

**INFORMATION TECHNOLOGY OF VERIFICATION OF MODELS AUTHENTICITY OF INK
PRINTING SYSTEMS WITH THE DRUM CYLINDERS**

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕВІРКИ ДОСТОВІРНОСТІ МОДЕЛЕЙ
ФАРБОДРУКАРСЬКИХ СИСТЕМ З РОЗТИРАЛЬНИМИ ЦИЛІНДРАМИ**

Abstract: *Offset presses ink printing systems are multidimensional objects. There circulate direct and reverse ink flows, mixing up in an axial direction, and there take place some indignations because of the ink delivery device on the input and of the printing form on the output. Mathematical models of such systems, especially those that take into account work of the ink delivery device and of the drum cylinders are really complicated. Therefore in this work we do offer an information technology of verification of models authenticity of the ink printing systems which is based on determination of balance: ink delivery on an input and transmission on an imprint and return in a ductor box.*

Keywords: *information technology; ink printing system; signal graph; ink flows; ink rollers; oscillator (drum), form and offset cylinders.*

INTRODUCTION

The main task of the printing industry is producing of the high-quality printed products. Small and middle enterprises do not have the financial possibility to purchase the modern printing equipment. Bigger printing enterprises buy used machines or new ones, but not with the complete package of the special software of some foreign companies because the price of the printed equipment is really high. The intellectual constituent of such software with the set of control and measuring equipment can be up to 30% from the printing press price. For example, in the set of the VARIO – control system, which is used for the distance adjusting of the screws setting of the zonal adjusting of the printing press inking system, such devices are included: VMG is a device for the reading of information about the zonal distribution of printing and blank elements from the printed form; FSP is the remote control unit equipped by a color display; DMG is the colored densitometer for determination of the printing quality.

Some foreign companies, such as MAN - Roland, KBA, Heidelberg, worked out the new ink delivery control system. Yes, for the achievement of maximum productivity MAN - Roland Company offered the conception of PECOM productive processes electronic management with the integration of printing enterprises separate subdivisions in one productive data bank.

Machines Roland 300, 700, 900, which are

Анотація: *Фарбодрукарські системи офсетних машин є багатомірними об'єктами. В них циркулюють прямі і зворотні потоки фарби, змішуючись між собою в осьовому напрямі, та діють збурення від фарбоживильного пристрою на вході й друкарської форми на виході. Математичні моделі таких систем, особливо ті, які враховують роботу фарбоживильного пристрою і розтиральних циліндрів, є складними. Тому в роботі запропонована інформаційна технологія перевірки достовірності моделей фарбодрукарських систем, яка базується на визначенні балансу: подача фарби на вході – передача на відбиток та повернення у дукторну скриньку.*

Ключові слова: *інформаційна технологія; фарбодрукарська система; сигнальний граф; потоки фарби; фарбові валики; розтиральний, формний та офсетний циліндри.*

ВСТУП

Основним завданням поліграфічного виробництва є випуск високоякісної друкованої продукції. Малі і середні підприємства не мають фінансової можливості придбати сучасне друкарське обладнання. Більш потужні поліграфічні підприємства через велику вартість друкарського обладнання купують вже вживані машини зарубіжних фірм або нові машини, але не з повним пакетом спеціального програмного забезпечення. Інтелектуальна складова такого програмного забезпечення з набором контрольно-вимірювального обладнання може становити до 30% від вартості друкарської машини. Наприклад, до складу системи VARIO-control, яка застосовується для дистанційного регулювання положення гвинтів зонального налагодження фарбової системи друкарської машини, входять такі пристрої: VMG – пристрій для зчитування з друкарської форми інформації про зональний розподіл друкувальних і пробільних елементів; FSP – пульт дистанційного керування, обладнаний кольоровим дисплеєм; DMG – кольоровий денситометр для визначення якості друку.

Деякі зарубіжні фірми, такі як MAN-Roland, KBA, Heidelberg, розробили нові системи керування подачею фарби. Так, для досягнення максимальної продуктивності фірма MAN-Roland запропонувала концепцію електронного керування виробничими процесами PECOM з об'єднанням

equipped with the remote control PECOM Press-Center have automatic control systems of ink delivery zones management. Data about the previous adjusting of paint delivery that can be obtained from the printing form scanner, from preprinting devices or from a database of the earlier performed orders are needed for the operative preparation to the printing process.

Buying by a printing enterprise of such hi-tech printing-presses even with the complete set of auxiliary tools still does not guarantee high quality of the printed products. It can be explained by the fact that the software codes are closed, and that is why there is not possibility to bring in the corrections related to the terms of the real production. In addition, programs which are used for the previous adjusting of the inking systems do not take into account the indignations brought in by the elements of the inking system during the printing process.

PROBLEM STATEMENT

In the last few years a lot of publications from the modeling of ink printing systems have appeared, and the dynamics of ink feeding, pinning-out and rolling on the printing form and its transmissions on a paper, are being investigated. The basic mathematical apparatus that is used by the researchers is z-transformation, graphs and theory of matrices. Mathematical models, especially those that describe zonal adjusting of ink feeding and which take into account the action of drum cylinders, are extraordinarily complicated, and there are no methods of their authenticity verification. Therefore verification of accordance of such models by the real ink printing systems, where the ink flows circulate, is an actual problem.

The main criterion of verification of models accordance to the real ink printing systems is a balance of ink delivery and waste [1, 2]. However, in the given studies is not taken into consideration that part of ink, which returns into a ductor box because in the ink printing systems circulate not only direct, but also reverse ink flows. The amount of ink which returns depends on a form fill-out with the printing elements and this amount can be more than the amount of ink transmitted on a paper. In the study [3] is given balance of ink feeding and waste on an output and its selection on the input, but it concerns only static models in which is not taken into account the work of ink feeder and of drum cylinders.

A lot of works dedicated to the modeling and analysis of the ink printing systems of different structures, where researchers do operate with the thickness parameters of ink flows, have been published at presently. If for static models a transition from the volumes of ink flow to their thickness is obvious, then for models that describe the dynamics of the multizone ink printing systems, this transition is not possible to prove without the use of information technology.

різних підрозділів поліграфічного підприємства в один виробничий банк даних.

Машини Roland 300, 700, 900, оснащені пультом керування PECOM Press-Center, мають автоматичні системи керування зонами подачі фарби. Для їх оперативної підготовки до друку потрібні дані про попереднє налагодження подачі фарби, які можна дістати зі сканера друкарської форми, із додрукарських пристроїв або з бази даних раніше виконаних замовлень.

Придбання поліграфічним підприємством таких високотехнологічних друкарських машин навіть з повним набором допоміжного обладнання ще не гарантує високої якості друкованої продукції. Це можна пояснити тим, що коди програмного забезпечення є закритими, і тому немає можливості вносити корекції, пов'язаної з умовами реального виробництва. Крім того, програми, які використовуються для попереднього налагодження фарбових систем не враховують тих збурень, які вносяться елементами фарбової системи в процесі друку.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За останні роки з'явилася низка публікацій з моделювання фарбодрукарських систем, в яких досліджується динаміка подачі, розкочування та накочування фарби на друкарську форму і передачі її на папір. Основним математичним апаратом, яким користуються дослідники є z-перетворення, графи та теорія матриць. Математичні моделі, особливо ті, які описують зональне регулювання подачі фарби з врахуванням дії розтиральних циліндрів, є надзвичайно складними, а методів перевірки їх достовірності немає. Тому перевірка відповідності таких моделей реальним фарбодрукарським системам, де циркулюють потоки фарби, є актуальною проблемою.

