

## МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУ ТП ПІДГОТОВКИ ПАПЕРУ ДЛЯ ДРУКУ

*Запропоновані окремі складові математичного забезпечення автоматизованих систем управління технологічних процесів підготовки паперу для друку.*

*The separate components of mathematic maintenance of automated systems control of technology paper preparing process for printing have been offered in this article.*

### 1. ВСТУП

Впровадження передової технології, яка підвищує ефективність сучасного виробництва, повне розкриття її можливостей, забезпечення високих експлуатаційних і техніко-економічних характеристик технологічного устаткування можливі лише при використанні АСУ ТП різного призначення і класів. З цієї метою в поліграфічній промисловості створений міжнародний консорціум у галузі інтеграції процесів у додрукарській, друкарській та післядрукарській стадіях СІР-4 (International Cooperation for the Integration of Process in Prepress, Press, Postpress) призначенням якого, зокрема, є стимулювання комп'ютерної інтеграції всіх процесів, які можуть бути розглянуті у наведеній галузі виробництва.

У роботах [5,6] авторами розглядається доцільність створення ще одного сегменту АСУ поліграфічним виробництвом – автоматизованої системи управління підготовчими процесами (АСУ ПП) (Automated Systems Control Preparation Process) – операцій підготовки паперу та картону для друку. Керування допоміжними процесами складається з низки різноманітних операцій, які належать як до безпосередньо керування роботою технологічного устаткування, так і управління та планування виготовленням вказаних напівфабрикатів.

Наведена у роботі сфера необхідних виробничих функцій підготовчих процесів є досить широкою і розподілена за тривірневою ієрархічною структурою управління та координації всіх технологічних опе-

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

рацій. 1-й рівень  $S^1$  - група виробничого відділу друкарні, яка займається розробкою технічної документації для процесів підготовки паперу і картону для друку та утилізації її відходів, що вміщує  $k^{(2)} = 4$  ділянок підготовчого сегменту друкарні  $S_j^2$ , де  $j$  – номер ділянки ( $j = 1$  – складування паперу та картону,  $j = 2$  – підготовки паперу для друку,  $j = 3$  – підготовки картонних напівфабрикатів,  $j = 4$  – утилізації відходів паперу та картону),  $S_j^2 \subset S^1$ ; 2-й рівень  $S_j^2$  - виробничі ділянки, що вміщують  $k^{(3)}$  виробничих агрегатів  $S_{ji}^3$ , де  $i$  – номер агрегату,  $k^{(3)} = \sum_{i=1}^{p_1} S_{1i}^3 + \sum_{i=1}^{p_2} S_{2i}^3 + \sum_{i=1}^{p_3} S_{3i}^3 + \sum_{i=1}^{p_4} S_{4i}^3$ ,  $S_{ji}^3 \subset S_j^2$ ; 3-й рівень  $S_{ji}^3$  - технологічне устаткування та машини (аркушо-, паперо-, картонорізальні машини (АРМ, ОПРМ), віброштовхувачі тощо).

Багаторівнева структура АСУ ПП може бути представлена у виді наведеного на рис. 1. дерева

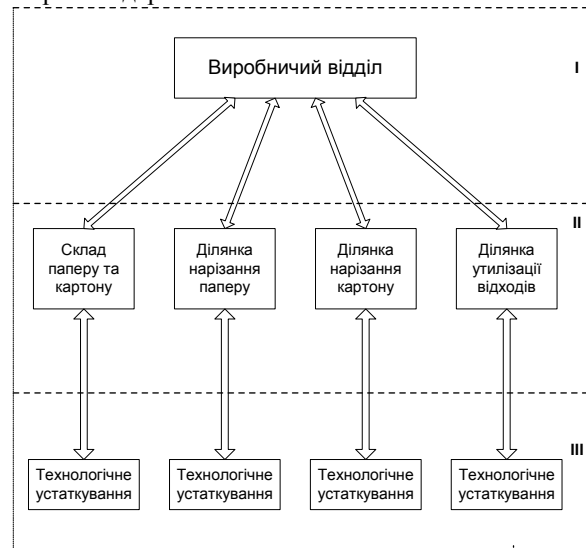


Рис. 1. Структура АСУ ПП в умовах сегментованого виробництва

Одним з основних компонентів які входять у склад будь-якої АСУ ТП [1,2,3,4] є її математичне забезпечення, яке являє собою сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів обробки інформації, які використовуються при розв'язуванні функціональних задач і в процесі автоматизації проектних робіт АСУ.

