

УДК 681.53

Б. В. Дурняк, А. А. Забрамний, Т. О. Яремків

Українська академія друкарства

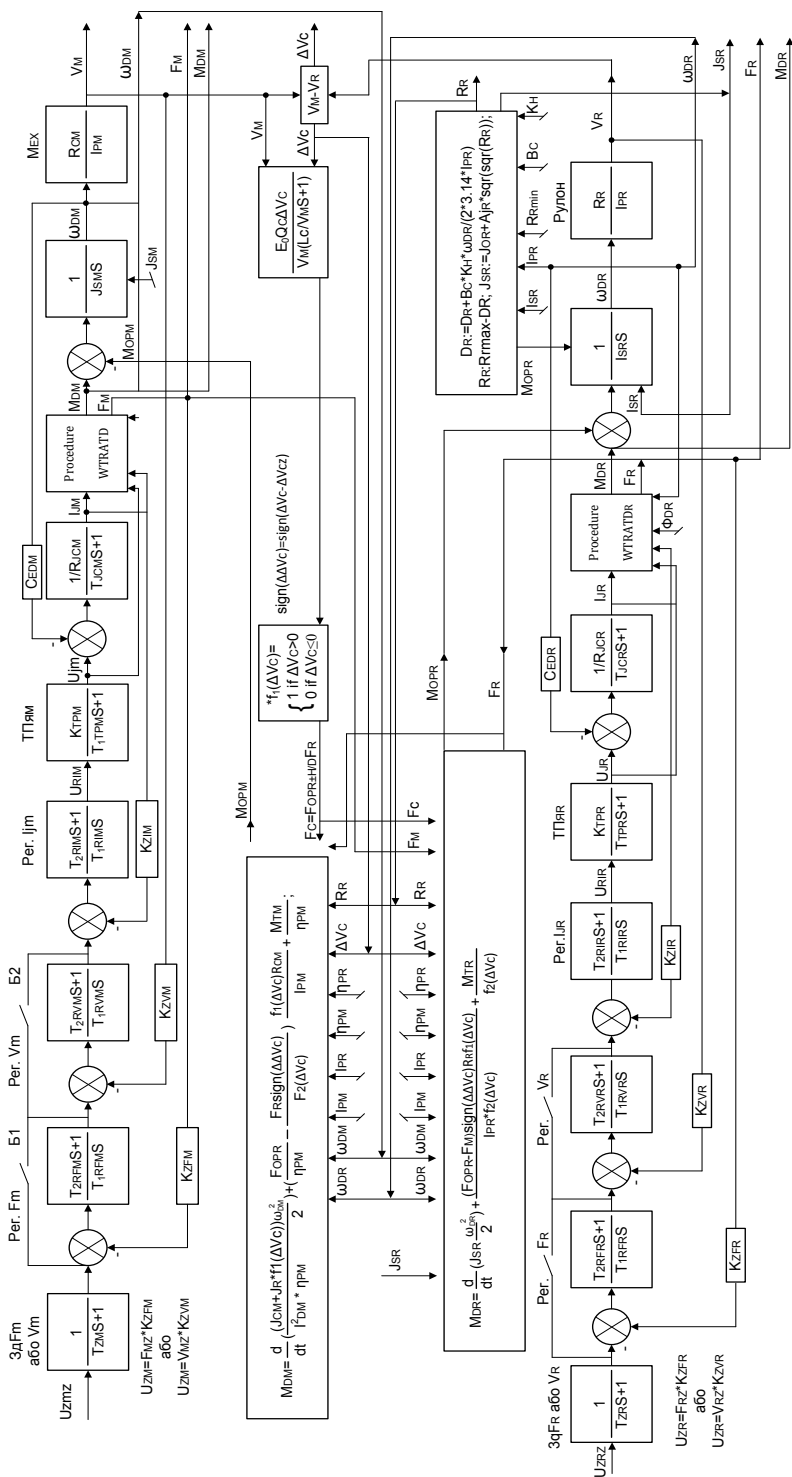
**СТРУКТУРНІ СХЕМИ І МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДІВ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ РУЛОНУ І СМУГОТЯГНУЧОГО
МЕХАНІЗМУ РУЛОННИХ РОТАЦІЙНИХ МАШИН**

Наводяться структурні схеми систем цифрового керування СЦК і програми та основні результати цифрового структурного моделювання приводів з двигунами ДМ і ДР в режимах розгонів.

Рулон, смуготягнучий механізм, привід, моделювання, регулятор, двигун

Для розгону і розмотування рулонів R із заданими швидкостями V_{cz} і силами натягу F_{cz} смуг пропонується застосовувати розроблені нами приводи постійного струму за системою ТР-Д з ФДН [2], або частотно-регульовані асинхронні приводи за системою Pf-AD [3] з цифровими інерційними задавачами і пропорційно-інтегруючими PI-регуляторами F_c , V_c та струмів двигунів ID. Для реалізації функцій задавачів і регуляторів розроблені підпрограми з іменами SAR3 і SAR4 [1–3]. Краще визначати FM і FR на периферії СМ і рулонів та регулювати I-регуляторами (SAR2), а VM і VR — PI-регуляторами (SAR4). Рекомендується обчислювати миттєві радіуси рулонів RR і їх моменти інерції JR за алгоритмами і підпрограмами WTRATD. Вимірювати потрібно лише напруги U_D і струми I_D живлення якорів та частоти обертання ω_D двигунів.

Виготовлювані вітчизняні і зарубіжні приводи з типовими аналоговими та цифровими задавачами, давачами і регуляторами ω_D і I_D не здатні з похибкою $\pm 0,5\%$ визначати і регулювати фактичні F_c і V_c , обчислювати миттєві R_r та моменти інерції J_r , сили опору F_{opr} розмотуванню рулонів, параметри смуг і двигунів, адаптувати в динаміці руху СМ і R регулятори до вказаних та інших нестабільних параметрів елементів СЦК СМ і R . Необхідні спеціалізовані електроприводи, особливо для намотувальних стрічки в бобіни і розмотувальних рулони механізмів PPM, а також додаткові приводи рулонів. Для намотувальних механізмів НМ PPM такі приводи ми синтезували [1]. Подібні їм приводи за системою ТР-Д зі стабілізованими магнітними потоками ФДН двигунів та за системою Pf-AD з цифровими задавачами і PI-регуляторами F_c , V_c і I_D розроблені також для розмотувальних рулони механізмів PPM, однак вони остаточно не досліджені. Сьогодні виконані аналіз і цифрове структурне моделювання лише розгонів приводів СМ і R до заданих робочих $V_{mz} = 10$ м/с і $V_{rz} = 9,95$ м/с з силою натягу заправленої смуги $F_{cz} = 200$ Н. Виявлено, що номінальні потужності попередньо прийнятих у [2] двигунів СМ ($P_N = 2,3$ кВт) і R ($P_N = 1$ кВт) необхідно збільшити до 4–5 кВт і відповідно змінити параметри регуляторів та інших елементів СЦК.