Основним критерієм перевірки відповідності моделей реальним фарбодрукарським системам є баланс подачі та витрати фарби [1, 2]. Однак в даних роботах не враховується та частина фарби, яка повертається в дукторну скриньку за рахунок того, що у фарбодрукарських системах циркулюють, крім прямих, ще й зворотні потоки фарби. Кількість фарби, яка повертається, залежить від заповнення форми друкувальними елементами і може бути більшою від тієї, яка передається на папір. У роботі [3] наводиться баланс подачі та витрати фарби на виході і відбору її на вході, але це стосується лише статичних моделей, які не враховують роботи фарбоживильного пристрою і розтиральних циліндрів.

На даний час опубліковано чимало робіт, присвячених моделюванню та аналізу фарбодрукарських систем різної структури, де оперують параметрами товщин фарбових потоків. Якщо для статичних моделей перехід від об'ємів потоків фарби до їх товщин є очевидним, то для моделей, що описують динаміку багатозонних фарбодрукарських систем, цей перехід не можливо обґрунтувати без застосування інформаційної технології.

Мета даної статті – створення інформаційної

The purpose of the given article is to create the information technology of verification of models authenticity of the ink printing systems and grounding of transition from the analysis of transmission of ink flow volumes to the thickness.

MAIN ARTICLE

We shall consider the process of ink distribution and transmission on the example of the ink printing system of GTO 52 offset printing-press of Heidelberg Company, the chart of which is presented on the Fig. 1. The thickness of ink layer which flows out from a crack between the ductor knife (DN) and ductor cylinder (DC) is set by the corresponding regulation organs (RO). Ink layer from the ductor cylinder surface is passed by a transmission roller to the first vibrator roller of the ink system. While rotation the ink conveying roller fluctuates simultaneously. Farther the ink flows are transported by the system of rollers and cylinders to the form rollers that are on a chart in positions 6, 7, 12 and 13.

In the process of transmission ink flows are summing up while entering the places of contact of elements of the ink system and are divided while leaving them. In addition, the ink flows under the action of drum cylinders move in an axial direction also, mixing up. From the surface of the form rollers the ink flows are then passed on the printing elements of the form fixed on the forming cylinder (FC). After that from the printing form surface ink is passed on a paper through the offset cylinder. For solving of the given problem we have worked out the simplified model of the ink printing system, that takes into account only two form rollers 6, 7 and one drum cylinder that is in position 5, but we will not take into account rollers and cylinders on the chart of the ink printing system (Fig. 1) in positions 5-13.

On the basis of the works [4, 5] and taking into account the terms accepted above, we do construct a corresponding signal graph according to the ink printing system chart. On Fig. 2. is given the part of such graph which includes only 3 nearby zones, and in the offset printing-press of GTO - 52 there are 16 such zones.

Input knot of every graph zone is relevant to the ink flows volume that is given on the input of the ink printing system and returns to a ductor box, and output knot responds to the amount of ink which is passed on the paper. All the other graph knots respond the ink flows volumes within the limits of j -t zone in the places of contact of ink printing system elements $Q_i^j, Q_i^j, Q_{f1}^j, Q_{f2}^j, Q_{of}^j, Q_p^j$. Within the limits of every j -t zone knots are connected by the spires that respond the operators of transmission of direct and reverse ink flows in a circular direction, and circuits that connect knots of nearby zones respond the operators of transmission of direct and reverse ink flows in axial direction. Signal graphs evidently represent the process of ink pinning-out and transmission and are convenient for the construction of ink printing systems simulators in the Matlab-Simulink environment.

технології перевірки достовірності моделей фарбодрукарських систем та обґрунтування переходу від аналізу передачі об'ємів потоків фарби до їх товщин.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Розглянемо процес розподілу і передачі фарби на прикладі фарбодрукарської системи офсетної друкарської машини GTO-52 фірми Heidelberg, схема якої представлена на рис. 1. Товщина шару фарби, що виходить з щілини між дукторним ножом ДН і циліндром ДЦ, задається відповідними регулювальними органами РО. Шар фарби з поверхні дукторного циліндра передається передавальним валиком до першого розкочувального валика фарбової системи. Передавальний валик, обертаючись, одночасно здійснює коливальний рух. Далі потоки фарби транспортуються системою валиків і циліндрів до накочувальних валиків, які знаходяться на схемі в позиціях 6, 7, 12 і 13.

У процесі передачі потоки фарби сумуються при входженні в місця контакту елементів фарбової системи і діляться при виході з них. Крім того, потоки фарби під дією розтиральних циліндрів переміщуються ще й в осьовому напрямі, змішуючись між собою. З поверхні накочувальних валиків потоки фарби передаються на друкувальні елементи форми, яка закріплена на формному циліндрі ФЦ. Далі фарба з поверхні друкарської форми через офсетний циліндр передається на папір. Для вирішення поставленої проблеми розробимо спрощену модель фарбодрукарської системи, яка враховує лише два накочувальні валики 6, 7 і один розтиральний циліндр, що знаходиться в позиції 5, при цьому не будемо враховувати валики і циліндри на схемі фарбодрукарської системи (рис. 1) в позиціях 5-13.

На основі праць [4, 5] і враховуючи прийняті вище умови, будуємо за схемою фарбодрукарської системи відповідний сигнальний граф. На рис. 2 подано частину такого графа, до складу якого входять лише три сусідні зони, а в офсетній друкарській машині GTO-52 таких зон 16.

Вхідний вузол кожної зони графа відповідає об'єму потоків фарби, яка подається на вхід фарбодрукарської системи та повертається в дукторну скриньку, а вихідний вузол – кількості фарби, яка передається на папір. Всі інші вузли графа відповідають об'ємам потоків фарби в межах j -тої зони в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи $Q_i^j, Q_i^j, Q_{f1}^j, Q_{f2}^j, Q_{of}^j, Q_p^j$. Вузли з'єднані в межах кожної j -тої зони вітками, які відповідають операторам передачі прямих і зворотних потоків фарби в коловому напрямі, а вітки, які з'єднують між собою вузли сусідніх зон, відповідають операторам передачі прямих і зворотних потоків фарби в осьовому напрямі. Сигнальні графи наочно відображають процес розкочування і передачі фарби та є зручними для побудови симуляторів фарбодрукарських систем в середовищі *Matlab-Simulink*.

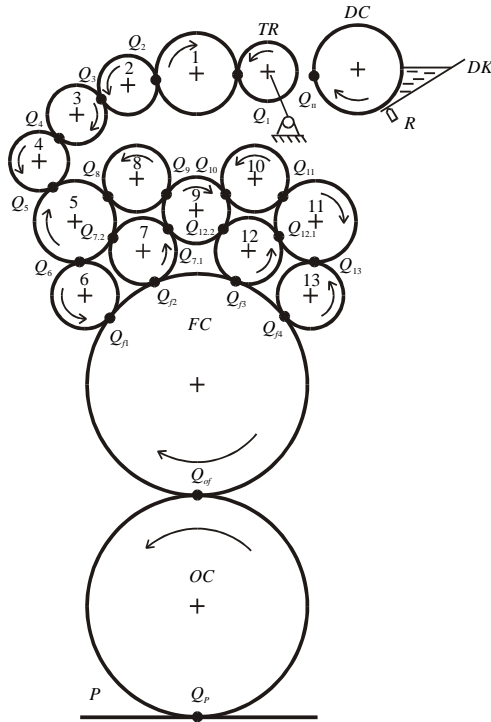


Fig. 1 – Chart of the Heidelberg ink printing system GTO-52 / Схема фарбодрукарської системи Heidelberg GTO-52