## 2. ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ УПРАВЛІННЯ

У загальному вигляді цільова функція управління найважливішої ділянки сегменту - підготовки паперу для друку - формулюється як задача управління, при якій геометрична точність розмірів аркушів  $\Delta_p$ , точність (якість) формування країв аркушів (похибки мікронерівностей країв)  $\Delta_{кр}$ , безвідхідність  $W_\Sigma$  та терміни  $T$  виготовлення напівфабрикатів має найбільш вагоме значення. Цільові функції процесів представлені як

$$\Delta_p \rightarrow \min \Delta_p, \Delta_{кр} \rightarrow \min \Delta_{кр}, W_\Sigma \rightarrow \min W_\Sigma, T \rightarrow \min T. \quad (1)$$

## 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АРКУШІВ

Розпізнавання та обробка оптичних сигналів зображення базується на побудові та вивченні математичної моделі досліджуваного об'єкта, яка б втілювала у конструктивній формі всі необхідні відомості, що містять зображення.

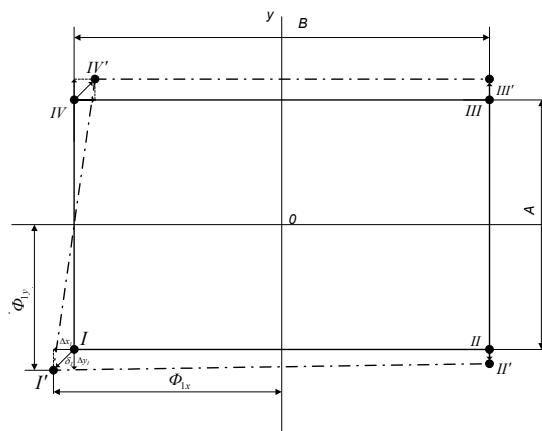


Рис. 2. Геометрична форма аркуша

Модель аркушів, при розрізанні рулону на АРМ та наступному їх підрізанні на ОПРМ, в загальному випадку являє собою прямокутник з відповідними розмірами (A+B). Характерними точками прямокутника (рис. 2) є відповідно точки I, II, III, IV, які умовно назвемо вузлами, та точка перетину діагоналей O (центр симетрії), яку приймемо за початок координат.

Під час виготовлення аркушів можливі зміщення вузлів, Зміщення у вузлі 1 має два компоненти, які в матричному записі мають вигляд

$$\{\sigma_1\} = \begin{Bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

та всі вісім компонентів зміщень аркуша позначені як

$$\{\sigma\}^e = \begin{Bmatrix} \sigma_I \\ \sigma_{II} \\ \sigma_{III} \\ \sigma_{IV} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

Форма реального аркуша не збігається з ідеальною і є чотирикутником зі сторонами, зміщеними по відношенню до ідеальної. Точка краю аркуша з координатами  $(x, y)$  зміщується в точку з новими координатами  $(\varphi_x, \varphi_y)$ . Для точок з відрізків, паралельних осі абсцис, прийmemo  $\varphi_x = x$ , а  $\varphi_y$  обчислюємо з інтерполяційного полінома

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \quad (4)$$

Для ідеального (точного) аркуша у вузлах виконуються такі умови:

$$\begin{array}{llll} \text{для вузла I} & \varphi = \Phi_I & \text{при} & x = -\frac{B}{2}, y = -\frac{A}{2}; \\ \text{для вузла II} & \varphi = \Phi_{II} & \text{при} & x = \frac{B}{2}, y = -\frac{A}{2}; \\ \text{для вузла III} & \varphi = \Phi_{III} & \text{при} & x = \frac{B}{2}, y = \frac{A}{2}; \\ \text{для вузла IV} & \varphi = \Phi_{IV} & \text{при} & x = -\frac{B}{2}, y = \frac{A}{2}. \end{array} \quad (5)$$

Підставляючи вирази (5) в формулу (4), одержуємо систему рівнянь, які розв'язуємо відносно незалежних коефіцієнтів  $\alpha_i$  ( $i=1,4$ ). Тепер після підстановки виразів  $\alpha_i$  в (4) запишемо інтерполяційний поліном у вигляді

$$\varphi = \frac{1}{AB} \left[ \dot{\sigma}_I \left( \frac{B}{2} - x \right) \left( \frac{A}{2} - y \right) + \dot{\sigma}_{II} \left( \frac{B}{2} + x \right) \left( \frac{A}{2} - y \right) + \dot{\sigma}_{III} \left( \frac{B}{2} + x \right) \left( \frac{A}{2} + y \right) + \dot{\sigma}_{IV} \left( \frac{B}{2} - x \right) \left( \frac{A}{2} + y \right) \right] \quad (6)$$

