

УДК 004.384+004.415.2

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАЛАГОДЖЕННЯ ВИВІДНОГО ПРИСТРОЮ АРКУШЕРІЗАЛЬНОЇ РОТАЦІЙНОЇ МАШИНИ ЗЛР2-120

М. І. Верхола, В. П. Білан, І. Б. Гук,

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

Робота пов'язана з дослідженням динаміки зміни натягу стрічкового матеріалу на ділянці «мірний циліндр - вивідні ролики» під час розрізання на аркушерізальних ротаційних машинах серії ЛР-120÷ЗЛР4-120. Особливість процесу розрізання стрічкового матеріалу полягає в тому, що стрічка, розмотуючись з рулону стрічковедучою парою «мірний циліндр - притисні ролики», подається до вивідних роликів безперервно і різання відбувається в процесі руху стрічки. Регулювання натягу стрічки на аркушерізальних машинах здійснюється вручну, а це вимагає затрат часу і призводить до появи неконденційної продукції під час налаштування. Оптимізацію процесу налаштування таких аркушерізальних машин пропонується вирішити за допомогою комп'ютерного моделювання. Враховуючи те, що процес різання є дискретним, а системи керування швидкістю асинхронними двигунами – цифровими, для їх адекватного математичного опису в статті розроблено дискретні моделі компонентів аркушерізальної машини. На основі моделей цих складових побудовано структурну схему моделі різально-вивідної секції та розроблено в середовищі Matlab-Simulink симулятор, який дає змогу відтворювати роботу секції з врахуванням динаміки електропривода, зміни формату аркушів та робочої швидкості машини.

Проведено моделювання та дослідження натягу на ділянці «мірний циліндр - вивідні ролики» для різних режимів роботи машини. Встановлено, що в результаті моделювання можна визначити оптимальні параметри пристрою регулювання натягу і виведення аркушів. Використання цих параметрів при налаштуванні роботи різально-вивідної секції дає можливість забезпечити на початок різку силу натягу стрічки в кілька сотень Ньютон, а на кінець різку натяг зменшується до декількох десятків Ньютон, що захищає стрічку від розриву. Зі збільшенням швидкості роботи машини в десять разів максимальна величина натягу при захопленні стрічки вивідними роликами зростає лише на 60%. Це співвідношення зберігається для усього діапазону довжин форма аркушів, що отримуються під час різання.

Розроблений симулятор можна застосовувати для визначення оптимальних параметрів налагодження вивідного пристрою з урахуванням властивостей матеріалу, що розрізається, довжини формату та швидкості роботи аркушерізальної машини.

Ключові слова: *аркушерізальна машина, математична модель, структурна схема, стрічкопровідна ділянка, мірний циліндр, симулятор, імітаційне моделювання.*

Постановка проблеми. Технологічний процес розрізування аркушевих та рулонних матеріалів є важливою частиною багатьох виробничих потоків у різних галузях промисловості.

Машини для поперечного розрізування стрічкового матеріалу на аркуші заданого формату характеризуються різним ступенем автоматизації, продуктивністю та областю застосування. Але концепція їх роботи залишається незмінною і полягає у розмотуванні стрічки матеріалу (паперу, картону, плівки, текстилю) та розрізанні на аркуші певної довжини відповідно до потреб.

На багатьох поліграфічних підприємствах України все ще експлуатуються сотні аркушерізальних ротаційних машин серій ЛР1-120 і ЛР4-120. Виготовили їх 20-30 років назад, а тому вони є морально застарілими. Ці машини не витримують конкуренції з боку закордонних зразків. Було декілька спроб їх модернізації, зокрема системи привода [1], втім бракувало комплексного підходу до цієї проблеми. Мало враховувався взаємний вплив системи привода машини та стрічкопровідної системи. Так, наприклад, була спроба зменшити похибку різання і навантаження на систему привода шляхом зниження моменту інерції барабана різки, виготовляючи його з легших матеріалів. Та на практиці це не дало позитивного ефекту. Наявна обчислювальна комп'ютерна техніка у ті часи була ще неспроможна відтворювати адекватні моделі аркушерізальних машин тому виконувати модернізацію на основі результатів моделювання було неможливо. Завдяки практиці експлуатації аркушерізальних ротаційних машин на поліграфічних підприємствах виявлено значну кількість недоліків у їх конструкції. Загалом їх можна об'єднати у три групи: ті, що впливають на точність виконання технологічної операції різання, ті, що ускладнюють процес експлуатації машини, а також ті, що впливають і на точність, і на зручність експлуатації.

Стосовно впливу на точність різання аркушерізальних рулонних ротаційних машин поряд з електромеханічною системою виокремлюємо стрічкопровідну систему, зокрема її ділянку «мірний циліндр – вивідні ролики».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стабільність, точність і завадостійкість роботи стрічкопровідної системи аркушерізальної рулонної ротаційної машини безпосередньо впливають на якість виконання технологічної операції розрізування рухомого стрічкового поліграфічного матеріалу.

Для побудови моделей стрічкоживильних та стрічкопровідних систем модель ділянки стрічки є базовою. Водночас ділянка стрічки є непростим об'єктом. Стала часу ділянки стрічки залежить прямо пропорційно від її довжини і обернено пропорційно від лінійної швидкості її переміщення. Зрозуміло, що ці параметри можуть змінюватися у процесі роботи рулонних ротаційних машин, а отже буде змінюватись і стала часу. Крім того, для моделі ділянки стрічки

властивий значний коефіцієнт передачі, тобто невелика зміна швидкості провокує суттєву зміну величини її натягу [2].