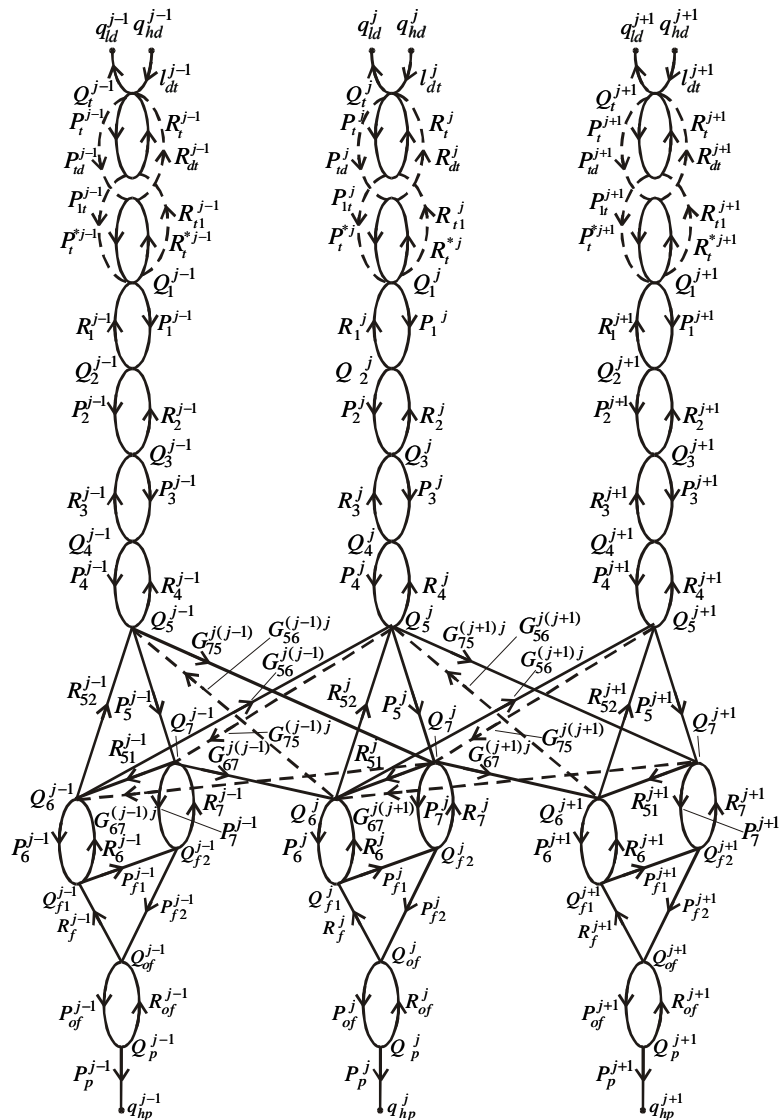


Fig. 2 – Graph of ink printing system / Граф фарбодрукарської системи

For making of mathematical model we do accept next assumptions: the ink printing system is conventionally divided into zones from the input to output; every amount of zones responds the amount of regulation organs of ink supply; width of zones is equal; volumes of ink flows respond the amount of ink, that is passed by the elements of the ink printing system during one conditional time unit; linear speeds of rollers and cylinders surfaces are equal; the diameters of rollers and cylinders have different sizes; T is the time during which ink will move on the surface of rollers and cylinders on one millimeter and is equal to one conditional unit; the amount of ink, that is passed by an offset cylinder on the ink printing system output on the paper, depends on the thickness of it layer and area of printing elements on a form; due to circulation of backward ink flows the part of ink that that is supplied on the every zone input returns back to a ductor box.

On the basis of the accepted above assumptions and scientific works [6, 7, 8], in accordance with the graph represented on Fig. 2, we lay down the system of equalizations that represents the process of ink flows transmission in j -t zone:

$$\begin{aligned}
 q_{hd}^j(z) &= P_d^j(z)q_{hd}^j(z); & q_{id}^j(z) &= R_d^j(z)Q_i^j(z); \\
 Q_t^j(z) &= P_d^j(z)q_{hd}^j(z) + R_t^j(z)P_s^j(z)P_t^j(z)Q_t^j(z) + [R_t^j(z)R_{t1}^j(z) + R_{dt}^j(z)R_t^{*j}(z)]Q_i^j(z); \\
 q_{ht}^j(z) &= [P_{tr}^j(z)P_t^j(z) + P_t^{*j}(z)P_{td}^j(z)]Q_i^j(z) + P_t^{*j}(z)P_r^j(z)R_t^{*j}(z)Q_i^j(z); \\
 Q_i^j(z) &= [P_{tr}^j(z)P_t^j(z) + P_t^{*j}(z)P_{td}^j(z)]Q_i^j(z) + P_t^{*j}(z)P_r^j(z)R_t^{*j}(z)Q_i^j(z) + R_1^j(z)Q_2^j(z); \\
 q_{h1}^j(z) &= [P_r^j(z)\alpha_1 + \bar{P}_r^j(z)]Q_i^j(z); \\
 q_{it}^j(z) &= R_t^j(z)P_s^j(z)P_t^j(z)Q_i^j(z) + [R_t^j(z)R_{t1}^j(z) + R_{dt}^j(z)R_t^{*j}(z)]Q_i^j(z); \\
 Q_2^j(z) &= P_1^j(z)Q_1^j(z) + R_2^j(z)Q_3^j(z); & q_{h2}^j(z) &= P_2^j(z)Q_2^j(z); & q_{i1}^j(z) &= R_1^j(z)Q_2^j(z); \\
 Q_3^j(z) &= P_2^j(z)Q_2^j(z) + R_3^j(z)Q_4^j(z); & q_{h3}^j(z) &= P_3^j(z)Q_3^j(z); & q_{i2}^j(z) &= R_2^j(z)Q_3^j(z); \\
 Q_4^j(z) &= P_3^j(z)Q_3^j(z) + R_4^j(z)Q_5^j(z); & q_{h4}^j(z) &= P_4^j(z)Q_4^j(z); & q_{i3}^j(z) &= R_3^j(z)Q_4^j(z); \\
 Q_5^j(z) &= P_4^j(z)Q_4^j(z) + R_{52}^j(z)Q_6^j(z) + G_{56}^{j(j-1)}(z)Q_6^{j-1}(z) + G_{56}^{j(j+1)}(z)Q_6^{j+1}(z); \\
 q_{h5}^j(z) &= P_5^j(z)Q_5^j(z); & q_{i4}^j(z) &= R_4^j(z)Q_5^j(z); \\
 Q_6^j(z) &= P_{51}^j(z)Q_7^j(z) + R_6^j(z)Q_{f1}^j(z) + G_{67}^{j(j-1)}(z)Q_7^{j-1}(z) + G_{67}^{j(j+1)}(z)Q_7^{j+1}(z); \\
 q_{h6}^j(z) &= P_6^j(z)Q_6^j(z); & q_{i52}^j(z) &= R_{52}^j(z)Q_6^j(z); \\
 Q_7^j(z) &= P_5^j(z)Q_5^j(z) + R_7^j(z)Q_{f2}^j(z) + G_{75}^{j(j-1)}(z)Q_5^{j-1}(z) + G_{75}^{j(j+1)}(z)Q_5^{j+1}(z); \\
 q_{h7}^j(z) &= P_7^j(z)Q_7^j(z); & q_{i51}^j(z) &= R_{51}^j(z)Q_7^j(z); \\
 Q_{f1}^j(z) &= P_6^j(z)Q_6^j(z) + R_f^j(z)Q_{of}^j(z); & q_{hf1}^j(z) &= P_{f1}^j(z)Q_6^j(z); & q_{i6}^j(z) &= R_6^j(z)Q_{f1}^j(z); \\
 Q_{f2}^j(z) &= P_{f1}^j(z)Q_{f1}^j(z) + P_7^j(z)Q_7^j(z); & q_{hf2}^j(z) &= P_{f2}^j(z)Q_{f2}^j(z); & q_{i7}^j(z) &= R_7^j(z)Q_{f2}^j(z); \\
 Q_{of}^j(z) &= P_{f2}^j(z)Q_{f2}^j(z) + R_{of}^j(z)Q_p^j(z); & q_{hof}^j(z) &= P_{of}^j(z)Q_{of}^j(z); & q_{if}^j(z) &= R_f^j(z)Q_{of}^j(z); \\
 Q_p^j(z) &= P_{of}^j(z)Q_{of}^j(z); & q_{hp}^j(z) &= P_p^j(z)Q_p^j(z); & q_{iop}^j(z) &= R_{of}^j(z)Q_p^j(z), \quad (1)
 \end{aligned}$$

