

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ
СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ РУЛОНІВ І СМУГОТЯГНУЧИХ
МЕХАНІЗМІВ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН
З ЇХ ПРИВОДАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
ЗА СИСТЕМАМИ ТП-Д З $\Phi DN = CONST$**

Моделюванням на ЕОМ підтверджена здатність синтезованих систем цифрового керування (CSK) двигунами смуготягнутого механізму (СМ) і рулону (R) синхронізувати їх рух в період їх розгону і розмотування смуги з усталеними швидкостями їх руху. В статті наводяться умови, за яких досягається прийнятна синхронізація руху СМ і рулону, а також часові характеристики основних регульованих координат – швидкостей руху смуги на периферії циліндру СМ і рулону і моментів їх двигунів.

The ability of the synthesized systems of digital management (CSK) of the engines of strip pull mechanisms (SM) and synchronization of the roll motion (R) in the period of the acceleration and pull out bar with withstand rates of the movement have been confirmed by computer simulation. The acceptable terms for synchronization of motion of SM and roll and sentinel descriptions of the basic managed coordinates – rates of movement of bar on periphery the cylinder of SM and roll and moments of their engines have been described in article.

Завдання і способи синхронізації руху рулонів і циліндрів смуготягнутих механізмів та смуг на їх периферіях.

З метою автоматизації контролю і стабілізації сил натягу смуг між розмотуваними рулонами (R) і смуготягнучими механізмами (СМ) в 2009-2012 роках кафедрою АКТ УАД розроблені за нашою участю системи і програми цифрового керування (СЦК) з регуляторами сил натягу FM і FR, лінійних швидкостей руху VM і VR на периферії рулонів і циліндрів СМ та струмів IDM і IDR їх двигунів постійного і змінного (асинхронних) струму [1,2]. Блок-схема програми керування двигунами постійного струму зображена на рис. 1. В 2013 році структурні схеми і програми керування двигунами були доповнені регуляторами різниці швидкостей $\Delta Vc = VM - VR$ і проростів смуг $\Delta Lc = \Delta LM - \Delta LR$ за $\Delta t = \Delta T = 0,001$ с замість регуляторів FM і FR, які за результатами попередніх досліджень не забезпечували прийнятну стабілізацію натягу смуг та синхронізацію їх руху на периферії рулонів і циліндрів СМ в період їх розгону [3]. Тому, основними засобами синхронізації руху рулонів і циліндрів СМ та смуг на їх периферії є електроприводи з ре-

гуляторами VM і VR та IDM і IRM, яким прямопропорційні моменти двигунів постійного струму при $\Phi D = \Phi DN = \text{const}$. Вказані приводи при раціональних передаточних числах редукторів IPM і IPR, що вирівнюють приведені до валів двигунів сумарні моменти інерції JSR і JSM, та, при належно вибраних максимальних струмах і моментах MDM і MDR, здатні забезпечити достатньо точну синхронізацію руху CM і R і без регуляторів ΔVc і ΔLc . При тому двигун рулону автоматично змінює рушійний момент на гальмівний і навпаки. Для автоматизованого контролю натягу смуги передбачена функція $f1R(ddvc)$ замість візуального спостереження за її видовженням або вимірюванням стріли видовження Hc , а для зміни рушійного моменту двигуна рулону на гальмівний і навпаки використовується функція $\text{sign}(ddvc)$, де $ddvc = \Delta Vc(t) - \Delta VCN = VM(t)*VRN/VMN-VR(t)$. При $ddvc \geq 0$ смуга натягнута і $f1R(ddvc) = 1$, інакше дорівнює нулю. Функція $\text{sign}(ddvc) = 1$, якщо смуга надто натягнута і $VR(t) < VM(t)*VRN/VMN$, і тоді двигун рулону збільшує $VR(t)$. Якщо ж $VR(t) > VM(t)*VRN/VMN$ $\text{sign}(ddvc) = -1$ і двигун гальмує рух рулону. Для цього зменшується вихідна напруга задавача VR, що призводить до зменшення вихідної напруги ТП, що живить двигун, і до зменшення частоти обертання ωOD ідеального холостого ходу, та до переходу двигуна рулону в гальмівний генераторний режим з заданою величиною гальмівного моменту і струму двигуна згідно (1):

$$U_{ZVRH} := \frac{U_{ZVRN}}{V_{RN}} * (U_{JDR} - (\text{abs}(I_{DR}) + \text{abs}(I_{DRH})) * R_{JDR}) * \frac{R_R}{C_{EDRN} * I_{FR}}, \quad (1)$$