Питання визначення нових та уточнення наявних моделей ділянки стрічки досліджувало чимало дослідників [3, 4, 5]. Зокрема, велику увагу вони приділяли аналізу процесу видовження ділянки стрічки та впливу на його перебіг різних збудювальних факторів.

Деякі дослідники [3, 5] стверджують, що найбільш повно і коректно ділянка стрічки поліграфічного матеріалу описується за допомогою диференційного рівняння другого порядку, в котрому аргументом виступає відносне видовження. Але ця рівність не зовсім придатна для аналітичних досліджень та розрахунків, оскільки після математичних перетворень отримуємо квадрат видовження, що ускладнює побудову моделей стрічкопровідних систем.

У працях [4, 6] автори роблять логічно доведені припущення про те, що для стрічки, як елемента стрічкопровідної системи, характерне також запізнення. У статті [4] акцентується увага на виявленій закономірності, яка полягає в тому, що перехідний процес встановлення видовження не досягне усталеного значення, а зупиниться на певному рівні. Отримано ще одну диференційну залежність для обчислення відносного видовження стрічки, яка враховує квазіусталений характер перехідного процесу, а також наявність затримки. На основі цієї моделі ділянки стрічки побудовано моделі стрічкопровідних систем нескладної структури та досліджено динаміку їх роботи.

У роботі [7] особлива увага приділяється друкарським рулонним ротаційним машинам. Створено і досліджено математичну модель стрічкопровідної системи рулонної ротаційної машини з врахуванням моделей окремих компонентів системи як нестационарних і нелінійних об'єктів.

В усіх розглянутих публікаціях наведені неперервні математичні моделі елементів стрічкоживильних та стрічкопровідних систем поліграфічних машин. Досліджено процеси, що протікають у таких системах (різного ступеня складності), шляхом математичного моделювання. Проте актуальною залишається проблема побудови адекватних дискретних математичних моделей стрічкоживильних систем, дослідження динаміки яких має важливе значення для розробки цифрових систем регулювання натягу.

Мета статті – розроблення дискретних моделей компонентів аркушерізальних ротаційних машин та побудова на їх основі математичної моделі різально-вивідної секції для визначення оптимальних параметрів пристрою регулювання натягу стрічкового матеріалу на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики».

Виклад основного матеріалу дослідження. Принцип роботи аркушерізальної рулонної ротаційної машини полягає в наступному. Стрічка паперу або картону розмотується за допомогою мірного циліндра та притискних роликів і подається в різальну секцію. Барабан різку обертається з певною частотою і за оберт виконує один різ за допомогою закріпленого на ньому ножа. Ніж контактує у момент різку з контр-ножем. Відрізаний аркуш паперу виводиться на приймальний стіл вивідними роликами, лінійна швидкість яких дещо вища

за швидкість руху стрічки. Рух аркушерізальної ротаційної машини забезпечується асинхронним двигуном. Формат різку аркушів задається з допомогою зміни зубчатих коліс, а, відповідно, і передатного числа привода барабана різку. Щоб зменшити ударні навантаження моменту різання та їх вплив на систему привода, механізм різання побудовано таким чином, щоб різ виконувався за принципом «ножиць». Для цього ніж на барабані різку кріпиться під певним кутом і весь механізм різання дещо зміщений відповідно до напрямку руху паперової стрічки. Вивідні ролики приводяться в рух також від асинхронного двигуна через вітку передачі з вивідним пристроєм, що забезпечує вирівнювання аркуша паперу у момент різання, а також виведення його на приймальний стіл.

Пристрій регулювання натягу і виводу аркушів відіграє визначальну роль на завершальному етапі виконання технологічної операції різання, оскільки він суттєво впливає на динаміку стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» та точність різання. Якщо натяг стрічки буде надто великим, то можливі надриви кромки аркушів, оскільки різання відбувається за принципом ножиць. Крім того, лінійна швидкість вивідних роликів повинна бути дещо вищою, ніж швидкість руху стрічки, щоб забезпечити її вирівнювання перед розрізуванням. На відміну від стрічкоживильної секції, роботу якої можна проаналізувати автономно від системи привода, для стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» через специфіку функціонування такий аналіз застосувати не можемо. Тому моделювання та дослідження цієї ділянки варто здійснювати з врахуванням роботи електроприводу машини. Механічна система привода мірного циліндра характеризується зведеними значеннями жорсткості $C_1 = C_m$ та моменту інерції рухомих елементів J_m . Для вивідних роликів жорсткість фрикційної муфти γ і моментом інерції – J_{vr} . А також враховуються коефіцієнти тертя і технологічних навантажень у системі передач привода.