where $j=1,2,3,\dots,m$ – is the amount of zones of ink supply adjusting; $Q_t^j(z)$, $Q_i^j(z)$, $Q_2^j(z)$, ..., $Q_7^j(z)$ are volumes of ink flows within the limits of separate zone in the places of contact of elements of the ink printing system, which deliver and roll out ink; $q_{ht}^j(z)$, $q_{h1}^j(z)$, $q_{h2}^j(z)$, ..., $q_{h7}^j(z)$, $q_{hof}^j(z)$ – are volumes of direct ink flows on the roller and cylinders surfaces and accordingly to the reverse

Для складання математичної моделі приймаємо наступні допущення: фарбодрукарська система умовно розділена на зони від її входу до виходу; кожна кількість зон відповідає кількості регулювальних органів подання фарби; ширини зон рівні між собою; об'єми потоків фарби відповідають кількості фарби, яка передається елементами фарбодрукарської системи за одну умовну одиницю часу; лінійні швидкості поверхонь валиків і циліндрів рівні між собою; діаметри валиків і циліндрів мають різні величини; T – час, за який фарба переміститься на поверхні валиків і циліндрів на один міліметр, дорівнює одній умовній одиниці; кількість фарби, яка передається офсетним циліндром на виході фарбодрукарської системи на папір, залежить від товщини її шару та площі друкувальних елементів на формі; завдяки циркуляції зворотних потоків фарби частина її, що подається на вхід кожної зони, повертається назад в дукторну скриньку.

На основі вище прийнятих допущень та наукових праць [6, 7, 8], відповідно до графа, зображеного на рис. 2, складемо систему рівнянь, яка відображає процес передачі потоків фарби в j -тій зоні:

де $j=1,2,3,\dots,m$ – кількість зон регулювання подання фарби; $Q_t^j(z)$, $Q_i^j(z)$, $Q_2^j(z)$, ..., $Q_7^j(z)$ – об'єми потоків фарби в межах окремої зони в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи, які подають і розкочують фарбу; $q_{ht}^j(z)$, $q_{h1}^j(z)$, $q_{h2}^j(z)$, ..., $q_{h7}^j(z)$, $q_{hof}^j(z)$ – об'єми прямих потоків фарби на поверхнях валиків і циліндрів та

flows $q_{it}^j(z)$, $q_{i1}^j(z)$, $q_{i2}^j(z)$, ..., $q_{i7}^j(z)$, $q_{iof}^j(z)$; $Q_{f1}^j(z)$, $Q_{f2}^j(z)$ are volumes of ink flows in the places of contact of the form rollers with the printed form; $Q_{of}^j(z)$, $Q_p^j(z)$ are volumes of ink flows in the places of contact of offset cylinder with a form and paper sheets; $q_{hd}^j(z)$ is a volume of ink portion that is given on the input of j -t zone of the ink printing system; $q_{hp}^j(z)$ – is a volume of ink on the surface of j -t imprint zone ; $P_i^j(z)$, $P_1^j(z)$, $P_2^j(z)$, ..., $P_7^j(z)$, $P_{f1}^j(z)$, $P_{f2}^j(z)$, $P_{of}^j(z)$ are operators of lines transmission and $R_i^j(z)$, $R_1^j(z)$, $R_2^j(z)$, ..., $R_7^j(z)$, $R_f^j(z)$, $P_{of}^j(z)$ – of reverse ink flows within the j -t zone of the rollers and cylinders surface; $P_p^j(z)$ is an operator of ink transmission from an offset cylinder on the paper; $G_{56}^{j(j-1)}(z)$, $G_{67}^{j(j-1)}(z)$, $G_{75}^{j(j-1)}(z)$ are operators of ink flows transmission between the zones while the drum cylinder to the left and to the right $G_{56}^{j(j-1)}(z)$, $G_{67}^{j(j+1)}(z)$, $G_{75}^{j(j+1)}(z)$.

For the construction of structural chart of ink printing simulator we make more detailed operators of ink transmission by rollers and cylinders.

Operators of ink transmission by the ink printing device taking into account the results of work [8] in z -images will look like that:

$$\begin{aligned} P_d^j(z) &= P_s(z)z^{-P_d}; & R_d^j(z) &= \gamma_i z^{-r_d}; \\ P_t^{*j}(z) &= P_r(z)z^{-P_t}; & R_t^{*j}(z) &= \gamma_1 P_r(z)z^{-r_t}; \\ R_{dt}^j(z) &= \bar{P}_r(z)z^{-R_d}; & P_{it}^j(z) &= \bar{P}_s(z)z^{-P_t}; \end{aligned}$$

where α_i , γ_i are coefficients of direct and reverse ink flows transmission in the place of contact of transmission roller with the ductor cylinder; $P_d^j(z)$, $R_d^j(z)$ are operators of ink transmission by the ductor cylinder surface from the ink box to position of contact with a transmission roller in direct and reverse directions; $P_t^j(z)$, $R_t^j(z)$ are operators of ink transmission by the surface of transmission roller during its mutual motion with a ductor cylinder and first roller of distribution group; $P_t^{*j}(z)$, $R_t^{*j}(z)$; $P_{it}^j(z)$, $P_{it}^j(z)$ are operators of ink transmission, that take into account stand out of the transmission roller near the ductor cylinder and moving to the first distribution roller; $R_{it}^j(z)$, $R_{it}^j(z)$ are operators of ink transmission, that reflect moving of the transmission roller from the distribution roller to the ductor cylinder and it stand from work till the beginning of their mutual motion; $P_s(z)$, $P_r(z)$ are operators that set mutual motion duration of transmission roller with a ductor cylinder and first distributing roller; z^{-P_d} , z^{-r_d}

відповідно зворотних потоків $q_{it}^j(z)$, $q_{i1}^j(z)$, $q_{i2}^j(z)$, ..., $q_{i7}^j(z)$, $q_{iof}^j(z)$; $Q_{f1}^j(z)$, $Q_{f2}^j(z)$ – об'єми потоків фарби в місцях контакту накочувальних валиків з друкарською формою; $Q_{of}^j(z)$, $Q_p^j(z)$ – об'єми потоків фарби в місцях контакту офсетного циліндра з формою та паперовими аркушами; $q_{hd}^j(z)$ – об'єм порції фарби, що подається на вхід j -тої зони фарбодрукарської системи; $q_{hp}^j(z)$ – об'єм фарби на поверхні j -тої зони відбитка; $P_i^j(z)$, $P_1^j(z)$, $P_2^j(z)$, ..., $P_7^j(z)$, $P_{f1}^j(z)$, $P_{f2}^j(z)$, $P_{of}^j(z)$ – оператори передачі прямих та $R_i^j(z)$, $R_1^j(z)$, $R_2^j(z)$, ..., $R_7^j(z)$, $R_f^j(z)$, $P_{of}^j(z)$ – зворотних потоків фарби в межах j -тої зони поверхні валиків і циліндрів; $P_p^j(z)$ – оператор передачі фарби з офсетного циліндра на папір; $G_{56}^{j(j-1)}(z)$, $G_{67}^{j(j-1)}(z)$, $G_{75}^{j(j-1)}(z)$ – оператори передачі потоків фарби між зонами при русі розтирального циліндра вправо та вліво $G_{56}^{j(j-1)}(z)$, $G_{67}^{j(j+1)}(z)$, $G_{75}^{j(j+1)}(z)$.