де U_{JDR} , I_{DR} і RR – миттєві напруги, струм живлення двигуна і радіус рулону перед гальмуванням; U_{ZVRH} і I_{DRH} – напруга задавача VR і заданий струм якоря двигуна при гальмуванні.

Основні результати досліджень розгону CM і рулону і розмотування смуги з усталеними швидкостями їх руху $VM = 10$ м/с і $VR = 9,95$ м/с.

Цифровим структурним моделюванням за програмою з іменем CSKRULOND{2012}, блок-схема якої наведена на рис. 1, досліджувалась динаміка систем CM і рулонів з їх двигунами постійного струму потужностями PN в межах 2,5 – 5 кВт і частотами обертання ωN 157, 314 1/с та з редукторами з IP = 1,5, 2 і 3. Вибрані двигун для CM з PN = 4,5 кВт, $\omega N = 157$ 1/с і редуктор з IPM = 1,5, а для рулону двигун з PN = 4,3 кВт, $\omega N = 314$ 1/с і редуктор з IPR = 1,5. Методами синтезу систем підпорядкованого регулювання (СПР) обґрунтовувались параметри регуляторів IDM і IDR, VM і VR, FM і FR та додаткових регуляторів ΔVc і ΔLc системи електричної синхронізації (СЕС). Параметри регуляторів адаптувались до нестабільності радіусу рулонів RR, моменту інерції JSR та моменту інерції JSM, залежного від JR і натягу смуги ($J_{SM} = J_{CM} + J_R * f1R(ddvc)/I_{PN}^2$).