Отже, модель електромеханічної системи ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» є поєднанням двох типових двомасових моделей, що мають спільний привід від електродвигуна. На підставі роботи [8] математичну модель електромеханічної системи привода ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» можна подати так:

$$\begin{cases} M_m(z) = \frac{C_m}{s} (\omega_{dm} - \omega_m i_m); \\ \omega_m(z) = \frac{1}{(J_m s - \alpha_m)} (M_m^{np} - M_p + F_n^{vr} R_{mc}); \\ M_{vr}(z) = \frac{\gamma_{vr}}{s} (\omega_{dm} - \omega_{vr} i_{vr}); \\ \omega_{vr}(z) = \frac{1}{(J_{vr} s - \alpha_{vr})} (M_{vr}^{np} - F_n^{vr} R_{mc}), \end{cases} \quad (1)$$

де M_m – момент мірного циліндра;

ω_{dm} – кутова швидкість приводного електродвигуна;

- ω_m – кутова швидкість мірного циліндра;
 F_p – натяг стрічки, що створюється гальмівним моментом рулону і мірного циліндра $M_p = F_p R_{mc}$;
 M_{vr} – момент вивідних роликів;
 ω_{vr} – кутова швидкість вивідних роликів;
 i_{vr} – передатне число привода вивідних роликів;
 γ_{vr} – коефіцієнт жорсткості передачі;
 M_{vr}^{np} – момент пружності системи привода вивідних роликів;
 F_i^{vr} – натяг стрічки на стрічкопровідній ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики» аркушерізальної машини;
 R_{vr} – радіус вивідних роликів;
 J_{vr} – момент інерції вивідних роликів.

Коефіцієнт тертя у системі привода вивідних роликів є невеликим, а тому ним можна знехтувати у побудові моделі. Коефіцієнт жорсткості передачі γ_{vr} регулюється муфтою для забезпечення необхідної сили натягу.

Вважаємо, що аркушерізальна ротаційна машина приводиться в рух асинхронним короткозамкнутим двигуном потужністю 3 кВт. З врахуванням результатів роботи [9] подамо математичну модель електродвигуна привода:

$$\begin{cases}
 V_{qs} = R_s i_{qs} + \varphi_{qs} s; \\
 V_{ds} = R_s i_{ds} + \varphi_{ds} s; \\
 0 = R_r i'_{qr} + \varphi'_{qr} s; \\
 0 = R_r i'_{dr} + \varphi'_{dr} s; \\
 M_{em} = 1,5 p (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}); \\
 \omega_{dm} = 0,5 J (M_{em} - M_{dm}),
 \end{cases}
 \quad , \quad (2)$$

де V_{qs}, V_{ds} – проєкції результуючої напруги статора на осі q, d обертової системи координат відповідно;

R_s, R_r – опори статора і приведеного ротора;

i_{qs}, i_{ds} – проєкції струму статора на осі q, d ;

$\varphi_{ds}, \varphi_{qs}$ – проєкції електромагнітного потоку статора;

i'_{qr}, i'_{dr} – проєкції приведеного струму ротора;

$\varphi_{qr}, \varphi_{dr}$ – проєкції приведеного електромагнітного потоку ротора;

p – число пар полюсів;

M_{em} – електромагнітний момент;

$M_{dm} = M_C$ – момент навантаження, що прикладається до валу двигуна;

J – момент інерції;

ω_{dm} – кутова швидкість ротора;

ω_r – електрична кутова швидкість ротора ($\omega_r = p \omega_{dm}$).

Зміна натягу стрічки на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики» при дії збурення за швидкістю згідно з працею [2] можна подати таким чином:

$$F_i^{vr}(s) = \frac{K_C^{vr} b \delta E_\delta}{T_C^{vr} s + 1} [V_{vr}(s) - V_M(s)] + F_0(s), \quad (3)$$

де $F_0(s)$ – натяг стрічки викликаний різними збуреннями;

F_i^{vr} – натяг стрічки на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики»;

$V_{vr} = \omega_{vr} R_{vr}$ – лінійна швидкість вивідних роликів;

V_M – лінійна швидкість мірного циліндра;

$K_C^{vr} = R_{mc} i_{vr} / (R_{vr} i_m V_P^*)$ – коефіцієнт передачі ділянки стрічки;

$T_C^{vr} = R_{mc} i_{vr} L_{mc-vr} / (R_{vr} i_m V_P^*)$ – стала часу ділянки стрічки;

L_{mc-vr} – довжина ділянки стрічки між мірним циліндром та вивідними роликами;

D_{load} – тривалість контакту вивідних роликів із стрічкою.

$$F_i^{vr}(z) = (V_{vr} - V_M) \frac{K_C^{vr} (1 + z^{-1}) b \delta E_\delta D_{load}}{(2T_C^{vr} / T_0 + 1) + (1 - 2T_C^{vr} / T_0) z^{-1}}, \quad (4)$$

Режим роботи стрічкопровідної ділянки визначається діаграмою різку, яка враховує періодичність контакту вивідних роликів стрічковим матеріалом, оскільки стрічка після відрізання аркуша спочатку рухається по похилому столі, перебуваючи у ненацягнутому стані, а потім захоплюється вивідними роликами. Вивідні ролики протягують захоплену стрічку, таким чином створюючи натяг аж до наступного відрізання аркуша. І цей процес повторюється циклічно з кожним обертом барабана різку. Таким чином, періоди існування натягу на ділянці стрічки є чітко визначеними та залежать від кутової швидкості мірного циліндра ω_m і діаграми різку D_{rizur} .