Для побудови структурної схеми симулятора фарбодрукарської системи деталізуємо оператори передачі фарби валиками і циліндрами.

Оператори передачі фарби фарбоживильним пристроєм з врахуванням результатів роботи [8] в z -зображеннях матимуть наступний вигляд:

$$\begin{aligned} P_t^j(z) &= [P_s(z)\alpha_i + \bar{P}_s(z)]z^{-P_t}; & R_t^j(z) &= P_s(z)z^{-r_t}; \\ P_{it}^j(z) &= [P_s(z)\alpha_i + \bar{P}_s(z)]z^{-P_t}P_s(z)z^{-r_t}P_s(z)z^{-P_t}; \\ R_{it}^j(z) &= \gamma_1 z^{-r_t}P_r(z)z^{-P_t}\bar{P}_r(z)z^{-R_d}; \end{aligned} \quad (2)$$

де α_i , γ_i – коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків фарби в місці контакту передавального валика з дукторним циліндром; $P_d^j(z)$, $R_d^j(z)$ – оператори передачі фарби поверхнею дукторного циліндра від фарбової скриньки до позиції його контакту з передавальним валиком у прямому і зворотному напрямках; $P_t^j(z)$, $R_t^j(z)$ – оператори передачі фарби поверхнею передавального валика під час його спільного руху з дукторним циліндром та першим валиком розкочувальної групи; $P_t^{*j}(z)$, $R_t^{*j}(z)$; $P_{it}^j(z)$, $P_{it}^j(z)$ – оператори передачі фарби, що враховують вистій передавального валика біля дукторного циліндра та переміщення до першого розкочувального валика; $R_{it}^j(z)$, $R_{it}^j(z)$ – оператори передачі фарби, які відображають переміщення передавального валика від розкочувального валика до дукторного циліндра і вистій до початку їх спільного руху; $P_s(z)$, $P_r(z)$ – оператори, що задають тривалість спільного руху передавального валика з дукторним циліндром і першим розкочуваль-

– transport delays of ink transmission by the ductor cylinder surface and, z^{-P_i} , z^{-r_i} – of transmission roller; $z^{-P_{st}}$ is the delay that takes into account stand time of transmission roller near the ductor cylinder along with the time of it moving to the rider roller; $z^{-R_{is}}$ is the delay, that responds the time of transmission roller movement from the rider roller to the ductor cylinder along with the time of it stand out near the ductor and till the beginning of their mutual movement. It is possible to give operators of ink transmission by the elements of the ink printing system in circular direction on the basis of work [7] in such way:

$$\begin{aligned} P_s^j(z) &= (\alpha_s - \alpha_{s_l}(z) - \alpha_{s_r}(z))z^{-P_s}; & R_{s1}^j(z) &= (\gamma_{s1} - \gamma_{s1r}(z) - \gamma_{s1l}(z))z^{-R_{s1}}; & R_{s2}^j(z) &= (\gamma_{s2} - \gamma_{s2r}(z) - \gamma_{s2l}(z))z^{-R_{s2}}; \\ P_i^j(z) &= \alpha_i z^{-P_i}; & R_i^j(z) &= \gamma_i z^{-R_i}; & P_{f1}^j(z) &= \alpha_{f1} F^j(z) z^{-P_{f1}}; & P_{f2}^j(z) &= \alpha_{f2} F^j(z) z^{-(P_{f1}+P_{f2})}; & R_f^j(z) &= \gamma_f z^{-R_f}; \\ P_{of}^j(z) &= \alpha_{of} z^{-P_{of}}; & R_{of}^j(z) &= \gamma_{of} z^{-R_{of}}; & P_p^j(z) &= \beta; \end{aligned} \quad (3)$$

where α_i , α_f , α_{of} – coefficients of direct and backward transmission – γ_i , γ_f , $\gamma_{of} = (1 - \beta)$ of ink flows in the places of contact of elements of the ink printing system; i – rollers and cylinders position on the model chart; $F^j(z)$ – it is an operator of transmission by the ink printing form; β is coefficient of ink transmission from the surface of offset cylinder on the paper; z^{-P_i} , z^{-R_i} , $z^{-P_{fj}}$, $z^{-R_{fj}}$, $z^{-P_{of}}$, $z^{-R_{of}}$ are transport delays of ink transmission by the elements of the ink printing system in circular direction.

Operators of ink transmission by a drum cylinder in an axial direction, that are described in details in the study [6], will shall give in such a way:

$$\begin{aligned} G_{75}^{j(j-1)}(z) &= \alpha_{s_r}(z) z^{-P_{s_r}}; & G_{67}^{j(j-1)}(z) &= \gamma_{s1r}(z) z^{-R_{s1}}; & G_{56}^{j(j-1)}(z) &= \gamma_{s2r}(z) z^{-R_{s2}}; \\ G_{75}^{j(j+1)}(z) &= \alpha_{s_l}(z) z^{-P_{s_l}}; & G_{67}^{j(j-1)}(z) &= \gamma_{s1l}(z) z^{-R_{s1}}; & G_{56}^{j(j-1)}(z) &= \gamma_{s2l}(z) z^{-R_{s2}}; \end{aligned} \quad (4)$$

where $\alpha_{s_r}(z)$, $\gamma_{s1r}(z)$, $\gamma_{s2r}(z)$ – z is an image of direct and backward ink flows transmission while movement of the drum cylinder to the left and to the right: $\alpha_{s_l}(z)$, $\gamma_{s1l}(z)$, $\gamma_{s2l}(z)$.

Ink printing systems are very complicated so it becomes impossible to solve the task of balance “ink supply – waste and returning to the ductor box” without the help of computer technologies.

COMPUTER SIMULATION OF THE INK PRINTING SYSTEM AND ANALYSIS OF RESULTS

The mathematical model of the ink printing system is given through the sizes of ink flows for one conditional time unit (T). The period of time needed for an imprint to be printed on the paper is $l_f = T_f / T$ conditional units that correspond to the length of the printing plate in mm (where T_f – time of one imprint printing.). As an area of printing elements can change during the form length, then

ним валиком; z^{-P_d} , z^{-R_d} – транспортні запізнення передачі фарби поверхню дукторного циліндра та z^{-P_i} , z^{-R_i} – передавального валика; $z^{-P_{st}}$ – запізнення, що враховує час вистою передавального валика біля дукторного циліндра разом з часом його переміщення до розкочувального валика; $z^{-R_{is}}$ – запізнення, що відповідає часу переміщення передавального валика від розкочувального валика до дукторного циліндра разом з часом його вистою біля дуктора до початку їх спільного руху. Оператори передачі фарби елементами фарбодрукарської системи в коловому напрямі на підставі роботи [7] можна подати таким чином:

де α_i , α_f , α_{of} – коефіцієнти передачі прямих та зворотних – γ_i , γ_f , $\gamma_{of} = (1 - \beta)$ потоків фарби в місцях контакту елементів фарбодрукарської системи; i – позиція валиків і циліндрів на схемі моделі; $F^j(z)$ – оператор передачі фарбодрукарською формою; β – коефіцієнт передачі фарби з поверхні офсетного циліндра на папір; z^{-P_i} , z^{-R_i} , $z^{-P_{fj}}$, $z^{-R_{fj}}$, $z^{-P_{of}}$, $z^{-R_{of}}$ – транспортні запізнення передачі фарби елементами фарбодрукарської системи в коловому напрямі.