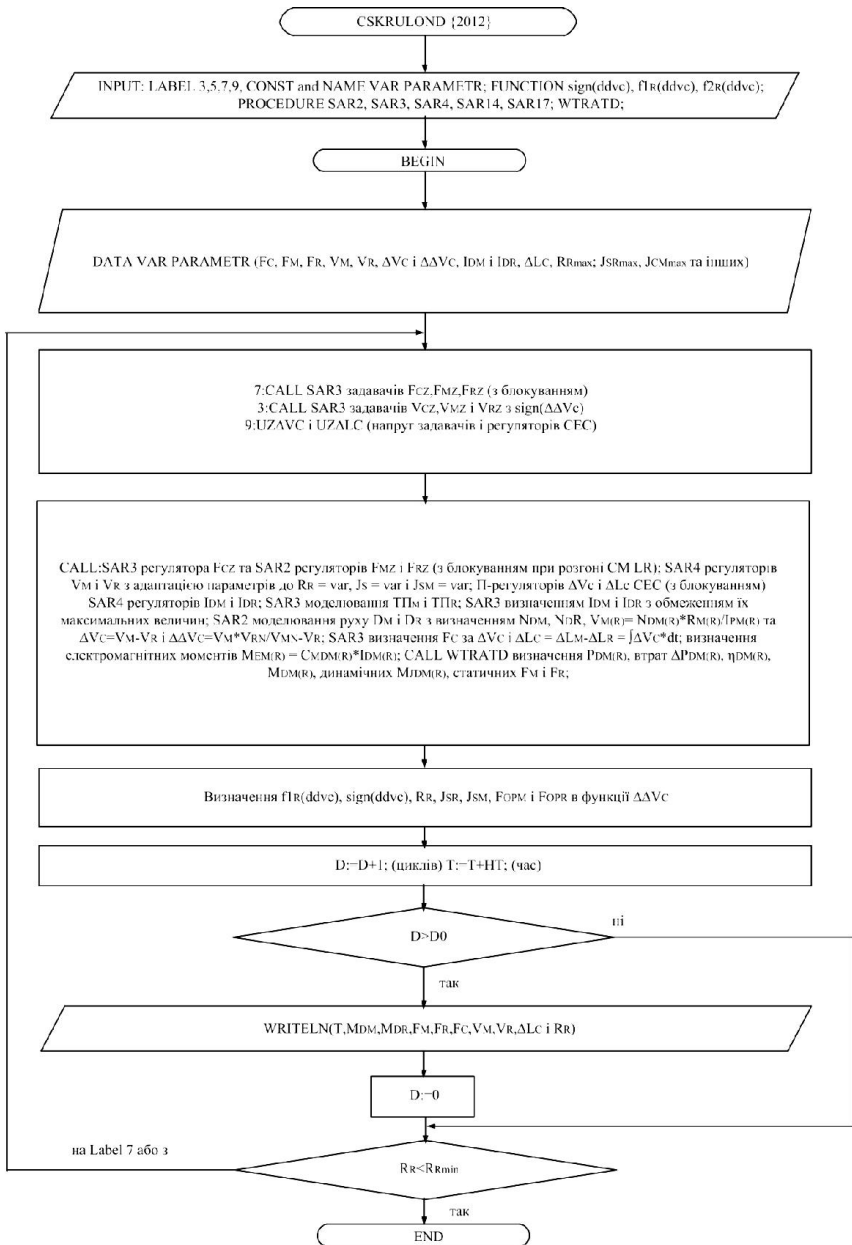


Рис. 1. Блок-схема програми моделювання СЦК приводами СМ R за системами ТП-Д з ФДN

Базові коефіцієнти ПІ-регуляторів VR і VM визначались при $RR_{\max} = 0,5$ м і $JR_{\max} = 70$ кг*м² і при натягнутій смугі, тобто при $fIR(ddvc) = 1$. Сила опору розмотуванню рулону приймалась величиною $FOPN = 200$ Н. При $fIR(ddvc) = 1$, $VM = 10$ м/с = const і $VR = 9.95$ м/с двигун CM забезпечував статичні $FM = 0,8*FCN = 150$ Н, а двигун рулону $FR = 0,2*FCN = 40$ Н. В період розгону з JSM_{\max} і JSR_{\max} CM і R і гальмуванні руху рулону величина моментів і струмів двигунів обмежувалась до $2IDN$ і $2MDN$. При тому динамічна складова MJD в 5 і 10 разів перевершувала статичну їх складову, необхідну для натягу смуги. Це призводило до небажано великих складових сил натягу смуги на периферії циліндру CM, які були зменшені обмеженням максимальних струму і моменту двигуна CM, а також збільшенням сталої інерції TZVM задавача VM. Це призвело до збільшення часу розгону CM і R, який не лімітується. Вигідніше збільшувати TZVM, бо зменшення ID_{\max} і MD_{\max} негативно впливає на синхронізацію руху CM і рулону.

Визначені базові величини коефіцієнтів пропорційного регулювання VM і VR дорівнювали 400 і 200 В/В, а струмів IDM і IDR – в межах (1-2)В/В. За методом, описаним в [3] визначались також коефіцієнти пропорційного регулювання ΔLc (не більші 20 В/В), а за методом синтезу СПР, коефіцієнти регуляторів ΔLc , замість регуляторів FM і FR, не більші 2 В/В. Вплив вихідних напруг регуляторів ΔLc на точність синхронізації про максимальних вихідних напругах регуляторів VM і VR незначний. Тому, досягнувши прийнятну стабільність $VM(t)/VR(t)$ в режимах розгону CM і R і розмотування смуги з $VMN = \text{const}$ і $VRN = \text{const}$, регулятори ΔLc і ΔVc , як і регулятори Fc можна не використовувати.

Регулятори ΔLc більш доцільно використовувати для синхронізації приростів смуг ΔLM і ΔLR не за $\Delta t = NT = 0.001$ с, а за більший час Δt в межах 0,01-0,05 с, тобто через (10-50)NT, де NT – час циклічного повторення обчислень за програмою моделювання.