Тривалість контакту вивідних роликів із стрічкою можна отримати, якщо визначати шлях, пройдений стрічкою та порівнювати його із відстанню між барабаном різку і вивідними роликами: якщо ця відстань більша, то відбулось захоплення стрічки. Зрозуміло, що при такому способі неможливо проконтролювати появу, скажімо, пожмаканого паперу під час проходження стрічки по похилому столі, але цим можна знехтувати, оскільки таке збурення є випадковим і його складно прогнозувати та описати математично. Отже, побудуємо математичну модель, що описує тривалість контакту вивідних роликів із стрічкою:

$$\begin{cases} D_{load} = 1, \text{ якщо } \omega_m R_{mc} \frac{1}{s} - L_f INT \left(\frac{\omega_m R_{mc}}{L_f} \frac{1}{s} \right) > L_{br-vr}; \\ D_{load} = 0, \text{ якщо } \omega_m R_{mc} \frac{1}{s} - L_f INT \left(\frac{\omega_m R_{mc}}{L_f} \frac{1}{s} \right) \leq L_{br-vr}, \end{cases} \quad (5)$$

де L_{br-vr} – відстань від місця розрізання стрічки та вивідними роликами.

Момент навантаження, що прикладається до барабана різку під час розрізання стрічкового матеріалу, імітує процес різку і є основним джерелом збурень для електромеханічної системи аркушерізаційної машини. Відомо, що різ відбувається один раз за оберт і триває $1/40$ оберту, або $\pi / 20$ рад. Тому для побудови діаграми різку потрібно знати кут повороту барабана різку. Кут повороту отримуємо, проінтегрувавши кутову швидкість обертання барабана різку ω_b за $1/40$ його оберту. Таким чином, діаграма різку описуватиметься системою рівнянь:

$$\begin{cases} D_{rizu} = 1, & \text{якщо } \omega_b \frac{1}{s} - 2\pi INT\left(\frac{\omega_b}{2\pi} \frac{1}{s}\right) > \frac{39\pi}{20}; \\ D_{rizu} = 0, & \text{якщо } \omega_b \frac{1}{s} - 2\pi INT\left(\frac{\omega_b}{2\pi} \frac{1}{s}\right) \leq \frac{39\pi}{20}. \end{cases} \quad (6)$$

Діаграма різку приймає значення логічної одиниці, коли відбувається різання та дорівнює нулю в проміжках між моментами різку. Помноживши систему рівнянь (6) діаграми різку на максимальне значення моменту різання M_{rizu}^{\max} , отримуємо момент навантаження M_{rizu} .

Застосовуючи методику, запропоновану в роботі [10], на основі неперервних математичних моделей (1-5) компонентів аркушерізаційної машини розробляємо дискретну математичну модель стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» з врахуванням роботи електропривода:

$$\begin{aligned} V_{qs} &= R_s i_{qs} + 2\varphi_{qs} (1 - z^{-1}) / (T_0 (1 + z^{-1})) + \omega \varphi_{ds}; \\ V_{ds} &= R_s i_{ds} + 2\varphi_{ds} (1 - z^{-1}) / (T_0 (1 + z^{-1})) - \omega \varphi_{qs}; \\ 0 &= R_r i_{qr}' + 2\varphi_{qr}' (1 - z^{-1}) / (T_0 (1 + z^{-1})) + (\omega - \omega_r) \varphi_{dr}' ; \\ 0 &= R_r i_{dr}' + 2\varphi_{dr}' (1 - z^{-1}) / (T_0 (1 + z^{-1})) - (\omega - \omega_r) \varphi_{qr}' ; \\ M_{em} &= 1,5 p (\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}); \\ \omega_{dm} &= T_0 (1 + z^{-1}) / (4J (1 - z^{-1})) (M_{em} - M_{dm}); \\ M_m(z) &= \frac{C_m T_0 (1 + z^{-1})}{2(1 - z^{-1})} (\omega_{dm} - \omega_m i_m); \\ \omega_m(z) &= \frac{T_0 (1 + z^{-1})}{(2J_m + T_0 \alpha_m) - (2J_m - T_0 \alpha_m) z^{-1}} (M_m^{i\delta} - M_p + F_i^{vr} R_{mc}); \\ M_{vr}(z) &= \frac{\gamma_{vr} T_0 (1 + z^{-1})}{2(1 - z^{-1})} (\omega_{dm} - \omega_{vr} i_{vr}); \\ \omega_{vr}(z) &= \frac{T_0 (1 + z^{-1})}{2J_{vr} - 2J_{vr} z^{-1}} (M_{vr}^{i\delta} - F_i^{vr} R_{vr}); \end{aligned}$$

$$F_i^{vr}(z) = \frac{K_C^{vr}(1+z^{-1})b\delta E_\delta D_{load}(V_{vr}-V_M)}{(2T_C^{vr}/T_0+1)+(1-2T_C^{vr}/T_0)z^{-1}};$$

$$D_{load} = 1, \text{ якщо } \omega_m R_{mc} \frac{T_0(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1})} - L_f INT \left(\frac{\omega_m R_{mc} T_0(1+z^{-1})}{L_f 2(1-z^{-1})} \right) > L_{br-vr};$$

$$D_{load} = 0, \text{ якщо } \omega_m R_{mc} \frac{T_0(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1})} - L_f INT \left(\frac{\omega_m R_{mc} T_0(1+z^{-1})}{L_f 2(1-z^{-1})} \right) \leq L_{br-vr};$$

$$D_{rizu} = 1, \text{ якщо } \omega_b \frac{T_0(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1})} - 2\pi INT \left(\frac{\omega_b T_0(1+z^{-1})}{2\pi 2(1-z^{-1})} \right) > \frac{39\pi}{20};$$

$$D_{rizu} = 0, \text{ якщо } \omega_b \frac{T_0(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1})} - 2\pi INT \left(\frac{\omega_b T_0(1+z^{-1})}{2\pi 2(1-z^{-1})} \right) \leq \frac{39\pi}{20}.$$
(7)