Оператори передачі фарби розтиральним циліндром в осьовому напрямі, які детально описані в праці [6], подамо в такому вигляді:

де $\alpha_{s_r}(z)$, $\gamma_{s1r}(z)$, $\gamma_{s2r}(z)$ – z -зображення передачі прямих і зворотних потоків фарби при русі розтирального циліндра вправо та вліво: $\alpha_{s_l}(z)$, $\gamma_{s1l}(z)$, $\gamma_{s2l}(z)$.

Через складність фарбодрукарських систем вирішити завдання визначення балансу «подача – витрата і повернення фарби у дукторну скриньку» без використання комп'ютерної техніки неможливо.

КОМП'ЮТЕРНЕ СИМУЛЮВАННЯ ФАРБОДРУКАРСЬКОЇ СИСТЕМИ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Математична модель фарбодрукарської системи подана через величини потоків фарби за одну умовну одиницю часу T . Час, за який на папері віддрукується весь відбиток, становитиме $l_f = T_f / T$ умовних одиниць, що відповідає довжині друкарської форми в mm (де T_f – час задрукування одного відбитка). Оскільки площа друкувальних

balance of ink in ink printing system has to be determined on the output stage on quasi -stable working time during the time of l_f conditional units.

On the basis of signal graph (Fig. 2) and system of equalizations (1-4) we have worked out the simulator of model ink printing system in the environment of program package of Matlab - Simulink, its chart is represented on Fig. 3. For minimizing the modeling time we shall investigate only five zones of ink passing from the input of the ink printing system to material which is being printed.

For making simulation the geometrical sizes of rollers and cylinders with the accuracy up to a 1 mm we set through the indexes of degree $p_d, r_d, p_i, r_i, p_f, r_f, p_{of}, r_{of}$ in the ink transfer operators. Coefficients of ink transfer in the circular direction we take as flat $\alpha_i = \gamma_i = \alpha_i = \gamma_i = \alpha_f = \gamma_f = \alpha_{of} = 0,5$, and coefficient of the ink transfer from the offset cylinder on a paper as $\beta = 0,7$.

For the analysis simplification we take only five zones of ink flows ($m=5$) transfer from the ink printing system input to the imprint.

We set an image on a test printing form in the shape of lines stripes, streaks, placed across the ink flows movement.

Then printed form ink delivery operators according to [7] in all the zones will look like that:

$$F^j(z) = (1 - z^{-a_i} + z^{-(a_i+b_1)} - z^{-(a_i+b_1+a_2)} + z^{-(a_i+b_1+a_2+b_2)} + \dots + z^{-(a_i+b_1+\dots+a_{n-1}+b_{n-1})} - z^{-(a_i+b_1+\dots+a_{n-1}+b_{n-1}+a_n)}) \cdot (1 - z^{-d_f})^{-1}, \quad (5)$$

where a_i, b_i are the heights of the printing and blank lines on the form; d_f – is a relative time of one forming cylinder turn, which responds to it circle length.

On the grounds to the work [6], we set operators of direct ink flow transfer in axial direction while moving of the drum cylinder to the right and to the left:

$$\alpha_{sr}(z) = \alpha_s \kappa \theta_z^{-1} [p_s - 2z(z-1)]^{-1} (z^{-(c_1-p_s)} - z^{-(c_1-p_{s1})} - z^{-(c_3-p_{s1})}) - p_s z^{-c};$$

$$\alpha_{sl}(z) = \alpha_s \kappa \theta_z^{-1} [2z(z-1)]^{-1} (-z^{-(c_1-p_{s1})} + z^{-c_1} + z^{-(c_3-p_s)} - z^{-(c_3-p_s)}) - z^{-(c_3-p)}; \quad (6)$$

where θ_z is a width of ink supply zone; κ is a coefficient of ink flow transfer in the axial direction in one relative time unit; $c = T_y / T$ is a relative time of the rubbing cylinder working cycle, which is equal to the relative time of one form cylinder rotation.

In the same way can be represented the operation of ink transfer in the axial direction of the reverse ink flows during the drum cylinder rotation.

The main criterion for evaluating fidelity rolling process and transfer ink, and consequently model validation of ink printing system is a balance of flows:

$$\sum_{j=1}^5 q_{hd}^j(z) = \sum_{j=1}^5 q_p^j(z) + \sum_{j=1}^5 q_{ld}^j(z). \quad (7)$$

елементів по довжині форми може змінюватися, то баланс фарби у фарбодрукарській системі потрібно визначати при її виході на квазіусталений режим роботи за час l_f умовних одиниць.

На підставі сигнального графа (рис. 2) і системи рівнянь (1-4) розробляємо симулятор моделі фарбодрукарської системи в середовищі програмного пакету *Matlab-Simulink*, схема якого представлена на рис. 3. Для зменшення часу моделювання дослідимо лише п'ять зон проходження фарби від входу фарбодрукарської системи до матеріалу, що задруковується.

Для проведення симулювання геометричні розміри валиків і циліндрів з точністю до 1 мм задаємо через показники степеня $p_d, r_d, p_i, r_i, p_f, r_f, p_{of}, r_{of}$ в операторах передачі фарби. Коефіцієнти передачі фарби в коловому напрямі приймаємо рівними $\alpha_i = \gamma_i = \alpha_i = \gamma_i = \alpha_f = \gamma_f = \alpha_{of} = 0,5$, а коефіцієнт передачі фарби з офсетного циліндра на папір $\beta = 0,7$.

Для спрощення аналізу розглянемо лише п'ять зон ($m=5$) передачі потоків фарби від входу фарбодрукарської системи до відбитка.

Задаємо зображення на тестовій формі у вигляді смуг, розміщених поперек руху потоків фарби.

Тоді оператори подачі фарби друкарською формою згідно з [7] у всіх зонах матимуть наступний вигляд:

де a_i, b_i – висоти друкувальних і пробільних смуг на формі; d_f – відносний час одного оберту формного циліндра, який відповідає довжині його кола.

На основі роботи [6], задаємо оператори передачі прямих потоків фарби в осьовому напрямі при русі розтирального циліндра вправо та ліво:

де θ_z – ширина зони подачі фарби; κ – коефіцієнт передачі потоку фарби в осьовому напрямі за одну відносну одиницю часу; $c = T_y / T$ – відносний час циклу роботи розтирального циліндра, який дорівнює відносному часу одного оберта формного циліндра.

Аналогічним чином можна подати операцію передачі фарби в осьовому напрямі зворотних потоків фарби під час руху розтирального циліндра.

Основним критерієм оцінювання точності відтворення процесів розкочування і передачі фарби, а відповідно перевірки достовірності моделі фарбодрукарської системи, є баланс її потоків:

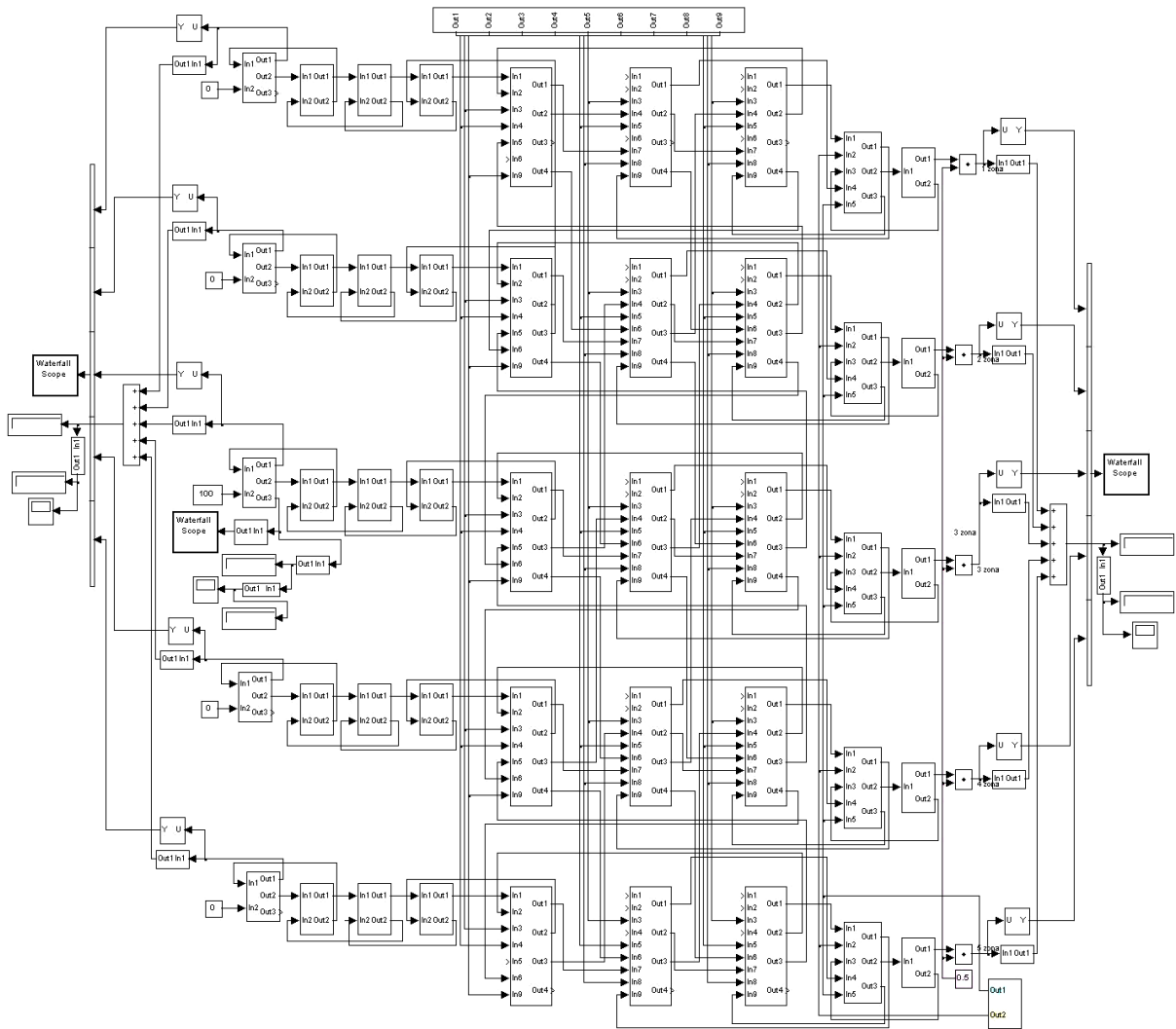


Fig. 3 – Chart of ink printing system simulator / *Схема симулятора фарбодрукарської системи*

To determine the balance of ink flows: ink delivery on an input and transmission on an imprint and return in a ductor box we enter the above parameters of ink printing system in block diagram simulation (Fig. 3) and perform simulation which results are presented in Fig. 4. A numeric value of the volume of ink flows shown on the digital display below the figure.

Для визначення балансу потоків фарби: подача фарби на вході – передача на відбиток та повернення у дукторну скриньку вводимо вищезазначені параметри фарбодрукарської системи у структурну схему симулятора (рис. 3) та проводимо симулювання, результати якого представлені на рис. 4. А числові значення об'ємів потоків фарби зображені на цифрових дисплеях внизу рисунку.

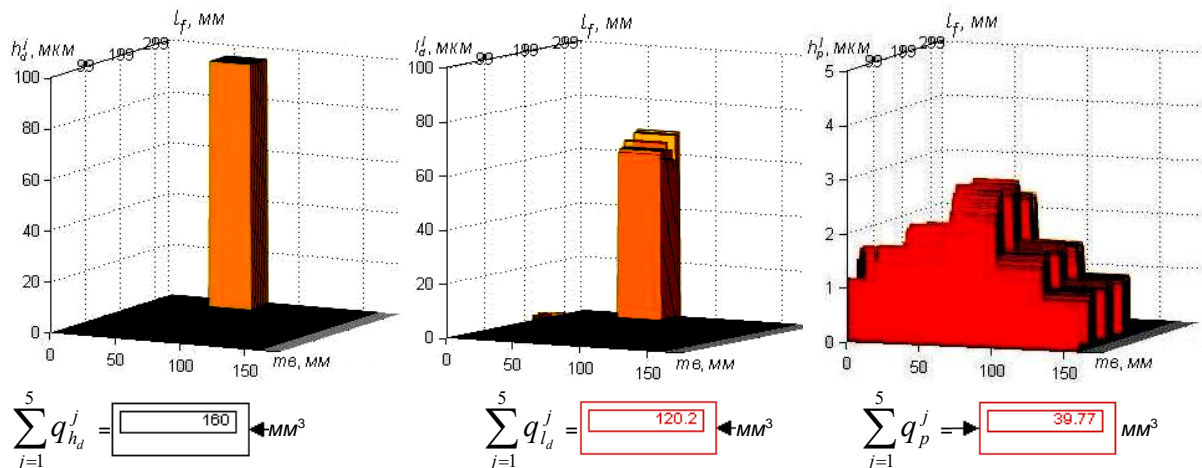


Fig. 4 – Histograms of ink flows volumes / *Гістограми об'ємів потоків фарби*

The obtained results correspond to balance of ink flows volumes (7), so the amount of ink that is applied to the input of ink printing system is the sum of the amount of ink that is transmission on an imprint and return in a ductor box.

Let's represent balance of the ink flows through the parameters:

$$\sum_{j=1}^5 h_d^j(z) \Delta l b = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^5 h_{p_i}^j(z) a_i b + \sum_{j=1}^5 l_d^j(z) \Delta l b. \quad (8)$$

Having divided the right and left parts of the equality on the area of one imprint zone $s_p^j = l_f \cdot b$ we get the balance of the middle meanings of the ink flows thickness.

$$\sum_{j=1}^5 h_{dcep}^j(z) = \sum_{j=1}^5 h_{pcep}^j(z) + \sum_{j=1}^5 l_{dcep}^j(z). \quad (9)$$

Using Information technology the middle meanings of the ink flows thickness is determined, which is obtained by simulation after getting ink printing system to default mode (Fig. 5).

Отримані результати відповідають балансу об'ємів потоків фарби (7), тобто кількість фарби, яка подається на вхід фарбодрукарської системи дорівнює сумі кількості фарби, яка передається на відбиток та повертається у фарбодрукарську скриньку.

Представимо баланс потоків фарби через їх параметри:

Поділивши праву і ліву частини рівняння на площу однієї зони відбитка $s_p^j = l_f \cdot b$ отримуємо баланс середніх значень товщин потоків фарби:

Скориставшись запропонованою інформаційною технологією визначимо баланс середніх значень товщин потоків фарби, який отримуємо в результаті симулювання після виходу фарбодрукарської системи на усталений режим роботи (рис. 5).