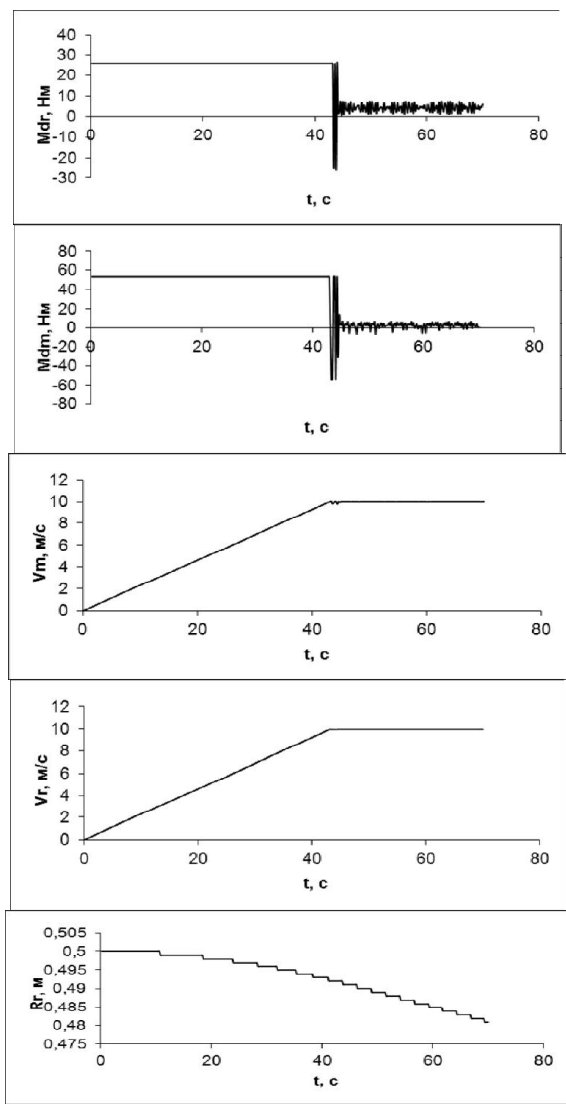


Рис 2. Часові характеристики швидкостей руху смуги і моментів двигунів СМ і рулону при їх розгонах

На рис. 2, наведені одержані часові характеристики сумарних (динамічних і статичних) моментів двигунів і швидкостей руху смуги $V_M(t)$ і $V_R(t)$ в період розгону СМ і рулону з наближено сталими

$RR_{max} = 0,5$ м, $JSR_{max} = 7,5$ кг*м² та $JSM = (JCM + JR_{max} * f1R(ddvc)) / IPM^2$, де $JCM = 2,8$ кг*м², $JR_{max} = 68$ кг*м², $IPM = 3$.