Структурні схеми ЦСК смугоприймальним механізмом СМ і рулоном R з двигуном постійного струму

Потрібно також враховувати, що в періоди розгону СМ і R з заправленою смугою різниця її швидкостей руху на периферії циліндра СМ і рулону $\Delta V_c(t)$ зростає пропорційно $V_c(t)$, і що приведені до валу двигуна СМ сумарний момент інерції JSCM і FOPR залежать від того, чи смуга достатньо натягнута, чи видовжена, тобто залежать від ΔV_c . Тому в рівняннях моментів двигунів СМ і R, а також у програмах моделювання і керування їх приводами передбачені типові функції $\text{sign}(\Delta V_c) = \Delta V_c(t) - \Delta V_{cz}$ (або $\text{sign}(DDVC)$) і нетипові $F1(\Delta V_c) = VM(t) - VR(t)$ і $F2(\Delta V_c)$. $F2(\Delta V_c)$ враховує вплив сил тертя у валу рулону в двигунному і гальмівному режимах його привода.

Структурні схеми приводів СМ і R за системою TP-D зі стабілізованими $\Phi_D = \Phi_{DN}$ і з цифровими задавачами і PI-регуляторами F, V і Id двигунів Dm і Dr зображені на рисунку.

На ньому ж зображені прямокутником підпрограми WTRATD, що визначають за U_d , I_d і ω_D миттєві електромагнітні моменти M_E , а також їх втрати ΔM_E , к.к.д., моменти M_D на валах двигунів, динамічні їх моменти $M_{дин} = d(J_{SD} \frac{\omega_D^2}{2})/dt$ та сили $F_M = M_{DM} * I_{PM} / R_{CM}$ і $F_R = M_{DR} * I_{PR} / R_R$, де I_{PM} і I_{PR} — передаточні числа редукторів. Наведені також формули обчислення R_R за ω_{DR} і J_{SR} за R_R . У період розгонів $R_R = R_{Rmax} = 0,5$ м і $J_{Rmax} = J_{R0} + AR * R_{Rmax}^4 \approx 70$ кгм² [2–3]. Фактично сили натягу смуги F_c можна визначати за ΔV_c [2]:

$$F_c(t) = \frac{E_0 * B_c * L_R (V_M(t) - V_R(t))}{V_c(t) * (T_{cr} S + 1)}, \text{ Н.} \quad (1)$$

Для аналізу і моделювання прийняті номінальні: $V_{CN} = V_{MN} = 10$ м/с; $V_{RN} = 9,95$ м/с; $F_{CN} = F_{MN} = 200$ Н; $F_{OPRN} = 200$ Н (підлягає експериментальному визначенню; $F_{OPR} = f(V_R, R_R, L_R, \eta_n)$). Двигунну (рушійну) «+» F_R і гальмівну «-» F_R силу заданої величини (≤ 200 Н) забезпечує двигун рулону залежно від ΔV_c : $F_R = F_{RZ} * \text{sign}(\Delta V_c)$. Якщо $\Delta V_c(t) = V_{cz}$, тоді $\text{sign}(\Delta V_c(t) - \Delta V_{cz}) = 0$, і момент двигуна рулону перемагає лише сили тертя. Якщо $\Delta V_c(t) > \Delta V_{cz}$, тобто $V_R(t) < V_{RZ}$, тоді $\text{sign}(\Delta V_c) = +1$ і двигун DR повинен прискорювати рух рулону. Навпаки, якщо $\Delta V_c(t) < \Delta V_{cz}$, тоді $\text{sign}(\Delta V_c) = -1$ і момент DR повинен бути і гальмівним. Абсолютна величина M_{DR} може бути короткотривало не більшою $4M_{DRN}$, а отже, і струм якоря $\leq 4I_{DRN}$ при сталому Φ_{DRN} . Гальмівний момент DR створює в генераторному режимі, якщо миттєва ω_{DR} більша ω_{DRxx} (ідеального холостого ходу). Частота обертання $\omega_{DRxx} = U_{jxx} / (K_E * \Phi_{DN})$. Отже, для гальмування потрібно зменшити напругу живлення якоря DR, тобто U_{TP} , $U_{керTP}$ і U_z задавача V_R на вході СЦК DR. Статичні механічні $\omega_{DR} = f(M_{DR})$ і швидкісні $\omega_{DR} = f(I_{DR})$ характеристики DR при $U_j = \text{var}$ лінійні і паралельні в двигунному та гальмівному режимах. У момент зміни двигунного на гальмівний режим (коли $\text{sign}(DDVC) = -1$) миттєві $V_R(t)$ і $F_R(t)$, а отже $\omega_{DR} = V_R * I_{PR} / R_R$ і $M_{DR} = F_R * R_R / (I_{PR} * \eta_{PR})$ визначаються цифровим моделюванням, у т.ч. миттєві $I_{Dj} = M_{DR} / C_{MDN}$ і $\omega_{Dxx} = U_{Dj} / C_{EDN}$, де $U_{Dj} = I_{Dj} * R_{Dj} * C_{EDN} * \omega_{DR}$;

де $CMDN = \text{abs}(CEDN)$. Величина бажаного гальмівного моменту M_D задається не більшою $\text{abs}(4MDN)$. Величина ω_{Dxx} і $M_{DRxx} = 0$ та миттєві ω_{DR} і M_{DR} є координатами лінійної механічної характеристики двигуна, якій паралельна гальмівна характеристика з координатами ω_{Dxx} і $M_{DF} = 0$ та ω_{DR} і M_{DF} (заданого). За вказаними характеристиками визначається ω_{Dxxg} :

$$\omega_{Dxxg} = \omega_{DR} - (\omega_{Dxx} - \omega_{DR}) * \frac{M_{DF}}{M_{DR}}, \quad (2)$$