Використовуючи дискретні математичні моделі асинхронного електродвигуна головного приводу аркушерізальної машини, привода мірного циліндра, привода вивідних роликів, ділянки стрічки між мірним циліндром і вивідними роликами, циклограми контакту вивідних роликів зі стрічкою та режиму роботи барабана різку, що зведені в систему рівнянь (6), розробляємо структурну схему моделі стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» різально-вивідної секції аркушерізальної ротаційної машини, яка подана на рис. 1.

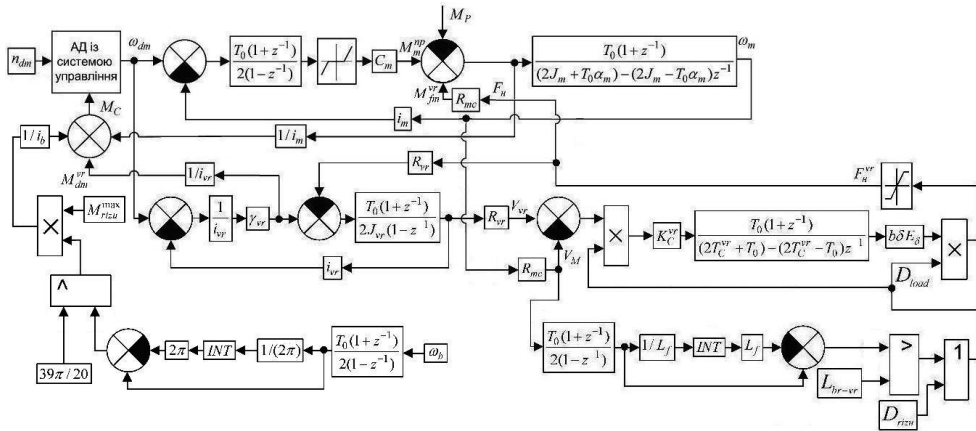


Рис. 1. Структурна схема моделі стрічкопровідної ділянки різально-вивідної секції аркушерізальної ротаційної машини

Вхідними сигналами для розробленої моделі є швидкість приводного двигуна n_{dm} , кутова швидкість барабана різку ω_b та діаграма різку D_{rizu} . Вихідними величинами є момент, що прикладається до двигуна через систему привода вивідних роликів M_{dm}^{vr} , обертовий момент від сили натягу стрічки стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» M_{fm}^{vr} , що прикладається до

мірного циліндра та сила натягу F_i^{vr} . Таким чином, різально-вивідна секція створює два додаткові моменти навантаження, які повинні враховуватись у моделі електромеханічної системи.

Для дослідження роботи стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» аркушерізальної ротаційної машини на основі розроблених дискретних математичних моделей її компонентів (7) та запропонованої структурної схеми (рис. 1) побудовано відповідний симулятор у середовищі *Matlab-Simulink* (рис. 2).

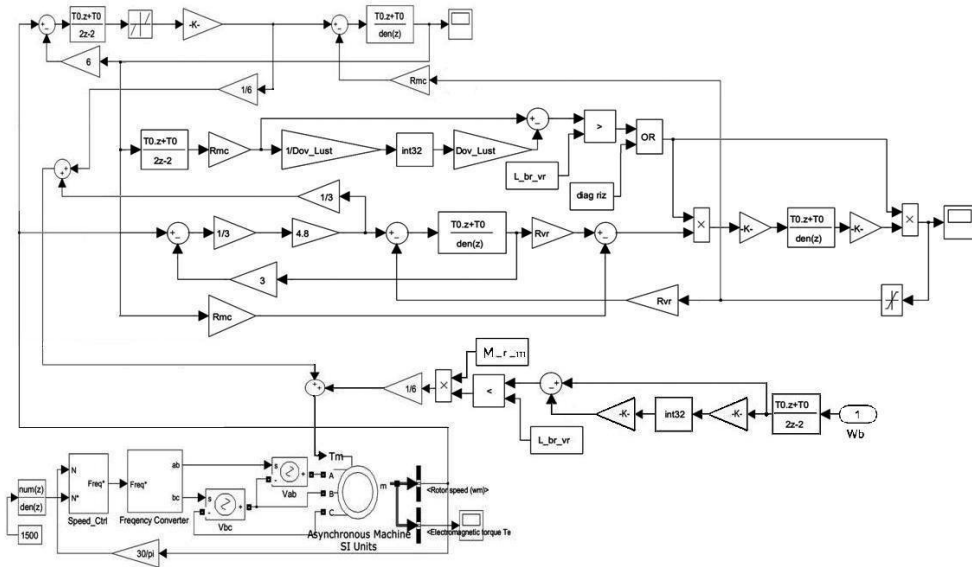


Рис. 2. Симулятор стрічкопровідної ділянки «мірний циліндр – вивідні ролики» аркушерізальної ротаційної машини у середовищі *Matlab-Simulink*

Для комп'ютерного симулювання розробленої моделі задаємо величини, що є реальним значенням відповідних елементів аркушерізальної ротаційної машини. Сталі параметри задаємо безпосередньо у блоках, а ті, що потребують зміни, задаємо через вікно *Model Explorer*.