Для визначення  $\varphi_y$  у формулу (6) підставляємо значення координат зміщення характерних точок аркуша по осі ординат  $\Phi_{Iy} - \Phi_{IVy}$ . Аналогічно зміщення точок країв аркуша, паралельних осі ординат  $\varphi_x$  (при  $\varphi_y = y$ ), знаходимо з цієї ж формули, підставивши в неї значення координат зміщення характерних точок аркуша по осі абсцис  $\Phi_{Ix} - \Phi_{IVx}$ .

#### 4. МАТЕМАТИЧНІ УНІФІКОВАНІ СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПІДГОТОВКИ ПАПЕРУ ДЛЯ ДРУКУ

Різноманітність технологічних процесів підготовки паперу для друку суттєво утруднює створення АСУ. Через множину частковостей, які є на множині технологічних операцій, та відповідно в АСУ ТП, ускладнюється не тільки проектування кожної конкретної системи управління, але і побудова інтегрованих АСУ. Одним із методів вирішення проблеми індустріального проектування АСУ ТП є уніфікація основних елементів системи [3] і, зокрема, уніфікації методів та процесів побудови їх математичного забезпечення.

Аналіз технологічних процесів підготовки паперу для друку показує, що операціями обробки, збирання (групування), нарізання та контролю (розподілення), групування практично вичерпується весь їх комплекс. Щоби формулювати уніфіковану структурну модель технологічної операції, введемо три наступних характеристичних параметра: число входів  $n_{вх}$ , число виходів  $n_{вих}$  та обліковий коефіцієнт передачі технологічної операції  $K_y$ .

Обліковим коефіцієнтом передачі за  $i$ -му вході називається відношення лічильного числа фізичних одиниць матеріалів, комплектуючих напівфабрикатів і т. і.,  $Y_{вихj}$ , які поступили на вхід технологічної операції, до лічильного числа фізичних матеріалів, напівфабрикатів, які вийшли з  $j$ -го виходу технологічної операції  $y$ -го виходу технологічної операції  $Y_{вихj}$ . Обліковий коефіцієнт передачі операції  $i$ -го входу за  $j$ -им виходом

$$K_y^{ij} = N_{вихj} / N_{вхі} . \quad (7)$$

У відповідності з комплексом характеристичних параметрів можна дати наступні описи поліграфічних операцій підготовки паперу для друку.

Обробка – операція, яка має для оброблюваного виробу один вхід ( $n_{вх} = 1$ ), один вихід ( $n_{вих} = 1$ ) та обліковий коефіцієнт передачі ( $K_y = 1$ ). Мета операції – виконати будь-яку технологічну обробку виробу (змінити її фізичні або геометричні параметри). Прикладами операції обробки є операції ручного (автоматизованого) зштовхування

аркушів, підрізання стосу на ОПРМ і т. і.  $K_y = 1$  означає, що число виробів (напівфабрикатів), яке поступає на операцію, дорівнює числу виробів, які виходять від неї. Поява відходів, браку і т. і. після операції не заперечує  $K_y = 1$ , а лише означає, що дана операція уявляє собою сукупність операцій «обробки» та «контролю», навіть якщо остання не вказана в структурі технологічного процесу.

Збирання - операція, яка має декілька входів ( $n_{вх} = N$ ) та один вихід ( $n_{вих} = 1$ ) з обліковим коефіцієнтом передачі за будь-яким з входів  $K_y^{ij} = 1$ . Мета операції – агрегувати вироби (наприклад сформувати чотиришарову стрічку на АРМ із відповідно чотирьох встановлених на машині рулонів паперу, групування в пачки стосу аркушів і т. і.).