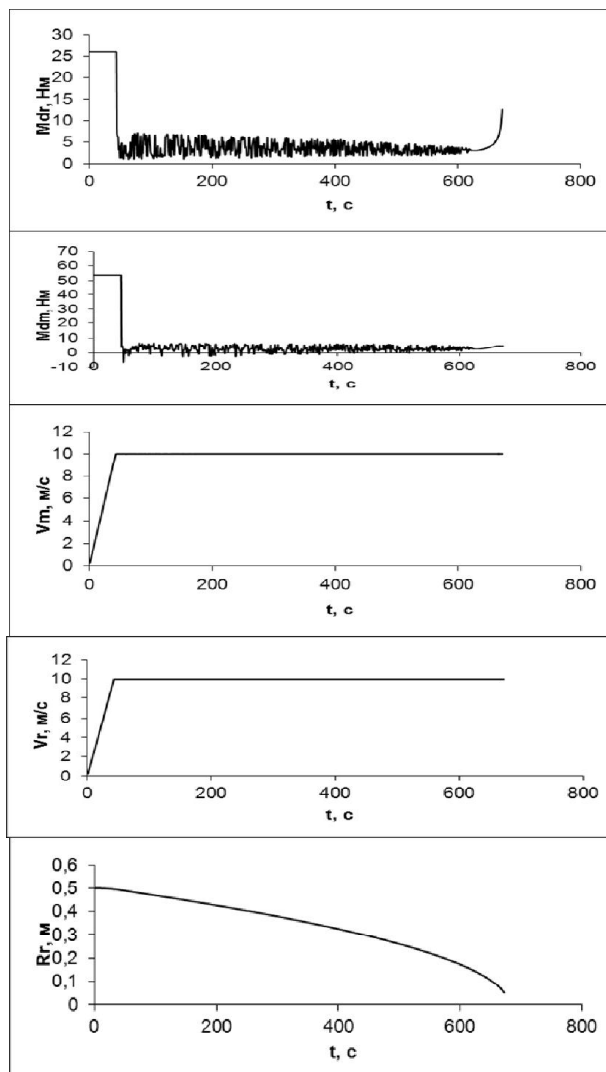


Рис 3. Часові характеристики швидкостей руху смуги і моментів двигунів СМ і рулону при його розмотуванні

На рис. 3 наведені часові характеристики моментів і швидкостей руху смуги на периферії циліндру СМ і рулону при його розмотуванні

з $VRN = 9,95 \text{ м/с} = \text{const}$ і $VMN = 10 \text{ м/с} = \text{const}$. Рулон розмотується від $RR_{\text{max}} = 0,5 \text{ м}$ до $RR_{\text{min}} = 0,05 \text{ м}$ за $t \approx 700 \text{ с}$.

Синтезовані і описані в [1,3] системи цифрового керування (СЦК) приводами за системою ТП-Д з ФДН смуготягнучого механізму СМ і рулону з ПІ-регуляторами швидкостей руху смуги VM на периферії циліндру СМ і VR на периферії рулону, та з ПІ-регуляторами струмів IDM і IDR двигунів СМ і рулону здатні синхронізувати їх рух і рух смуги за умов: 1) автоматизованого прискорення і гальмування руху рулону його двигуном з належно вибраними рушійними і гальмівними моментами; 2) автоматичної зміни рушійного режиму двигуна рулону на гальмівний і навпаки за функцією $\text{sign}(ddvc)$, де $ddvc = VM(t) \cdot VRN / VMN - VR(t)$; 3) вибору таких передаточних чисел IPR і IPM редукторів приводів рулону і СМ і номінальних частот обертання їх двигунів, що вирінують максимальні приведені до валів двигунів моменти інерції приводу рулону JSR_{max} і привода СМ JSM_{max} при їх розгоні з натягнутою смугою, тобто при $fIR(ddvc) = 1$; 4) адаптації регуляторів VR і VM до нестабільності RR, JSR і JSM; 5) сповільнення розгону СМ і рулону збільшенням сталих часу інерції TZVM і TZVR задавачів VM і VR, що сприяє також зменшенню динамічних складових сил натягу смуги в період розгону СМ і R. Для розгону СМ і рулону і розмотування смуги з $VMN = 10 \text{ м/с}$ з силами її натягу і опору розмотуванню рулону 200 Н рекомендується приймати двигуни СМ і рулону з номінальними потужностями близько 4 кВт і з частотами обертання 157 1/с (для СМ) і 314 1/с (для рулону) та редуктори з $IPM = IPR = 1,5$. Регулятори FM і FR в період розгону необхідно блокувати, а замість них можуть застосовуватись регулятори ΔVc і ΔLc електричної синхронізації.

1. Б. Дурняк. Системи цифрового керування розмотуванням рулону друкарського матеріалу з двигуном постійного струму / Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 23. - Львів: УАД.-2009. – С.3-11. 2. Б. Дурняк. Система цифрового керування механізмами розмотування рулону друкарського матеріалу з частотно-регульованими асинхронними двигунами / Б. Дурняк, А. Забрамний, Т. Яремків. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 24.- Львів: УАД.-2010. – С.3-18. 3. Б. Дурняк. Синхронізація руху смуг і стрічок на периферії рулонів, бобін і циліндрів механізмів поліграфічних машин. / Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. Вип. 28.- Львів: УАД, 2012. – С.3-13.