Натяг стрічки F_i^{vr} на ділянці різання має підтримуватись на заданому сталому рівні, особливо в момент розрізання стрічки. В іншому випадку можливі надриви кромки аркушів на завершальному етапі різання. Тому для регулювання величини натягу застосовують привід вивідних роликів з регульованою жорсткістю.

За допомогою розробленого симулятора здійснюємо моделювання і аналіз динаміки натягу стрічкового матеріалу на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики». Досліджуємо вплив швидкості роботи машини та довжини формату аркуша на зміну величини натягу паперової стрічки. Окремі фрагменти отриманих результатів подані на рис. 3 та рис. 4.

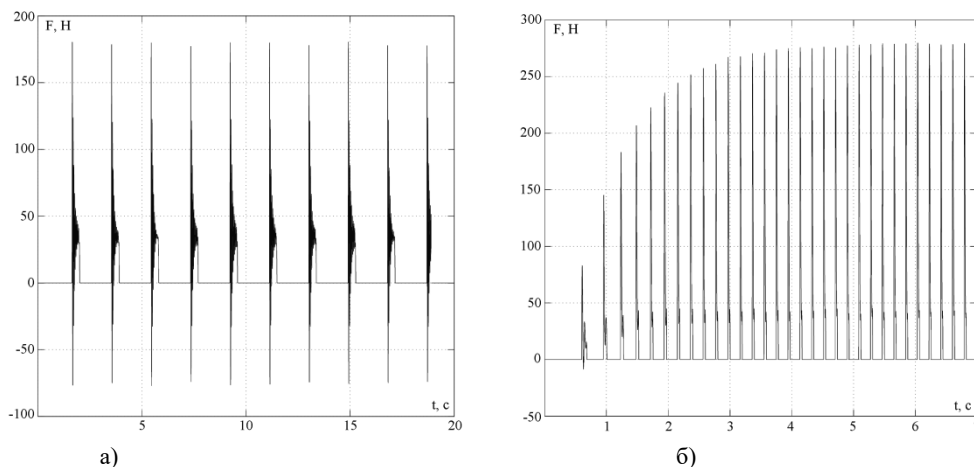


Рис. 3. Графіки перехідних процесів зміни натягу стрічки на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики» при розрізанні стрічки на аркуші мінімального формату при зміні робочої швидкості:
а) $V_p^* = 0,275$ м/с; б) $V_p^* = 2,75$ м/с

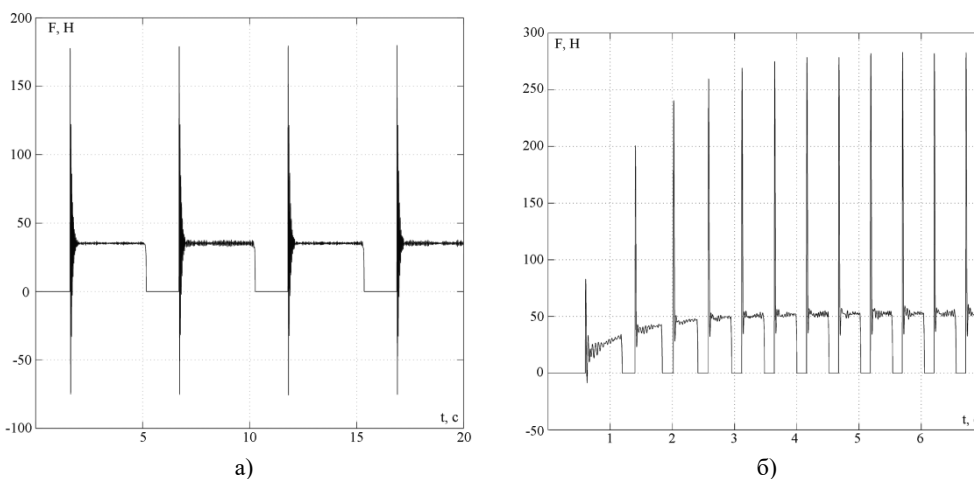


Рис. 4. Графіки перехідних процесів зміни натягу стрічки на ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики» при розрізанні стрічки на аркуші максимального формату при зміні робочої швидкості:
а) $V_p^* = 0,275$ м/с; б) $V_p^* = 2,75$ м/с

Так, на рис. 3 подано графіки зміни натягу стрічки при розрізанні її на аркуші формату мінімальної довжини $L_f = 0,52$ м. При мінімальній швидкості роботи машини величина натягу паперової стрічки в момент захоплення її вивідними валиками зростає до 185 Н і за доли секунди знижується до 30 Н, встигнувши зробити ще декілька коливань амплітуди падає до 0, що свідчить про закінчення операції різання. При максимальній швидкості роботи, яка на порядок вища від мінімальної та мінімальному формату різку величина натя-