де ω_{DR} , ω_{DN} і M_{DR} — миттєві величини в двигунному режимі DR . За ω_{Dxxg} гальмівної характеристики визначається необхідна $U_{Jg} = \omega_{Dxxg} * CEDN$ і U_{TRg} та U_{Zg} . Тому для гальмування руху рулону з заданим M_{DRg} необхідно зменшувати миттєву напругу U_{Zpob} у двигунному режимі, наближено, до $U_{Zg} = U_{Zpob} * \omega_{Dxxg} / \omega_{Dxxpob}$. При зміні гальмівного режиму на двигунний DR (коли $\text{sign}(DDVC) = +1$) необхідно збільшувати U_z від U_{Zg} до $U_{Zpob} = U_{ZN} * V_{RZ} / V_{RN}$. Задана $V_{RZ}(t)$ в період розгону рулону нестабільна і менша V_{MZ} на $\Delta V_c(t)$, яка залежить від $V_M(t)$: $\Delta V_c(t) = \Delta V_{cz} * V_M(t) / V_{MZ}$. Якщо миттєва функція $\text{sign}(DDVC) = 0$, тоді U_z необхідно зменшити до нуля.

Функція $F1(\Delta V_c) = 1$ лише при $\Delta V_c > 0$, а в рівняннях моментів приводу CM використовується для прирівнювання нулю J_{SR} і F_{OPR} , коли смуга не заправлена або не натягнута, тобто коли $V_R \geq V_M$.

З урахуванням вищенаведеного отримані такі рівняння моментів приводів CM і рулону:

$$M_{DM} = \frac{d}{dt} \left(\frac{J_{CM} + f_1(\Delta V_c)}{I_{PM}^2 * \eta_{DM}} * \frac{\omega_{DM}^2}{2} \right) + \left(\frac{F_{OPR}}{\eta_{PM}} - \frac{F_R \text{sign}(\Delta \Delta V_c)}{f_2(\Delta V_c)} \right) \frac{f_1(\Delta V_c) R_{CM}}{I_{PM}} + \frac{M_{TM}}{\eta_{PM}}; \quad (3)$$

$$M_{DR} = \frac{d}{dt} \left(J_{SR} \frac{\omega_{DR}^2}{2 * f_2(\Delta V_c)} \right) + \frac{(F_{OPR} - F_M) \text{sign}(\Delta \Delta V_c) * R_R * f_1(\Delta V_c)}{I_{PR} * f_2(\Delta V_c)} + \frac{M_{TR}}{f_2(\Delta V_c)}, \quad (4)$$

де $M_{DM} = F_M * R_{CM} / (I_{PM} * \eta_{PM})$; $J_{CM} = \text{const}$; $J_R = J_0 + A_R R_R^4 = \text{var}$; (в період розгонів CM і R $R_R = R_{Rmax}$ і $J_R = J_{Rmax}$);

$$f1(\Delta V_c) = V_M - V_R = \begin{cases} 1, & \text{if } V_M > V_R \\ 0, & \text{if } V_M \leq V_R \end{cases}, \quad f2(\Delta V_c) = \begin{cases} \eta_{PM}, & \text{if } V_M > V_R \\ \frac{1}{\eta_{PM}}, & \text{if } V_M \leq V_R \end{cases},$$

$$\text{sign}(\Delta \Delta V_c) = \text{sign}(\Delta V_c - \Delta V_{cz}) = \text{sign}(V_M * V_{RN} / V_{MN} - V_R) = \begin{cases} +1, & \text{if } \Delta \Delta V_c > 0 \\ 0, & \text{if } \Delta \Delta V_c = 0 \\ -1, & \text{if } \Delta \Delta V_c < 0 \end{cases},$$

$I_{PM} = \omega_{DM} / \omega_{CM}$; $I_{PR} = \omega_{DR} / \omega_R$; $\omega_{DM} = V_M * I_{PM} / R_{CM}$; $\omega_{DR} = V_R * I_{PR} / R_R$; $\eta_{PM} = \eta_{PR}$ — к.к.д. редукторів CM і R ; M_{DM} і M_{TR} — моменти тертя у валах CM і R ; номінальні (базові): $V_{MN} = 10$ м/с; $V_{RN} = 9,95$ м/с; $\Delta V_{CN} = 0,05$ м/с; $F_{CN} =$

$F_{MN} = 200 \text{ Н}$; $M_{DR} = F_R \cdot \text{sign}(\Delta V_c) \cdot R_r \cdot f_1(\Delta V_c) / (I_{PR} \cdot f_2(\Delta V_c))$. У період розмотування смуги з $V_{CZ} = V_{MZ} = \text{const}$; $V_{RZ} = V_{MZ}(1 - F_{CZ}/E_{CN})$, де $F_{CZ} = F_{MZ} = E_{CN} \cdot \Delta V_{CZ}/V_{MZ}(1)$ або визначається підпрограмою WTRATD за M_{DM} на валу DM , а F_R — за M_{DR} на валу DR ; F_{OPR} може бути визначена лише експериментально, і тому приймається для моделювання наближено сталою величиною 200 Н . У моменти зміни рушійного M_{DR} на гальмівний і короткотривалого гальмування допустимо приймати $J_{SR} = \text{const}$, визначений в попередньому такті цифрового моделювання перед гальмуванням.

Якщо $V_R(t) \leq V_M(t) \cdot V_{RN}/V_{MN}$, тоді смуга натягнута і DM рухає не тільки свої маси з J_{CM} , але і рулон з J_R , та перемагає разом з двигуном рулону моменти тертя M_{TM} і M_{TR} , моменти опору $F_{OPR} \cdot R_{CM}/(I_{PM} \cdot \eta_{PM})$, збільшуючи $V_R(t)$ до V_{RZ} (5). Якщо ж ця швидкість досягнута, то $\text{sign}(\Delta V_c) = 0$, $f_1(\Delta V_c) = 1$ і $M_{DR} = M_{TR}/\eta_{PR}$.

Необхідна для розмотування смуги з усталеними V_{CZ} і F_{CZ} потужність двигуна CM дорівнює: $P_{Dmin} = F_{CN} \cdot V_{CN}/\eta_{DM}$. Якщо $V_{CN} = 10 \text{ м/с}$ і $F_{CN} = 200 \text{ Н}$, то $P_{Dmin} = 2100 \text{ Вт}$. Однак P_{DMN} має бути більшою 2100 Вт , бо F_{CN} різних матеріалів смуг може бути більшою 200 Н , і до того ж, двигуни CM і R повинні розганяти CM і рулон з $J_{CM} = 25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ і $J_{Rmax} = 68 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ (із заправленою, не заправленою або видовженою смугою). Тому для моделювання P_{DN} CM прийнята величиною $4,3 \text{ кВт}$.

