрів окремих вузлів та нестационарного об'єкта – рулону. Моделюванням проведено аналіз системи.

Врахування властивостей окремих вузлів систем автоматичного регулювання сили натягу задрукуваної стрічки дозволяє створити ефективні системи з високою якістю та продуктивністю роботи флексографської друкарської машини [1]. Розмотувальна секція друкарської машини містить ряд вузлів, до яких насамперед належить рулон, напрямні валики, які встановлюються між рулоном та першою друкарською секцією флексографської машини та стрічку. Дослідження властивостей такої системи як нестационарного об'єкта у відомій літературі [2] відсутнє. В той же час окремі елементи стрічкопровідної системи проаналізовані в [3, 4]. Дослідження системи цих елементів дозволяє покращити якість систем регулювання натягу флексографської друкарської машини.

Повна функціональна схема досліджуваної моделі стрічкопровідної системи флексографської друкарської машини показана на рис. 1. Вона містить рулон, послідовну систему валиків з приводом та стрічку, яка рухається повз них.

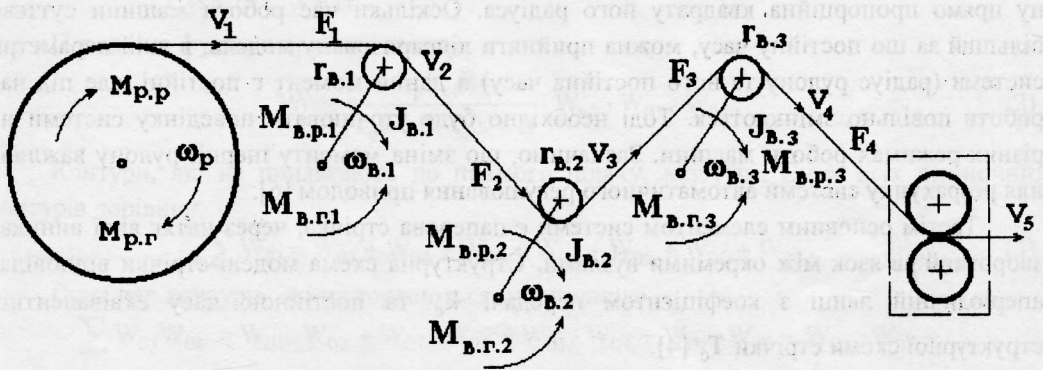


Рис. 1. Функціональна схема моделі системи рулон — стрічкопровідна ділянка з трьома напрямними валиками.

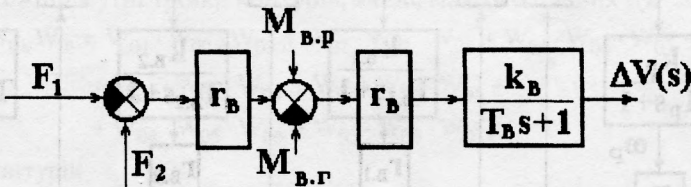


Рис. 2. Структурна схема моделі напрямного валика з індивідуальним приводом.

Для аналізу системи скористаємось структурними схемами окремих вузлів флексографської друкарської машини, які визначені в [3, 4]. Розглянемо спочатку структурну схему напрямного валика. Введемо такі позначення (рис. 2): $M_{v,p}$ — рушійний момент, прикладений до напрямного валика, $M_{v,r}$ — момент статичного опору, який визначається натягом стрічки, J_v — момент інерції обертчастих частин приводу і напрямного валика, приведений до вала напрямного валика, ω_v — швидкість обертання напрямного валика, α_v — коефіцієнт, який враховує сили тертя в механічній системі приводу і технологічні навантаження напрямного валика, r_v — радіус циліндра валика,

F_2, F_1 — натяг після валика i до нього. Параметри структурної схеми валика з індивідуальним приводом визначаються як $k_B = 1$ та $T_B = \alpha_B / J_B$ [5].