гу стрічки в момент захоплення валиками зростає до 280 Н і на початок різу знижується до 40 Н. Отже, як бачимо, при збільшенні швидкості роботи машини в 10 разів максимальна амплітуда натягу зростає на 56 %, а коливання натягу зменшуються. Графічні зображення зміни натягу паперової стрічки при розрізанні її на аркуші максимального формату ($L_f = 1,4$ м), подані на рис. 4. Максимальна величина натягу при мінімальній швидкості роботи машини, під час якої стрічка переміщається із швидкістю $V_p^* = 0,275$ м/с, є практично такою ж, як і в попередньому випадку і становить 186 Н та зменшується на початок операції різання до 34 Н. Зниження величини натягу відбувається за час, приблизно рівний 0,4 с. Збільшення робочої швидкості машини до максимальної величини призводить до збільшення амплітуди натягу стрічкового матеріалу на 66 %, який до початку різу зменшується до 50 Н.

На мінімальній швидкості (рис. 4, а) роботи аркушерізальної ротаційної машини коливання натягу на 60 % нижчі, ніж при максимальній швидкості (рис. 4, б). Також при розрізанні стрічкового матеріалу на аркуші максимального формату з'являється додаткове коливання меншої амплітуди, ніж при захопленні стрічки вивідними роликками, що викликане ударним моментом на початку розрізання стрічки.

Побудувати систему регулювання натягу на стрічкопровідній ділянці «мірний циліндр – вивідні ролики» аркушерізальної ротаційної машини технічно складно через чергування періодів з наявністю та відсутністю натягу. Тому шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання з допомогою розробленого симулятора можна визначити оптимальні налаштування жорсткості механічної передачі привода вивідних роликів, що гарантує якісне виконання технологічної операції розрізування стрічки при різних робочих швидкостях. Виявлено, що при коротких форматах паперу жорсткість передачі у вітці привода вивідних роликів має бути на 25 % вищою, ніж при максимальному форматі різання. А щоб забезпечити достатній рівень натягу стрічки на низьких робочих швидкостях, коефіцієнт передачі пристрою регулювання натягу потрібно збільшити на 60 %.

Висновки. Розроблено дискретні математичні моделі компонентів аркушерізальної ротаційної машини: асинхронного електродвигуна головного приводу машини, електромеханічних віток приводу мірного циліндра та вивідних роликів, стрічкопровідної ділянки, циклограм роботи барабана різу і вивідних роликів.

Побудовано структурну схему моделі різально-вивідної секції та розроблено відповідний симулятор в середовищі *Matlab-Simulink*, який дає можливість імітувати роботу різально-вивідної секції з врахуванням динаміки електропривода, зміни довжини формату аркушів та швидкості роботи машини.

У результаті моделювання визначено оптимальні параметри пристрою регулювання натягу на ділянці «мірний циліндр - вивідні ролики». За умови оптимального налаштування вивідного пристрою при збільшенні робочої швидкості машини в 10 разів максимальна величина натягу в момент захоплення стрічки вивідними роликками зростає лише на 60%. Це співвідношення зберігається для різних довжин формату аркушів, що отримуються під час різання.

Виявлено, що при розрізанні паперової стрічки на аркуші мінімального формату коефіцієнт передачі пристрою регулювання натягу стрічки повинен бути на 25% вищим, ніж при максимальному форматі різання. Також зі зниженням швидкості роботи машини коефіцієнт передачі пристрою потрібно збільшувати.

У результаті моделювання обґрунтовано, що за допомогою розробленого симулятора можна визначити оптимальні значення коефіцієнтів передачі пристрою виводу аркушів для різних стрічкових матеріалів та режимів роботи аркушерізальних машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верхола М. І. Моделі динаміки ротаційних листорізальних машин / Поліграфія і видавнича справа. – Львів: Вид-во при Львівськ. держ. ун-ті., вид. об'єдн. «Вища школа», 1989, №25. С. 82 – 90.
2. Луцків М. М., Хмельницька І. М. Математичне моделювання і комп'ютерне моделювання електромеханічних та стрічкопровідних систем. Львів.: УАД, 2010. 172 с.
3. Дурняк Б. В. Стрічкопровідні системи рулонних ротаційних машин. Київ: Атіка, 2002. 292 с.
4. Луцків І. М. Моделювання стрічкопровідної ділянки методом інтегрування приросту швидкості стрічки на інтервалі часу / Науково-технічний збірник «Наукові записки». №7 – Львів.: УАД, 2004. С. 76-82.
5. Печатное оборудование. / Митрофанов В. П., Тюрин А. А., Бирбраер Е. Г., Штоляков В. И. Москва: Издательство МГУП, 1999. 442 с.
6. Дурняк Б. В., Луцків М. М., Хмельницька І. М. Математичне моделювання натягу в послідовно з'єднаних стрічкопровідних ділянках при нестационарному режимі роботи / – Наукові записки.: наук.-техн. зб. № 1. Львів: УАД, 2009. С. 68 - 76.
7. Щербина Ю. В. Динамические свойства процессов управления движением бумаги и краски в рулонных печатных машинах. Москва: МГУП, 2003.
8. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В. – Кременчук, 2001. 410 с.
9. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник. / Москва: Академа, 2006. – 265 с.
10. Білан В. П., Верхола М. І. Методика побудови цифрових моделей стрічкоживильної та стрічкопровідної систем аркушерізальних машин. Міжнародний науковий журнал «Технологічні комплекси». Луцьк, 2014. №2(10). – С. 27 - 36.