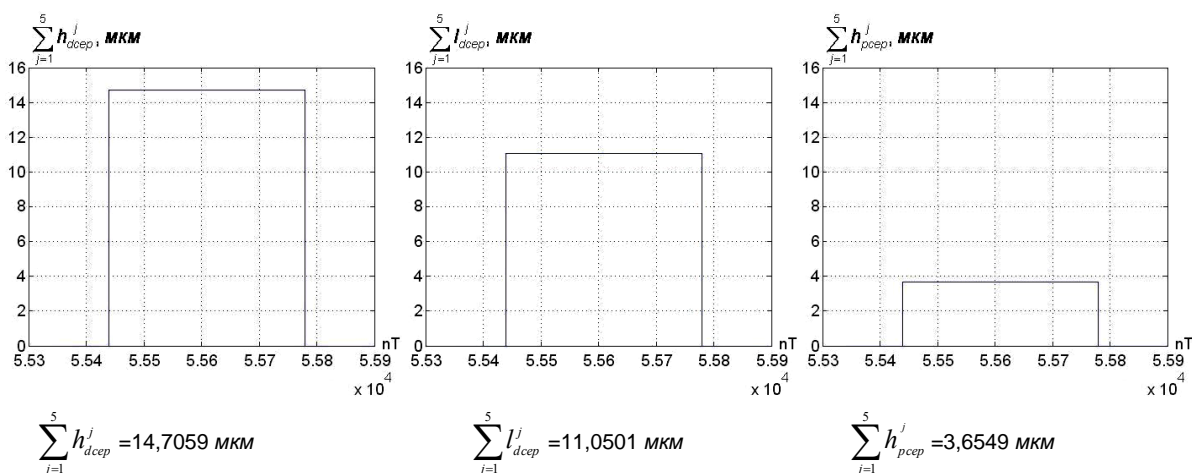


Fig. 5 – Charts of the middle meanings of the ink flows thickness / Графіки середніх значень товщин потоків фарби

The results correspond to balance of the middle meanings of the ink flows thickness (9) that reduced to the length of the printing plate.

CONCLUSIONS

1. Mathematical model that describes the process of discrete ink delivery has been worked out, it circular and axial pinning-out and transfer on material that is being printed.
2. Signal count of ink printing system with the drum cylinder and ink feeder that visually shows ink flows transfer.
3. On the basis of mathematical model and signal graph the simulator of the ink printing system in the environment of Matlab-Simulink has been built, that gives an opportunity to reproduce virtually the processes of ink flows pinning-out and transfer

Отримані результати відповідають балансу середніх значень товщин потоків фарби (9) приведених до довжини друкарської форми.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено математичну модель, яка описує процес дискретної подачі фарби, її колове і осьове розкочування та передачу на матеріал, що задруковується.
2. Побудовано сигнальний граф фарбодрукарської системи з розтиральним циліндром та фарбоживильним пристроєм, який наочно відображає переміщення потоків фарби.
3. На основі математичної моделі та сигнального графа побудовано симулятор фарбодрукарської системи в середовищі Matlab-Simulink, який дає можливість віртуально відтворити процеси

taking into account a revolting action from ink feeder, printing form and drum cylinders.

4. On the basis of results of simulation information technology of determination of balance of ink flows volumes determination that is basis for verification of authenticity of models of the ink printing systems has been approved, and passing to balance of ink flows thickness has been grounded.

REFERENCES

- [1]. Alekseev, G.A. Krasochnye apparaty rotacionnyh mashin vysokoj i ploskoj pechati [Inking units of rotary machines of high and flat printing]. Moscow, Kniga Publ., 1980. 184 p. (In Russian).
- [2]. Batjushko, A.L., Vartanjan, S.P., Izbickij, Je.I., Kagan, B.V., Shahmundes, L.A. Problemy avtomatizacii ofsetnogo pechatnogo processa [Problems of automation offset printing process]. Moscow, Kniga Publ., 1978. 112 p. (In Russian).
- [3]. Luckiv, M.M., Rybak, V.I. Calculation and construction of nomograms expenditure and selection of paint in inkprinting systems of consistent structure. Komp'juterni tehnologii' drukarstva : Zbirnyk naukovykh prac' /UAD [Computer technology Printing: Collection of works of UAP], 2007, no. 18, pp. 30-39. (in Ukrainian).
- [4]. Verhola, M.I., Luckiv, M.M. Signal graph process of rolling paint. Visnyk DU «L'viv's'ka politehnika» [Bulletin ST "Lvov Polytechnic"], 1998, vol. 2, pp. 348-353. (in Ukrainian).
- [5]. Verhola, M.I., Luckiv, M.M. Advanced signal graph of branched ink groups. Poligrafija i vydavnycha sprava [Printing & Publishing], 1999, no. 35, pp. 196-200. (in Ukrainian).
- [6]. Verhola, M.I., Guk, I.B. Modeling and determine the distribution of ink in the dynamics of ink systems drum cylinders. Komp'juterni tehnologii' drukarstva : Zbirnyk naukovykh prac' /UAD [Computer technology Printing: Collection of works of UAP], 2006, no. 16, pp. 3-13. (in Ukrainian).
- [7]. Verhola, M.I., Guk, I.B., Babyneč, V.M. Modeling and analysis of the impact of placing forms printing elements to the process of distribution of paint in ink systems. Komp'juterni tehnologii' drukarstva : Zbirnyk naukovykh prac' /UAD [Computer technology Printing: Collection of works of UAP], 2007, no. 18, pp. 5-21. (in Ukrainian).
- [8]. Verhola, M.I., Guk, I.B. Modeling and determination of inks transmission coefficient transmission roller in ink system with drum cylinder. Komp'juterni tehnologii' drukarstva : Zbirnyk naukovykh prac' /UAD [Computer technology Printing: Collection of works of UAP], 2009, no. 21, pp. 39-52. (in Ukrainian).

розкочування і передачі потоків фарби з врахуванням збурюючої дії від фарбоживильного пристрою, друкарської форми і розтиральних циліндрів.

4. На основі результатів симулювання апробовано інформаційну технологію визначення балансу об'ємів потоків фарби, яка є основою для перевірки достовірності моделей фарбодрукарських систем, та обґрунтовано перехід до балансу товщин потоків фарби.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Алексеев, Г.А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати / Г.А. Алексеев. – М. : Книга, 1980. – 184 с.
- [2]. Батюшко, А.Л. Проблемы автоматизации офсетного печатного процесса / А.Л. Батюшко, С.П. Вартанян, Э.И. Избицкий, Б.В. Каган, Л.А. Шахмундес. – М. : Книга, 1978. – 112 с.
- [3]. Луцків, М.М. Розрахунок і побудова номограм розходу та відбору фарби у фарбодрукарських системах послідовної структури / М.М. Луцків, В.І. Рибак // Комп'ютерні технології друкарства: Збірник праць / УАД. – Львів, 2007. – №18. – С.30-39.
- [4]. Верхола, М.І. Сигнальний граф процесу розкочування фарби / М.І. Верхола, М.М. Луцків // Вісник ДУ «Львівська політехніка». – Львів, 1998. – Том 2. – С. 348-353.
- [5]. Верхола, М.І. Розширений сигнальний граф розгалужених фарбових груп / М.І. Верхола, М.М. Луцків // Поліграфія і видавнича справа. – 1999. – №35. – С. 196-200.
- [6]. Верхола, М.І. Моделювання та визначення розподілу фарби в динаміці у фарбових системах з розтиральними циліндрами / М.І. Верхола, І.Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства : Збірник наукових праць / УАД. – Львів, 2006. – №16. – С.3-13.
- [7]. Верхола, М.І. Моделювання та аналіз впливу розміщення друкуючих елементів на формі на процес розподілу фарби у фарбових системах / М.І. Верхола, І.Б. Гук, В.М. Бабінець // Комп'ютерні технології друкарства : Збірник наукових праць / УАД. – Львів, 2007. – №18. – С.5-21.
- [8]. Верхола, М.І. Моделювання та визначення коефіцієнта передачі фарби передавальним валиком у фарбовій системі з розтиральним циліндром / М.І. Верхола, І.Б. Гук // Комп'ютерні технології друкарства : Збірник наукових праць / УАД. – Львів, 2009. – №21. – С.39-52.