Двигун рулону самостійно розганяє рулон з J_{Rmax} до заправляючої $\omega_{ZR} = V_Z/R_{Rmax} = 0,25/0,5 = 0,5 \text{ 1/с}$ і повинен короткотривало, але форсовано і часто прискорювати або сповільнювати рух рулону і смуги, якщо $V_R(t) \neq V_M(t) \cdot V_{RN}/V_{MN}$. При тому допустимо використовувати короткотривало $M_{DRmax} = (3-4)M_{DRN}$. Його P_{DRN} може бути прийнята меншою P_{DMN} (в межах від $2,5$ до 4 кВт) й уточнена моделюванням та експериментально. Двигун рулону з $\Phi_{DN} = \text{const}$ і редуктор PR мають забезпечити $\omega_{Rmax} = V_{RN}/R_{Rmin} = 9,95/0,05 = 200 \text{ 1/с}$, а привід CM — $\omega_{Mmax} = V_{MN}/R_{CM} = 10/0,25 = 40 \text{ 1/с}$. Для зменшення приведених до валів двигунів J_{SM} і J_{SR} , а, отже, збільшення швидкодії СЦК CM і R необхідно використовувати високошвидкісні двигуни з $\omega_{DN} = 314 \text{ 1/с}$ і редуктори з $I_{PM} = 314/40 = 7,8$ і з $I_{PR} = 314/200 = 1,57 \approx 1,5$. Можна використати для CM двигун з $\omega_{DN} = 157 \text{ 1/с}$ і редуктор з $I_{PM} = 3$. Тоді $J_{SM} = J_{OR} + A_J R_R^4$, де $J_{OR} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, а $A_J = 488 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Двигун CM завантажується переважно статичними моментами опору $(F_{OPR} + F_{Rr}) \cdot R_{CM}/(I_{PM} \cdot \eta_{PM})$ і M_{TM}/η_{PM} , а DR — динамічними моментами $J_{SR} d\omega_{DR}/dt$ у періоди розгонів і гальмування рулону і $M_{TR}/f_2(\Delta V_c)$. У періоди розгону CM і R з натягнутою смугою, а також при зміні гальмівного режиму на рушійний DR додатково завантажується момент $(F_{OPR} - F_M) \cdot R_r/(I_{PR} \cdot f_2(\Delta V_c))$. Отож потрібно, щоб DR був здатний розвивати рушійний і гальмівний моменти $\text{abs}(M_{DRmax}) \approx F_{CN} \cdot R_{Rmax}/(I_{PR} \cdot f_2(\Delta V_c)) = 200 \cdot 0,5/(1,5 \cdot 0,98) = 68 \text{ Нм}$ і $M_{DRN} = 68/4 = 17 \text{ Нм}$. Привід рулону має забезпечити також $\omega_{Rmax} = 200 \text{ 1/с}$, тобто $\omega_{DRmax} = 300 \text{ 1/с}$ при $I_{PR} = 1,5$, тобто його потужність $P_{DR} = M_{DRN} \cdot \omega_{DRmax} = 17 \cdot 300 = 5100 \text{ Вт}$. Для моделювання прийнятний DR з $P_{DN} = 4300 \text{ Вт}$, $U_{DN} = 220 \text{ В}$, $\omega_{DN} = 314 \text{ 1/с}$ і $M_{DN} = 14 \text{ Нм}$ та

редуктор з $I_r = 1,5$, які забезпечать $\text{abs}(F_{R\max}) = 4 \cdot M_{DN} \cdot I_{PR} / R_{R\max} = 168 \text{ Н}$, що прийнятно, бо $F_{OPR} = 200 \text{ Н}$ прийнята наближено.

Тиристорні перетворювачі, що живлять двигуни СМ і R повинні при $U_{\text{кер}} = 10 \text{ В}$ витворювати $U_{TP\max} \approx 250 \text{ В}$ і допускати $I_{TP\max} = 4 \cdot I_{DN} = 90 \text{ А}$. Для живлення DR необхідний реверсивний ТР. Інші вихідні дані двигунів ТР СМ і R наведені в основній програмі моделювання СЦК СМ і R.

Законо функціонування регуляторів F_M і F_R (інтегруючі) а також F_c , обчислюваної за ΔV_c (1), V_c , V_M і V_R та I_{DM} і I_{DR} (пропорційно-інтегруючі) обґрунтовані методами теорії систем підпорядкованого регулювання (СПР) [1–5], і при тому отримані наступні формули для визначення коефіцієнтів пропорційного регулювання K_R , сталих часу інтегрування T_{IR} , PI-регуляторів I_{JD} , V_M , V_R , F_c і T_{IR} — I-регуляторів F_M і F_R .

PI-регуляторів якірних струмів D_M і D_R :

$T_{IRI} = 2 \cdot T_\mu \cdot K_{TP} \cdot K_{ZI} / R_{JC}$, де $T_\mu = 0,005 \text{ с} \approx T_{TP}$; $K_{TP} = U_{TP\max} / U_{RN} = 250/10 = 25 \text{ В/В}$; $U_{RN} = 10 \text{ В}$; $K_{ZI} = U_{RN} / I_{D\max}$, В/А ; $I_{D\max} = (3-4)I_{DN}$; $R_{JC} = R_{JD} \cdot 1,5 \text{ Ом}$; $K_{RI} = T_{2RI} / T_{IRI}$, В/В , де $T_{2RI} = T_{JCD}$, с ; $T_{JCD} = 1,5 T_{JD}$; $T_{JD} = L_{JC} / R_{JC}$, с ; L_{JC} — індуктивність якірного кола ТР-D в Ге.