Аналогічна наведеній структурна схема розмотуваного рулону [3]. Для неї введено позначення: $M_{p,p}, M_{p,r}, R$ — відповідно, рушійний, гальмівний моменти та радіус рулону в поточний момент часу, k_p, T_p — відповідно, коефіцієнт передачі та постійна часу еквівалентної структурної схеми рулону. Зауважимо, що в першому наближенні постійна часу рулону T_p пропорційна моменту інерції рулону, приведену до його осі. Тобто момент інерції дорівнює сумі моментів інерції приводу рулону, що залишається незмінним, та самого розмотуваного рулону, який під час роботи зменшує радіус від максимального значення до мінімального. Останній визначається технологічними вимогами. Вважаючи, що рулон однорідний, отримаємо $T_p = kR^2$, тобто постійна часу рулону прямо пропорційна квадрату його радіуса. Оскільки час роботи машини суттєво більший за цю постійну часу, можна прийняти лінеаризовану модель, в якій параметри системи (радіус рулону та його постійна часу) в даний момент є постійні, але під час роботи повільно змінюються. Тоді необхідно буде уточнювати поведінку системи на різних режимах роботи машини. Зазначимо, що зміна моменту інерції рулону важлива для розрахунку системи автоматичного регулювання приводом [6].

Третім основним елементом системи є паперова стрічка, через натяг якої виникає зворотний зв'язок між окремими вузлами. Структурна схема моделі стрічки відповідає аперіодичній ланці з коефіцієнтом передачі k_c та постійною часу еквівалентної структурної схеми стрічки T_c [4].

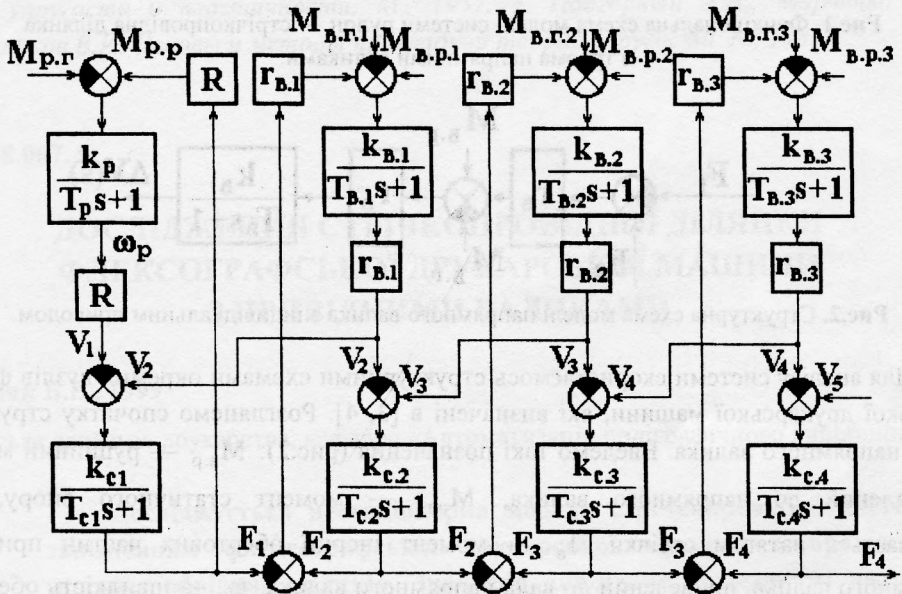


Рис.3. Структурна схема моделі системи рулон — стрічкопровідна ділянка з трьома напрямними валиками.

На основі функціональної схеми моделі системи рулон — стрічкопровідна ділянка з трьома напрямними валиками структурної схеми обвідного валика (рис.1), розмотуваного рулону та стрічкового матеріалу складено структурну схему моделі (рис.3) з врахуванням зворотних зв'язків, які виникають за рахунок натягу стрічки.

За формулою Мезона визначимо передатну функцію моделі системи по гальмівному моменту рулону. Запишемо відповідні передатні функції окремих контурів.

$$W_{01} = \frac{k_p k_{cl} R^2}{(T_{p,s} + 1)(T_{cl,s} + 1)}; W_{02} = \frac{k_{B1} k_{c2} r_{B1}^2}{(T_{B1,s} + 1)(T_{c2,s} + 1)}; W_{03} = \frac{k_{B2} k_{c3} r_{B2}^2}{(T_{B2,s} + 1)(T_{c3,s} + 1)};$$

$$W_{04} = \frac{k_{B3} k_{c4} r_{B3}^2}{(T_{B3,s} + 1)(T_{c4,s} + 1)}; W_{05} = \frac{k_{B1} k_{c1} r_{B1}^2}{(T_{B1,s} + 1)(T_{c1,s} + 1)}; W_{06} = \frac{k_{B2} k_{c2} r_{B2}^2}{(T_{B2,s} + 1)(T_{c2,s} + 1)}; \quad (1)$$

$$W_{07} = \frac{k_{B3} k_{c3} r_{B3}^2}{(T_{B3,s} + 1)(T_{c3,s} + 1)};$$

Передатна функція прямого шляху

$$W_1 = \frac{k_p k_{cl} R}{(T_{p,s} + 1)(T_{cl,s} + 1)} \cdot W_{02} \cdot W_{03} \cdot W_{04}. \quad (2)$$