REFERENCES

1. Verkhola M. I. (1989). Modeli dynamiky rotatsiynykh lystorizal'nykh mashyn / Polihrafiya i vydavnycha sprava. – L'viv: Vyd-vo pry L'vivs'k. derzh. un-ti., vyd. obyedn. «Vyshcha shkola», №25. – S. 82 – 90. (in Ukrainian)
2. Lutskiv M. M. (2010). Matematychnе modelyuvannya i kompyuterne symulyuvannya elektromekhanichnykh ta strichkoprovodnykh system: monohr. / M. M. Lutskiv, I. M. Khmel'nyts'ka – Ukr. akad. druk. – L'viv. : UAD– 172 s. (in Ukrainian)
3. Durnyak B. V. (2002). Strichkoprovodni systemy rulonnykh rotatsiynykh mashyn. / Durnyak B.V. – Kyiv: Atika– 292 s. (in Ukrainian)

4. Lutskiv I. M. (2004). Modelyuvannya strichkoprovidnoyi dilyanky metodom intehruvannya pryrostu shvydkosti strichky na intervali chasu / Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Naukovi zapysky». №7 – Lviv: UAD, S. 76-82. (in Ukrainian)
5. Mitrofanov V. P. (1999). Pечатное оборудование. // Mitrofanov V. P., Tyurin A. A., Birbraer E. H., Shtolyakov V. Y. – Moskva: Izdatel'stvo MHUP– 442 s. (in Russian)
6. Durnyak B. V. (2009). Matematychno modelyuvannya natyahu v poslidovno z'yednanykh strichkoprovidnykh dilyankakh pry nestatsionamomu rezhymi roboty / Durnyak B. V., Lutskiv M. M., Khmel'nyts'ka I. M. – Nauk. zap.: nauk.-tekh. zb. –№ 1. – S. 68 – 76. (in Ukrainian)
7. Shcherbyna YU. V. (2003). Dynamichyskye svoystva protsessov upravleniya dvyzheniem bumahi i kraski v rulonnykh pechatnykh mashynakh – Moskva: MHUP. (in Russian)
8. Chornyy O. P. (2001). Modelyuvannya elektromekhanichnykh system: Pidruchnyk / Chornyy O. P., Luhovoy A. V., Rod'kin D. Y., Sisyuk H. YU., Sadovoy O. V. – Kremenchuk– 410 s. (in Ukrainian)
9. Sokolovskyy H. H. (2006). Elektropryvody peremennoho toka s chastotnim rehulyrovaniem. Uchebnik. / Moskva: Akadema — 265 s. (in Russian)
10. Bilan V. P. (2014). Metodyka pobudovy tsyfrovyykh modeley strichkozhyvyl'noyi ta strichkoprovidnoyi system arkusherizal'nykh mashyn / Bilan V. P., Verkhola M. I. – Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal «Tekhnolohichni kompleksy». – Luts'k– №2(10). – S. 27 – 36. (in Ukrainian)

DOI: 10.32403/2411-9210-2019-2-42-6-19

MODELING AND OUTPUT DEVICE SET-UP PARAMETERS DETERMINATION OF THE 3LR2-120 ROLL SHEETING MACHINE

Verkhola M. I., Bilan V. P., Huk I. B.

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine
m.i.werh@gmail.com*

The work is related to the dynamics research of the tape material tension change at the measure cylinder - output rollers area during cutting on the series LR-120-3LR4-120 roll sheeting machines. The peculiarity of the tape material cutting process is that the tape, unwinding from the roll by measuring cylinder-pressure rollers pair, is fed to the output rollers continuously and cutting occurs in the tape movement process. Tape tension adjustment on the roll sheeting machines is done manually, which takes time and leads to the non-standard products appearance during adjustment. It is proposed to solve the set-up process optimization of such roll sheeting machines by computer simulation help. Taking into account that the cutting process is discrete and the asynchronous motors speed control systems are digital, discrete models of the roll sheeting machine components are developed in the article for their adequate mathematical description. Based on the models of these components, a block diagram of the cutting and output section model has been built

and a simulator has been developed in the Matlab-Simulink environment, which makes it possible to reproduce the section operation taking into account the electric drive dynamics, sheets format changing and the machine's operating speed.

The simulation and tension research at the measure cylinder-output rollers section for different machine's operation modes has been performed. It has been established that as a simulation result, the optimal tension parameters for the control and sheets output device can be determined. The use of these parameters for cutting and output section work adjusting allows providing at the beginning of the cut the tape tension force in several hundred Newton, and at the end of the cut the tension is reduced to several tens Newton, which protects the tape from tearing. With a machine's ten-time working speed increase, the maximum tension amount in the tape captures by the output rollers increases by only 60%. This ratio is maintained for the entire sheet's length range which can be obtained during cutting.

The developed simulator can be used to determine the optimal parameters for the output device set-up, taking into account the properties of the material being cut, the format length and the roll sheeting machine's speed.

Keywords: *roll sheeting machine, mathematical model, block diagram, tape providing section, measuring cylinder, simulator, simulation.*

Стаття надійшла до редакції 25.04.2019.

Received 25.04.2019.