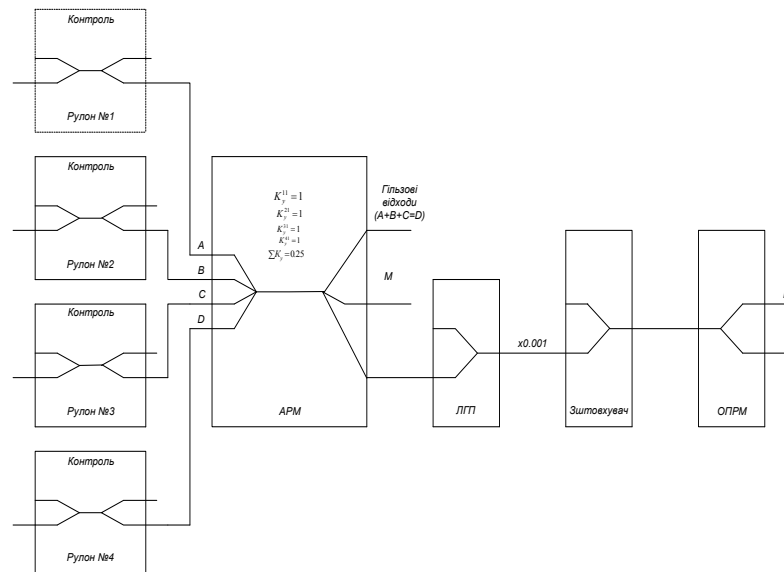


Рис. 3. Структурна модель технологічного процесу підготовки паперу для друку великих тиражів видань

Нарізання має один вхід ( $n_{вх} = 1$ ) та один вихід ( $n_{вих} = 1$ ) з обліковим коефіцієнтом передачі  $K_y^{ij} > 1$ . Прикладом операції нарізання є операції розрізання паперового полотна на аркуші на АРМ або аркушів на смуги на ОПРМ.

Контроль – операція, яка має один вхід ( $n_{\text{вх}} = 1$ ) та декілька виходів ( $n_{\text{вих}} \geq 2$ ) з обліковим коефіцієнтом передачі  $K_y^{ij} \leq 1$  за будь-яким виходом. Мета операції – перевірити якість виробів - направлена, як правило, на їх сортування (тобто розподілення за групами). Прикладом операцій контролю є підготовка рулонів паперу до нарізання на АРМ.

Структури більш складних операцій компонуються на базі структур вищенаведених уніфікованих технологічних операцій. Для прикладу на рис. 3 наведена структурна модель технологічного процесу підготовки паперу для друку великих тиражів видань.

Підготовка паперу для друку невеликих тиражів може здійснюватись, наприклад, шляхом розрізання рулонного паперу попередньо намотаного на мотовилі.

## 5. ФАЗОВА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ЛАНЦЮЖКА (WORKFLOW) ЦИФРОВОГО РОБОЧОГО ПОТОКУ ПІДГОТОВКИ ПАПЕРУ ДЛЯ ДРУКУ

Суттєвим кроком у вирішенні задачі переходу до АСУ ТП є створення систем сіткового планування та управління (систем СПУ) [4,7].

Побудована, на базі системи СПУ, фазова модель виробничого ланцюжка цифрового робочого потоку (Workflow) підготовки паперу для друку, яка наведена на рис. 4, є відносно простою, зручною для розрахунків та аналізу і при використанні ПК та сучасного програмного забезпечення (наприклад Microsoft Office Project 2003) дозволяє швидко визначити наслідки різних варіантів управляючих дій та знаходити найкращі з них.

Наведена модель дає наочне уявлення про хід усього процесу та його окремих частин, дає можливість керівництву своєчасно одержувати достовірну інформацію про стан робіт, про наступні затримки та можливостях прискорення проходження робіт, концентрує увагу керівництва на вирішальних «критичних» роботах, які визначають тривалість виконання комплексу робіт в цілому; стимулюючи роботу з вдосконалення технології та організації саме таких, вирішальних робіт, що дозволяє з мінімальними витратами сил та часу організувати весь комплекс робіт; дозволяє визначати найбільш раціональні в складених обставинах плани робіт; сприяє узгодженню дій співвиконавців та має цілу низку інших позитивних якостей.

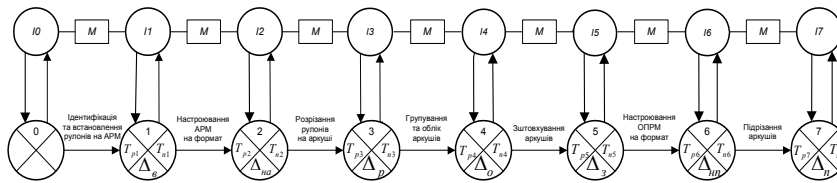


Рис. 4. Фазова модель виробничого ланцюжка (Workflow) цифрового робочого потоку процесів підготовки аркушів паперу для друку:  
 Верхня лінія – потік інформації; нижня лінія – матеріальний потік:  
 1 - ідентифікація та встановлення рулонів на АРМ;  
 2 –настроювання АРМ на формат; 3 – розрізання рулонів на аркуші;  
 4 – групування та облік аркушів лічильно-групуючими пристроями (ЛГП); 5 – зіштовхування аркушів; 6 – настроювання ОПРМ на формат;  
 7 – підрізання аркушів на ОПРМ