PI-регуляторів V_c , V_M і V_R :

$T_{IRVx} = 4 T_\mu \cdot C_{EN} \cdot R_x \cdot K_{ZVx} (J_{Sx} \cdot I_{Px} \cdot K_{ZIx})$, с , де радіус циліндра СМ або рулону в м; J_{Sx} — приведений до валу двигуна СМ момент інерції СМ ($J_{SCM} = J_{CM} / I_{PM}$) або приведений до валу DR максимальний $J_{SR\max}$ ($J_{SR\max} = J_{R\max} / I_{PR}$; $J_{R\max} = J_0 + A_r \cdot R_{R\max}^4$; $J_0 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $A_r = 1100 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$), $I_{Px} = I_{PM}$ або I_{DR} ; $K_{ZVx} = U_{RN} / V_{XN}$, $\text{В} \cdot \text{с/м}$; $V_{XN} = V_{CN}$ або V_{MN} або V_{RN} ; $K_{RVx} = T_{2RVx} / T_{IRVx}$; $T_{2RVx} = 8 T_\mu$;

PI-регулятора F_c :

$T_{IRFC} = 8 T_\mu \cdot K_{CV} \cdot K_{ZFC} / K_{Z\Delta V_{CN}}$, де $K_{CV} = E_{CV} = E_0 \cdot Q_c / V_{CN}$, $\text{Н} \cdot \text{с/м}$; ($F_c = K_{CV} \cdot \Delta V_c$); $K_{ZVC} = U_{RN} / F_{CN}$; $K_{Z\Delta V_{CN}} = U_{RN} / \Delta V_{CN}$; $\text{В} \cdot \text{с/м}$; $\Delta V_{CN} = V_{MN} - V_{RN}$; $K_{RFC} = T_{2RFC} / T_{IRFC}$; $T_{2RFC} = T_{CV}$;

I-регуляторів F_M і F_R , обчислюваних підпрограмою WTRATD за $M_D = M_E - \Delta M_E$:

$T_{IRFx} = 8 T_\mu \cdot K_{ZFx} \cdot I_{Px}^2 \cdot \eta_{Px} \cdot \eta_{Dx} / (R_x^2 \cdot K_{ZVx})$, де $K_{ZFx} = K_{ZFM}$ або K_{ZFR} ; $K_{ZFx} = U_{RN} / F_x$; $I_{Px} = I_{PM}$ або I_{PR} ; $\eta_{Px} = \eta_{PM}$ або η_{PR} ; $\eta_{Dx} = \eta_{DM}$ або η_{DR} ; $R_x = R_{CM}$ або $R_{R\max}$; $K_{ZVx} = U_{RN} / V_x = 10 / V_{MN}$ або $10 / V_{RN}$.

Потрібно адаптувати параметри регулятора V_R до нестабільності F_R і J_{SR} . Коефіцієнт корекції T_{IRVR} дорівнює: $K_{TIRV} = R \cdot J_{SR\max} / (R_{R\max} \cdot J_{SR})$; миттєва $T_{IRVR} = T_{IRVNB} \cdot K_{TIRV}$, де T_{IRVNB} — базова (номінальна) стала часу. Числові значення параметрів регуляторів та всіх інших елементів СЦК СМ і R наведені в основній програмі моделювання приводів.

В основній програмі моделювання приводів СМ і R PPM за системами ТП-D, описаний, але випадково не наведений у [2], дані параметри СМ, R, смуги, задавачі F_M і F_R або V_M і V_R (якщо регулятори F_M і F_R заблоковані), PI-регулятори F_M і F_R , V_M і V_R , I_{DM} і I_{DR} , T_{PM} і T_{PR} , D_M з $P_N = 2,8 \text{ кВт}$ і D_R з $P_N = 1 \text{ кВт}$ й інші вихідні дані в списку const. Ці параметри замінені нови-

ми для потужніших двигунів СМ (з $P_{DN} = 4300$ Вт, $\omega_{DN} = 157$ 1/с) і рулону (з $P_{DN} = 4300$ Вт, $\omega_{DN} = 314$ 1/с).

Програми моделювання планується транслювати в керуючі програми мовою асемблер (ASM 8080) за допомогою крос-систем трансляції.

На сьогодні програми моделювання використані лише для аналізу розгонів приводів СМ і R до заправочних їх частот обертання $\omega_{ZDM} = V_z \cdot I_{PM} / R_{CM}$ і $\omega_Z = V_z \cdot I_{PR} / R_{Rmax}$ і частково для подальших розгонів із заправленою смугою до заданих $V_{MZ} = 10$ м/с і $V_{RZ} = 9,95$ м/с з $J_{SM} = (J_{CM} + J_{Rmax} \cdot f_1(\Delta V_c)) / I_{PM}^2$ і з $J_{SR} = J_{Rmax} / I_{PR}^2$. Оскільки $J_{CM} = 25$ кгм², а $J_{Rmax} = 68$ кгм² досягти $J_{SM} \approx J_{SRmax}$ відповідних ω_{DMN} і ω_{DRN} та I_{PM} і I_{PR} неможливо, бо від ω_{DN} і I_P залежать необхідні $\omega_M = V_M / R_{CM}$ і $\omega_R = V_R / R_R$, а також моменти M_M і V_R та сили F_M і F_R на периферіях рулону і циліндра СМ. Тому неможливо синхронізувати в часі dV_M/dt і dV_R/dt без примусового регулювання інтенсивності розгонів приводів СМ і R зміною сталих часу T_{ZM} і T_{ZR} задавачів V_M і V_R і використанням D_R як рушійного або гальмівного засобу (привід рулону повинен точно стежити за рухом СМ і забезпечувати сталий натяг смуги без регуляторів F_M і F_R або $F_c = (F_M + F_R) / 2$, бо незначні відхилення $\Delta V_c(t) = V_M(t) - V_R(t)$ від необхідних призводить до значних змін амплітуди F_c коливань $F_c(t)$. Виявлено, що в динаміці потрібно стабілізувати не $\Delta V_{cz} = V_{MZ} - V_{RZ}$, наприклад, $10 - 9,95 = 0,05$ м/с, а $\Delta V_c(t) = \Delta V_{cz} \cdot V_c(t) / V_{cz}$, $\Delta V_c(t) = \Delta V_{cz} \cdot V_c(t) / V_{cz}$, (6) (при $V_c(t) = 5$ м/с, $\Delta V_c(t) = 0,05 \cdot 5 / 10 = 0,025$ м/с, а при $V_c(t) = 2$ м/с і $V_{cz} = 10$ м/с $\Delta V_c(t) = 0,01$.)

Після розгону СМ і R і розмотування смуги з наближено сталими заданими V_{MZ} і V_{RZ} потрібно стабілізувати $\Delta V_{cz} = \Delta V_{CN} \cdot V_{cz} / V_{CN}$, де $V_{CN} = 10 - 9,95 = 0,05$ м/с.