Конттури, які не прилягають до прямого шляху, відсутні. Сума всіх одиночних контурів дорівнює

$$\sum W_{0j} = W_{01} + W_{02} + W_{03} + W_{04} + W_{05} + W_{06} + W_{07}. \quad (3)$$

Сума пар контурів, які не торкаються один одного

$$\begin{aligned} \sum W_{0j} W_{0k} &= W_{01} \cdot W_{02} + W_{01} \cdot W_{03} + W_{01} \cdot W_{04} + W_{01} \cdot W_{06} + W_{01} \cdot W_{07} + \\ &+ W_{02} \cdot W_{03} + W_{02} \cdot W_{04} + W_{02} \cdot W_{07} + \\ &+ W_{03} \cdot W_{04} + W_{03} \cdot W_{05} + W_{04} \cdot W_{06}. \end{aligned} \quad (4)$$

У системі також присутні трійки контурів, які не мають спільних дуг або вершин

$$\begin{aligned} \sum W_{0j} W_{0k} W_{0l} &= W_{01} \cdot W_{02} \cdot W_{03} + W_{01} \cdot W_{03} \cdot W_{04} + W_{01} \cdot W_{06} \cdot W_{07} + \\ &+ W_{02} \cdot W_{03} \cdot W_{04} + W_{03} \cdot W_{04} \cdot W_{05} + \\ &+ W_{04} \cdot W_{05} \cdot W_{06} + W_{05} \cdot W_{06} \cdot W_{07}, \end{aligned} \quad (5)$$

а також четвірка контурів

$$\sum W_{0j} W_{0k} W_{0l} W_{0m} = W_{01} \cdot W_{02} \cdot W_{03} \cdot W_{04}. \quad (6)$$

З врахуванням введених позначень (1)-(6) передатна функція системи по натягу на останній ділянці F_4 від гальмівного моменту рулону $M_{p,r}$ дорівнює

$$\frac{F_4(s)}{M_{p,r}(s)} = \frac{W_1}{1 - \sum W_{0j} + \sum W_{0j} W_{0k} - \sum W_{0j} W_{0k} W_{0l} + \sum W_{0j} W_{0k} W_{0l} W_{0m}}. \quad (7)$$

З даного виразу легко визначити статичний коефіцієнт передачі системи по гальмівному моменту рулону

$$k_{F_4(M_{p,r})} = \left. \frac{F_4(s)}{M_{p,r}(s)} \right|_{s=0}$$

Аналогічно з (7) можна визначити статичний коефіцієнт передачі по гальмівному або рушійному моменту будь-якого валика $k_{F_4(M_{в.г.i})}$, $k_{F_4(M_{в.р.i})}$, $i=1,2,3$ та завдання швидкості на останній ділянці V_5 .

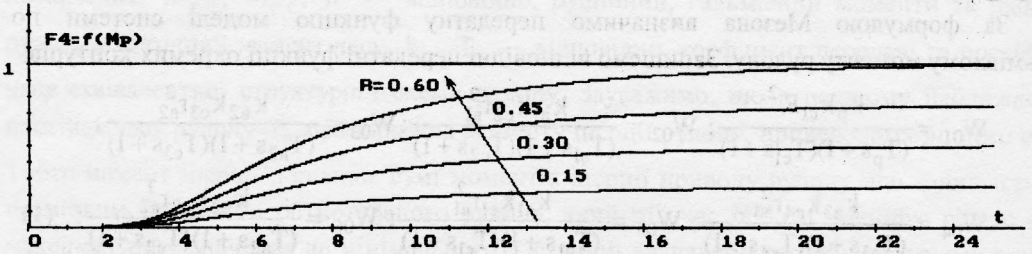


Рис.4. Залежність натягу на четвертій ділянці від зміни гальмівного моменту рулону $F_4 = f(M_{p,г})$ для різних значень радіуса рулону R .