## 6. ОБЛІК ВИТРАТ ТА ВІДХОДІВ ПАПЕРУ

В АСУ ТП підготовки паперу для друку, як і в інших сегментах поліграфічного виробництва облік витрат паперу та їх відходів проводиться у трьох одиницях вимірювання: за довжиною рулонного паперу заданої ширини, кількості аркушів заданих розмірів та у вагових параметрах.

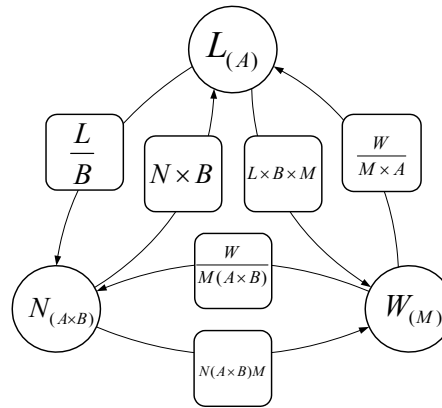


Рис. 5. Граф для обчислення у різних одиницях вимірювання витрат паперу для друку та відходів:  $L_{(A)}$  - довжина рулону шириною  $A$ , м;  $W_{(M)}$  - вага паперу із масою  $M$ , гр;  $N_{(A \times B)}$  - кількість аркушів розміром  $(A \times B)$ ; де  $A$  – довжина аркуша, м;  $B$  – ширина аркуша, м;  $M$  – маса паперу, гр/м<sup>2</sup>



Вибір способу обліку витрат та відходів напівфабрикатів залежить від технологічного процесу обробки паперової продукції. Так, зокрема, на ділянці утилізації відходів паперу та картону облік відходів паперу проводиться шляхом їх зважування. На рис. 5 наведений граф для обчислення у різних формах витрат паперу для друку та відходів.

Граф – це сукупність елементів, над якими здійснюються дії, що переходять з одного стану до іншого. Граф може бути наведений у вигляді стрілочної діаграми. Елементи графа позначаються кружками, які є вершинами графа, а дія над ними – стрілками, які служать дугами графа. В кружках графів наведені форми представлення витрат паперу та їх відходів, а надписи над дугами математичні формули для їх перерахунку.

## 7. ВИСНОВКИ

Отже розроблені окремі складові математичного забезпечення АСУ ТП підготовки паперу для друку як самостійного технологічного сегменту у комп'ютерно-інтегрованій структурі управління друкарні, відповідального за постачання у визначеному обсязі до визначеного терміну та заданої якості напівфабрикатів. Вказаний сегмент має свою внутрішню структуру, яку можна порівняти зі структурою ділянки постачання проміжної продукції.

На базі математичного забезпечення далі створюється програмне забезпечення.

1. *Автоматизовані системи керування технологічними процесами / Фурман І.О., Краснобаєв В.А., Рожков П.П., Тимчук С.О., Радченко С.С. / За редакцією І.О.Фурмана: Підручник для ВНЗ .- Харків: Факт, 2006.- 317 с.*
2. *Автоматизовані системи управління технологічними процесами: Навч. посібник. Частина 1 / Шамша Б.В. – Харків: ХТУРЕ, 1999. -160 с.*
3. *Вальков В.М., Вершин В.Е. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – 3-е изд., перераб. и доп.-Л.: Политехника, 1991.- 268 с.*
4. *Ефимов М.В. Автоматизированное управление полиграфическим производством: Учебник для вузов.- М.: Изд-во МГУП «Мир книги», 1998.-416 с.*
5. *Казьмірович Р.В., Казьмірович О.Р. Проектування АСУ допоміжних процесів як технологічного сегмента в структурі управління друкарні // Наук.-техн. конф.: Тези доп. - Львів: УАД, 2008. - С.94.*
6. *Казьмірович Р.В., Казьмірович О.Р. До питання створення АСУ ТП підготовки паперу для друку // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами. Прогр. і матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., 26-27 листоп. 2009 р. – К.: НУХТ, 2009.-46 с.*
7. *Основные положения по разработке и применению систем сетевого планирования и управления. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., “Экономика”, 1974. – 216 с.*