Параметри регуляторів визначені для номінальних (базових) $V_{CN} = V_{MN} = 10$ м/с і $V_{RN} = 9,95$ м/с та для $R_R = R_{Rmax}$ і $J_{SR} = J_{SRmax}$. Отож потрібно адаптувати параметри регуляторів до безперервної зміни $R_R = var$, $J_R = var$ та епізодичних змін інших параметрів, наприклад, товщини B_c , ширини L_R , E_0 смуги, I_{Dmax} (3-4 IDN).

Отже, для автоматизованої стабілізації сил натягу смуги $F_{CN} = 200$ Н у період розгонів до $V_{CN} = 10$ м/с смуготягнучого механізму СМ з $J_{CM} = 25$ кг*м² і рулону R з максимальним радіусом $R_R = 0,5$ м, моментом інерції $J_{Rmax} = 70$ кг*м² і з силою опору розмотуванню $F_{OPR} \approx 200$ Н необхідні двигуни постійного струму з номінальними потужностями P_{DMN} і P_{DRN} не меншими 4 кВт. Прийняті для досліджень двигуни СМ і R з $P_{DN} = 4,3$ кВт, $\omega_{Dmin} = 157$ 1/с, $\omega_{DRN} = 314$ 1/с і редуктори з $I_{PM} = 3$ і $I_{PR} = 1,5$.

Моделюванням розгонів СМ і R підтверджено, що для стабілізації натягу смуги з заданою F_{cz} застосовувати регулятори F_c , яка визначається за $F_c(t) = K_{cv} \cdot \Delta V_c(t) / (T_{cv} S + 1)$, недоцільно, бо в періоди розгонів, особливо при малих $V_{CM}(t)$ і $V_R(t)$, практично неможливо високоточно регулювати $\Delta V_c(t) = \Delta V_{CN} \cdot V_c(t) / V_{CN}$, якщо наприклад $\Delta V_{CN} = V_{MN} - V_{RN} = 10 - 9,95 = 0,05$

м/с, де V_{MN} і V_R — швидкості руху смуги на периферія циліндра СМ і рулону, а $V_{CN} = (V_{MN} + V_{RN})/2$. Малі відхилення ΔV_c від необхідних $\Delta V_c(t)$ призводять до коливної зміни $F_c(t)$ з великою амплітудою (наприклад, якщо $K_{cv} = 4000 \text{ Н*с/м}$). На ефективність регулятора F_c , до того ж, негативно впливає інерційність її визначення за ΔV_c , тобто $T_{CN} = L_c/V_c(t)$, де L_c — довжина смуги між СМ і рулоном. Система цифрового керування СМ і R стійкіша, якщо в періоди розгонів використовуються лише PI-регулятори VM і VR та струмів двигунів. При розгонах СМ і R без програмних засобів синхронізації руху їх приводів виникали недопустимі відхилення ΔV_c від необхідних.

Для дослідження ефективності I-регуляторів F_m і F_r , які можуть обчислюватися за моментами на валах двигунів СМ і R підпрограмою WTRATD, необхідні додаткові, крім основних, технічні дані двигунів, які наводяться в заводських формулярах машин або визначаються експериментально. Не визначена також сила опору розмотування рулону F_{OPR} і її залежність від RR і маси рулону та VR.

В основній програмі моделювання, описаній в [2], уточнені рівняння моментів приводів СМ і R і наведені нові значення параметрів регуляторів, двигунів, J_{CM} , F_{RN} і F_{OPR} .

ОСНОВНА ПРОГРАМА

```

program cskrulona {january. 2012};
label 3, 5;
const Mc=250; {cylindr-mechanizm-cm} Rcm=0.25; Jcm=25;
Jsm=2.25; Fmn=200; Vmn=10;
{smuha C} Lc=0.5; Bc=0.0001; Lr=1; Kh=1.2; Fcn=200; Vcn=10;
Dvcn=0.05; Kcvn=4000;
Tcvn=Lc/Vcn; Ecn=Kcvn*Vcn; Eon=Ecn/(Lr*Bc); {modul} Vzn=0.2;
{zaprawky} Ipm=3;
Kkpm=0.98; Motm=0.5; Ktpm=25; Ttpm=0.008; {CSK TPM-DM}
Pdmn=4300; Udmn=220;
Idmn=22; Mdmn=27.4; Ndmn=157; Ndmmax=165; Kkdmn=0.88;
Rjdm=0.5; Rjcdm=0.7;
Tjdm=0.035; Tjcdm=0.05; Cedm=1.35; Jdm=0.08; TMI=0.005;
{ZAD.FM} Uzfmn=10; Tzfc=0.1; {PI-REG.FC} Urn=10; Urmax=12;
Tlrfc=0.04; T2rfc=Tcvn;
Krfc=2.5; Kzfc=1.25; Tzfm=0.1; T1Rfm=0.04; T2rfm=0.05;
Kzfm=Urn/Fmn;
{I-REG.FM} TIRFM=0.015; Ht=0.001; {ZAD-REG.VM}
Uzvmn=10; Tzvmn=0.1; T1rvn=0.0001; T2rvn=0.04; Krvn=T2rvn/
T1rvn; Kzvm=Urn/Vmn;
{FM=FC;VM=VC;}{PI-REG.IDM:}T1rim=0.06; T2rim=0.04; Kzim=10/
(3*Idmn);
Krim=T2rim/T1rim;

```

```

{Rulon:}RRmax=0.5; RRmin=0.05; JRo=2; AR=1100; Ipr=1.5;
Kkpr=0.98; Motr=0.3;
Foprn=Fcn; Frn=200; Frmax=MDRmax/RRmax*IPR; Vrn=VMN*(1-FMN/
ECN); {TP-DR} Ktpr=25; Ttpr=0.006;
Pdrn=4300; Udrn=220; Idrn=2.2; Ndrn=400; Ndrmax=400; Mdrn=14;
Rjdr=0.35; Tjdr=0.025;
Rjcdr=0.5; Tjcdr=0.035; Kkdrn=0.88; Cedr=0.675; Jdr=0.012;
Jso=0.5; Ajr=1100/(Ipr*Ipr);
Uzfrn=10; Tzfr=0.1; Tlfr=0.04; T2rfr=0.05; Krfr=1.25;
Kzfr=Urn/Frn; {I-REGFR}
Tirfr=0.015; {ZD-REGVR} Uzvrn=10; Tzvr=0.1; DRRmax=0.45;
JSRmax=Jso+Ajr*sqr(sqr(Rrmax)); Jsmin=0.4; Tlrvr=0.00008;
T2rvr=0.04; Kzvr=Urn/Vrn;
Krvrmax=720; Krvrmin=2; {PI-REGIDR} Tlrr=0.0135;
T2rr=Tjcdr;
Kzir=Urn/(4*Idrn); Krir=T2rr/Tlrr; D0=300; Tmax=30;