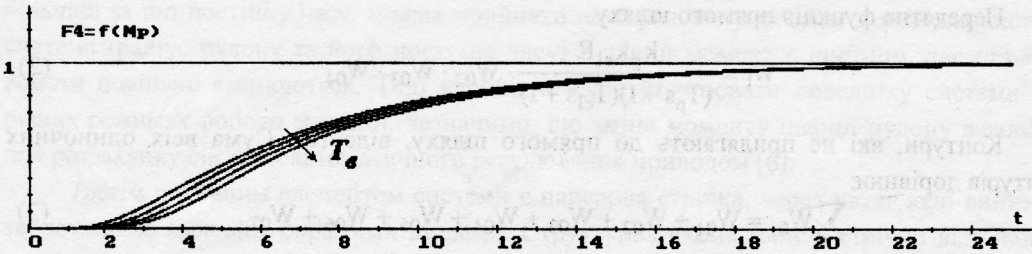


Рис.5. Залежність натягу на четвертій ділянці від зміни гальмівного моменту рулону $F_4 = f(M_{p,г})$ для різних значень постійної часу валиків T_b .

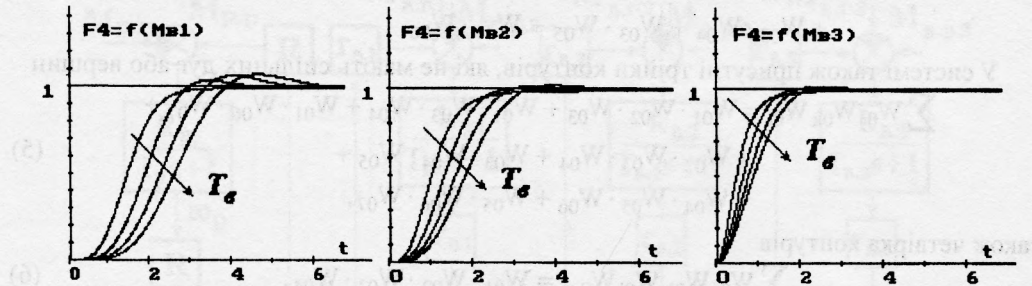


Рис.6. Залежність натягу на четвертій ділянці від зміни гальмівного моменту відповідного валика $F_4 = f(M_{в.г.i})$ для різних значень постійної часу валиків T_b .

Знайдемо перехідну характеристику моделі стрічкопровідна ділянка — система напрямних валиків. Результати моделювання системи проводились при типових значеннях параметрів $r_{в.1} = r_{в.2} = r_{в.3} = 0.03\text{м}$, $k_{в.1} = k_{в.2} = k_{в.3} = 1$, $J_{в.1} = J_{в.2} = J_{в.3}$, $k_{с1} = k_{с2} = k_{с3}$ і $T_{с1} = T_{с2} = T_{с3}$ та показані на рис.4 і 5 для залежності натягу на четвертій ділянці від зміни гальмівного моменту рулону при зміні параметрів рулону і постійної часу валиків, на рис.6 для залежності натягу на четвертій ділянці від зміни гальмівного моменту першого, другого і третього напрямних валиків $F_4 = f(M_{в.г.1})$,

$F_4 = f(M_{в.г.2}), F_4 = f(M_{в.г.3})$, на рис.7 для залежності натягу на четвертій ділянці від зміни швидкості $F_4 = f(V_5)$ для різних значень постійної часу валиків T_v , тобто від пустотілих до заповнених.

У першому наближенні система, яку аналізуємо, може бути подана як нестационарна система із запізненням. Як показує аналіз перехідних процесів (рис.6), при виконанні ряду умов система автоматичного регулювання може стати нестійкою, причому ця особливість проявляється зі збільшенням кількості обвідних валиків. Однак ситуація покращується через можливість виділення лише одного нестационарного об'єкта, яким є рулон. Одночасно параметри інших механічних вузлів та стрічки залишаються практично незмінними, що дозволяє при моделюванні системи розглядати її як квазістационарну. Тому застосовано метод "заморожування" параметрів нестационарного об'єкта, причому моделювання системи проведено для критичних значень параметрів – з практики відомо, що такими є малі значення радіуса рулону.