```

```

DPMexmn=110; Kmexmn=1.2; DPfemn=100; KFemn=0.4; DPMexrn=180;
Kmexc=1.1;
DPfern=40; KFern=0.3;

```

```

type masiv = array[1..mc] of real;

```

```

var mv:masiv; ch:string[200]; ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6,
ch7:string[20]; fil:text;
fmz, uzfmz, uzfm, frz, uzfrz, uzfr, fm, fr, fcz, fc, fopr,
foprz, ulrfm, urfm,
ulrfr, urfr,
vmz, vcz, uzvmz, uzvm, vrz, uzvrz, uzvr, vm, vr, vc, ulrvm,
urvm, ulrvr, urvr,
idm, idr, ulrim, urim, ulrir, urir, utpm, utpr, ndm, ndr,
mdm, mdr, kkdm, kkdr,
mtm, mtr, mopm, mopr, jsr, rr, dvcz, dvc, ddvcz, ddvc, dvm,
dvr, drr, kvz, kv,
t, ktlrvr:real; dc:integer;

```

```

Ndm1, Ndr1, Jsrl, Medn, Medr, Mjdm, Mjdr, Mfm, Mfr:real;

```

```

function sign(x:real):real;
begin sign:=0;
  if x>0 then sign:=1;
  if x<0 then sign:=-1;

```

```
end;

function F1R(x:real):real;
begin F1R:=0;
  if x>0 then F1R:=1;
  if x<0 then F1R:=0;
end;

function F2R(x:real):real;
begin F2R:=0;
  if x=0 then F2R:=0;
  if x<0 then F2R:=-1;
end;

procedure SAR2 (x, T1, h, Ymax:real; var y:real);
begin
  y:=y+x*h/T1;
  if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(y);
end;

procedure SAR3 (x, T1, k, h:real; var y:real);
begin
  y:=y+(x-y/k)*k*h/T1;
end;

procedure SAR4 (x, T1, T2, h, Ymax:real; var y1,y:real);
begin
  y1:=y1+x*h/T1;
  if abs(y1)>Ymax then y1:=Ymax*sign(y1);
  y:=y1+x*T2/T1;
  if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(y);
end;

procedure SAR14 (x, Ymax:real; var y:real);
begin
  y:=Ymax*sign(x);
end;

procedure SAR17 (x, Ymax:real; var y:real);
begin
  y:=x;
  if abs(y)>Ymax then y:=Ymax*sign(x);
end;

procedure WTRATD(Pdn, Udn, Idn, Mdn, Ndn, KKdn, Rj,
Ced,DPmexn, Kmexn, DPfen,
Kfen,HT, Ud, Id, Nd, Nd1, R, Js, Js1:real; var DPmex, DPfe,
DPj, DPd, DPk,
```

```
DPs, Pp, KKd, Med, Mj, Mdf, Fx:real);
```

```
begin
```

```
DPmex:=exp(ln(DPmexn)+Kmexn*ln(abs(Nd)/Ndn));
DPfe:=Kfen*Nd; DPj:=1.2*Rj*sqr(Id);
DPd:=0.01*Ud*sqr(Id)/Idn; DPk:=2*Id;
DPs:=DPmex+DPfe+DPj+DPd+DPk;
Pp:=Pdn*(Ud*Id-DPmex-DPfe)/(Udn*Idn-DPmexn-DPfen);
KKd:=Pp/(Pp+DPs); Med:=Ced*Id;
{Mj:=(Js-Js1)/Ht*Nd*Nd/2+Js*(Nd-Nd1)/HT; }
Mj:=0; Mdf:=(Med*KKd-Mj)*KKPp*Ip;
Fx:=Mdf/R;
```

```
end;
```

```
begin
```

```
Ndm1:=0; Ndr1:=0; Jsrl:=0; Medm:=0; Medr:=0; Mjdm:=0;
Mjdr:=0; Mfm:=0; Mfr:=0;
DPmex:=0; DPfe:=0; DPj:=0; DPd:=0; DPr:=0; DPs:=0; Pp:=0;
KKD:=0; Med:=0; Mj:=0;
Mdf:=0; Fx:=0;

vcz:=10; vc:=0; vmz:=vcz; vm:=0; vrz:=vmz*(1-fcn/ecn);
vr:=0; uzvmz:=urn*vmz/vmz;
uzvm:=0; uzvrz:=urn*vrz/vmn; uzvr:=0; dvcz:=vmz-vrz;
dvc:=0; ddvcz:=0; ddvc:=0;
kvcz:=ecn/vcz; kvc:=kvcz; fcz:=200; fc:=0; fmz:=fcz;
fm:=0; foprz:=0.9*fcz;
fopr:=foprz; frz:=fcz-foprz; fr:=0;
uzfm:=urn*fmz/fmn; uzfm:=0; uzfrz:=urn*frz/fcn; uzfr:=0;
kzfr:=urn/frz; ulrfm:=0;
urfm:=0; ulrfr:=0; urfr:=0; ulrvn:=0; urvm:=0; ulrvr:=0;
urvr:=0; idm:=0; ulrim:=0;
urim:=0; idr:=0; ulrir:=0; urir:=0; utpm:=0; utpr:=0;
ndm:=0; ndr:=0; mtm:=0;
mtr:=0; kkdm:=kkdmn; kkdr:=kkdrn; mdm:=0; mdr:=0; drr:=0;
rr:=rrmax; jsr:=jsrmax;
mopm:=0; mopr:=0; t:=0; dc:=0;

vmz:=10; fmz:=200; vcz:=10; fcz:=200; frz:=20; Foprz:=180;
uzvmz:=Urn*Vmz/Vmn;
vrz:=vmz*(1-fcz/ecn); uzvrz:=urn*vrz/vrn; dvcz:=vmz-vrz;
uzfmz:=urn*fmz/fmn;
uzfrz:=urn*frz/frn; kvcz:=ecn/vmz;
```

```

3:SAR3(uzvmz, tzvm, 1, ht, uzvm); {ZAD.VM}
  SAR3(uzvrz, tzvr, 1, ht, uzvr); {ZAD.VR}
  SAR4(uzvm-kzvm*vm, t1rv, t2rv, ht, urn, ulrv, urvm);
{REG.VM}
  SAR4(uzvr-kzvr*vr, t1rvr, t2rvr, ht, urn, ulrvr, urvr);
{REG.VR}
  SAR4(urvm-kzim*idm, t1rim, t2rim, ht, urn, ulrim, urim);
{REG.IDM}
  SAR4(urvr-kzir*idr, t1rir, t2rir, ht, urn, ulrir, urir);
{REG.IDR}
  SAR3(urim, ttpm, ktpm, ht, utpm);
  SAR3(urir, ttpr, ktpr, ht, utpr);
  SAR3(utpm-cedm*ndm, tjcdm, 1/rjcdm, ht, idm);
  SAR3(utpr-cedr*ndr, tjcdr, 1/rjcdr, ht, idr);
mdm:=cedm*idm*kkdm;
mdr:=cedr*idr*kkdr;
SAR2(mdm-mtm-mopm, jsm, ht, ndmmax, ndm);
SAR2(mdr-mtr-mopr, jsr, ht, ndrmax, ndr);
vm:=ndm*rcm/ipm;
vr:=ndr*rr/ipr;
dvc:=vm-vr;
ddvc:=dvc-dvcz;
SAR3(dvc, lc/vm, ecn/vm, ht, fc);
fc:=fc*f1r(dvc);
mopm:=fc*rcm/(ipm*kkpm);
mtm:=motm*sign(ndm);
fm:=mdm*ipm*kkpm/rcm;
mtr:=motr*sign(ndr);
SAR2(ndr, 2*3.14*ipr/(bc*kh), ht, drrmax, drr);
rr:=rrmax-drr; jsr:=jso+ajr+sgr(sgr(rr));
fr:=0.1*Fcz*sign(ddvc)*dvc/dvcz;
mopr:=fr*rr/ipr*f2r(dvc);
t:=t+ht;
dc:=dc+1;
if dc<d0 then goto 5;
writeln ('T=',T);
dc:=0;
5:if rr>rrmin then goto 3;
end.