Зауважимо, що натяг та швидкість на останній ділянці практично не залежать від параметрів рулону, а лише від параметрів валиків. У той же час, порівнюючи результати рис.6 з результатами моделювання стрічкопровідної системи без врахування рулону, видно, що зміна постійної часу рулону та валиків змінює характер перехідного процесу системи від аперіодичного на останній ділянці до близько коливного на першій. Тому застосування інерційних амортизуючих пристроїв для зменшення вказаного впливу обов'язкове на першій же ділянці після рулону.

Як показав аналіз, натяг і швидкість руху стрічки в усталеному режимі на ділянці з обвідними валиками не залишаються постійними, а змінюються від валика до валика. Натяг стрічки безпосередньо після рулону при відсутності приводів валиків залежить від співвідношення швидкостей друкарської секції і розмотуваного рулону, а також параметрів стрічки, а на інших ділянках дискретно збільшується, оскільки втрати за рахунок тертя в підшипниках валиків переважаються рухомою стрічкою.

Отже, підтримання необхідного натягу по всій довжині стрічки на ділянці між рулоном і першою друкарською секцією при наявності обвідних (без приводу) валиків здійснити неможливо. Тому в тих випадках, коли зміна натягу по довжині стрічки виявляється більшою за допустиму, необхідно змінити технологічну схему проводки стрічки, або частину валиків виконати привідними, для того, щоб електропривід валиків забезпечував компенсацію тертя в підшипниках і моменту інерції валиків. Таким валиком найкраще зробити перший валик системи, яка аналізується.

Результати моделювання показують, що в замкнутій по натягу стрічкопровідній системі спостерігається швидке загасання коливаль. Зміни натягу стрічки на окремих

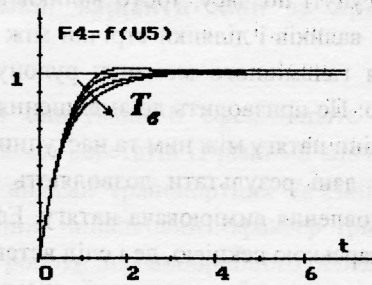


Рис.7. Залежність натягу на четвертій ділянці від зміни швидкості $F_4 = f(V_5)$ для різних значень постійної часу валиків T_v .

ділянках зсунуті по часу, тобто валики вносять запізнення, яке є складною функцією параметрів валиків і ділянки стрічки між ними. Ефект запізнення пояснюється тим, що збільшення гальмівного моменту рулону призводить до зміни натягу безпосередньо після нього. Це призводить до зменшення швидкості обертання найближчого до рулону валика і зміни натягу між ним та наступним валиком і т.д.

Тому дані результати дозволяють вирішити принципово важливе питання про місцевстановлення вимірювача натягу. Ефект запізнення відсутній лише безпосередньо перед друкарською секцією, де і слід встановити давач натягу.

Побудова даної структурної схеми моделі стрічкопровідної системи дозволяє провести синтез системи автоматичного регулювання натягом з врахуванням нестационарності моделі та запізнення.

1. Стрепко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. *Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ*. К., 1998. 2. Казакевич В.В., Избицкий З.Н. *Системы автоматического управления полиграфическими процессами*. М., 1978. 3. Дурняк Б.В. *Аналіз моделей стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 1998. Вип.33. С.75-83. 4. Дурняк Б.В. *Математичні моделі елементів стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 1998. Вип.33. С.67-74. 5. Дурняк Б.В. *Спрощена математична модель обвідного валика стрічкопровідної системи рулонних друкарських машин // Вісн. ДУ "Львівська політехніка"*. 1999. № 359. С.47-53. 6. Ерофеев А.А. *Теория автоматического управления*. Учеб. для вузов. С.-Пб., 1998.

УДК 630.323

АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ПРОДУКТИВНОСТІ І ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ З ДОВІЛЬНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВЕРСТАТІВ ІЗ РІЗНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

© Максимів В.М., Валюх О.А., 1999

Український державний лісотехнічний університет, кафедра «Автоматизація виробничих процесів, електротехніки і теплотехніки»

У даній статті описано методику визначення продуктивності верстатних ліній із несинхронним переміщенням заготовок, які складаються з довільної кількості верстатів. Методика враховує флуктації циклів верстатів, їх номінальні продуктивності, місткість накопичувачів, а також дозволяє обчислювати оптимальні значення місткості