```

1. Дурняк Б. Системи керування секціями багатодвигунних рулонних друкарських машин / Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. // Комп'ютерні технології друкарства. — 2009. — Вип. 21. — С. 3–11. 2. Дурняк Б. Системи цифрового керування розмотуванням рулону друкарського матеріалу з двигуном постійного струму / Б. Дурняк,

А. Забрамний, Т. Яремків // Комп'ютерні технології друкарства. — 2009. — Вип. 23. — С. 3–11. 3. Дурняк Б. Система цифрового керування механізмами розмотування рулонів друкарського матеріалу з частотно-регульованими асинхронними двигунами / Б. Дурняк, А. Забрамний, Т. Яремків // Комп'ютерні технології друкарства. — 2010. — Вип. 24. — С. 3–18. 4. Дурняк Б. В. Способи реалізації оптимізованих систем керування електроприводами намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин / Б. В. Дурняк, О. М. Сорочинський, І. А. Забрамна // Наукові записки. — 2006. — Вип. 9. — С. 56–70. 5. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В. И. Круповича и др. — М. : Энергоиздат, 1982. — 416 с.

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА РУЛОНА И СМУГОТЯГНУЧЕГО МЕХАНИЗМА РУЛОННЫХ РОТАЦИОННЫХ МАШИН

Наводятся структурные схемы систем цифрового управления СЦК и программы и основные результаты цифрового структурного моделирования поводов с двигателями ДМ и ДР в режимах разгонов.

FLOW DIAGRAMS AND DESIGNS OF OCCASIONS OF DIRECT- CURRENT OF ROLL AND SMUGOTYAGNUCHEGO OF MECHANISM OF ROLL ROTARY PRESSES

The flow diagrams of the systems of digital management of SCK and programs and basic results of digital structural design of occasions are pointed with the engines of DM and DR in the modes of accelerations.

Стаття надійшла 14.12.2011

УДК 655.3+881.3+517(07)

*І. В. Піх, В. М. Сеньківський**Українська академія друкарства**Р. Р. Андрійв**Національний університет «Львівська політехніка»*

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ФАКТОРІВ КОМПОЗИЦІЙНОГО ОФОРМЛЕННЯ ІМІДЖЕВОЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

Наводяться фактори, які визначають суть композиційного оформлення мультимедійної іміджевої прозентації. Побудовано вихідний граф зв'язків між факторами та відповідну йому матрицю досяжності. У результаті реалізації ітераційних процедур синтезовано ієрархічну модель композиційних факторів іміджевої презентації.

Фактори, презентація, композиція, граф, модель, ієрархія, матриця, ітерація, синтез, пріоритет

Технологія створення електронних видань є відносно новою галуззю, їх асортимент і різноманітність постійно зростають, а тому класифікація цих видань та композиційних факторів їх творення має бути, з одного боку, достатньо повною, з іншого — допускати модифікацію з урахуванням актуальних потреб.

На сьогодні немає науково обгрунтованих підходів щодо апіорного моделювання електронного видання, що визначає актуальність та доцільність постановки і розв'язання задачі з виявлення максимально повної множини композиційних факторів, встановлення експертних оцінок важливості впливу кожного з них на вихідний продукт, аналізу взаємозв'язків і взаємовпливів факторів та їх складових компонентів.

Пропоноване дослідження стосується композиційних факторів творення одного із його типів електронного видання, а саме мультимедійної презентації. Важливим завданням на шляху до створення індивідуального вигляду презентації є розроблення оптимальної композиційної структури — основи дизайнерських рішень.

На основі експертного оцінювання виокремлено такі найсуттєвіші фактори впливу на композиційне оформлення іміджевої мультимедійної презентації: 1 — шрифтове оформлення; 2 — графіки/діаграми/ілюстрації/схеми; 3 — верстання вмістимого слайду; 4 — прозорість дизайну; 5 — навігаційна структура; 6 — анімаційні ефекти; 7 — гармонія єдності стилю оформлення; 8 — рівень наповненості слайдів; 9 — ритм розміщення елементів [1].

Надалі номери факторів вважатимемо їх умовними кодовими ідентифікаторами. Вихідна графічна модель зв'язків між факторами наведена на рис. 1.