

Энергетика и электрификация. – 2011. – № 1. – С. 32 – 43.

4. *Технологический регламент* безопасной эксплуатации АЭС, 1988.

5. *Винничук С.Д., Данильчук В.Н., Панов А.В.* Требования к анализу частотных электрических режимов в современных условиях. Киев, Энергетика и электрификация, № 3, 2006.

6. *Винничук С.Д., Данильчук В.Н., Панов А.В.* Современные средства проблемного анализа частотных электрических режимов. Киев, Энергетика и электрификация, № 6, 2006.

7. *Рабинович Р.С.* Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. М, Энергоатомиздат, 1989.

8. *Герих В.П., Логвинов Н.П.* О математической модели автоматической частотной розгрузки для исследования переходных процессов в электрической системе. //Новое в Российской энергетике. Электронный журнал.” Энерго-пресс” - №7. – 2002.

9. *Винничук С.Д.* Проблемы организации частотной противоаварийной автоматики по скорости изменения частоты в компактных энергосистемах. / Электрические сети & системы. - № 4. – 2013. – С. 60 – 65.

*Поступила 8.09.2014р.*

УДК 681.513.672

В.П. Білан, Львів

## **СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА НАТЯГУ СТРІЧКИ СТРІЧКОЖИВИЛЬНОЇ СИСТЕМИ АРКУШЕРІЗАЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ЇЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ**

**Abstract.** This article devoted to a build web feeding section simulation model of roll sheeting machines that considers the impact disturbances caused by rolls eccentricity and ovality and synthesis tape material tension regulator on the basis of it.

### **Постановка задачі. Актуальність**

Розрізування паперової стрічки, що розмотується з рулона, на аркуші стандартних форматів для подальшого задрукування на аркушевих друкарських машинах є важливим технологічним процесом. Він вимагає забезпечення сталої величини натягу стрічки в усіх секціях аркушерізальної машини, щоб уникнути варіації лінійних розмірів окремих аркушів у стопі паперу на прийомному столі. Враховуючи велику масу стандартних рулонів поліграфічного паперу, можна зробити припущення, що неспівпадіння центру мас і осі обертання (ексцентриситет) рулону, а також його овальність спричиняють значні коливання натягу стрічки. Для перевірки цього припущення та дослідження роботи стрічкоживильної системи аркушерізальної машини, необхідною є розробка адекватної її моделі. Крім того з допомогою цієї моделі, використавши емпіричні методи синтезу

регуляторів, можна отримати оптимальні параметри налаштування регулятора натягу. Для забезпечення високої якості розрізування та точності лінійних розмірів окремих аркушів на прийомному столі надзвичайно важливою є підтримка стабільного значення натягу стрічки у стрічкоживильній секції аркушерізальної машини. Тому застосовують різноманітні пристрої для підгальмовування рулону. На даний час ще досить широко експлуатуються аркушерізальні машини у котрих відсутні системи автоматичного регулювання натягу стрічки у стрічкоживильній секції, а періодичне корегування гальмівного моменту, що прикладається до осі рулону, здійснюється оператором наближено вручну, виходячи з його емпіричного досвіду. Отже, побудова моделі стрічкоживильної системи аркушерізальної машини, яка у повній мірі враховує фізичні властивості всіх її компонентів є актуальною задачею, а результати комп'ютерного моделювання мають визначальне значення для розробки реальної автоматичної системи стабілізації натягу і налаштування параметрів регулятора натягу.

### **Огляд публікацій, пов'язаних з темою досліджень статті**

Побудові моделей стрічкоживильних і стрічкопровідних систем та окремих їх частин для поліграфічних машин присвячено велику кількість публікацій у фахових наукових виданнях, а також значна увага їм приділяється у ряді монографій. Зокрема, у працях [1, 2, 3, 4] представлено математичні моделі елементів стрічкопровідних систем, у роботах [1, 2, 4] на їх базі побудовано моделі більш складних стрічкопровідних систем поліграфічних машин. Моделі стрічкоживильних систем досліджуються у працях [4, 7]. У монографії [4] також оцінюється вплив овальності та ексцентриситету на процес розмотування рулону, зокрема на зміну натягу стрічки у стрічкоживильній секції. Методику синтезу регуляторів систем автоматичного керування на основі моделей цих систем показано у праці [1]. У згаданих публікаціях досліджуються моделі стрічкоживильних систем, в котрих основна увага акцентується на об'єктах управління (ділянці стрічки та рулону). Пристрій, котрий створює гальмівний момент на осі обертання рулону, не розглядається, хоча значною мірою має впливати на характер та протікання перехідних процесів видовження стрічкового матеріалу, а отже обов'язково мусить бути врахований при побудові моделі стрічкоживильної системи.

### **Побудова моделі стрічкоживильної системи аркушерізальної машини з електромагнітним гальмом**

Функціональна схема стрічкоживильної системи аркушерізальної машини з одним рулоном зображена на рис. 1. Визначальними складовими об'єктами цієї стрічкоживильної системи є ділянка паперової стрічки ДС між рулоном та першою стрічковедучою парою (мірний циліндр МЦ та притискні ролики ПР), неідеальний рулон Р (характеризується наявністю ексцентриситету та овальності), пристрій гальмування рулону, роль якого у даному випадку виконує феропорошкове електромагнітне гальмо ЕМГ, що управляється системою керування СК. Остання, у свою чергу, отримує відомості про поточний радіус рулону за допомогою ультразвукового давача радіуса ДР та

натяг стрічкового матеріалу за допомогою давача натягу ДН. Далі розглянемо кожен з елементів системи детальніше для одержання їх математичного опису.

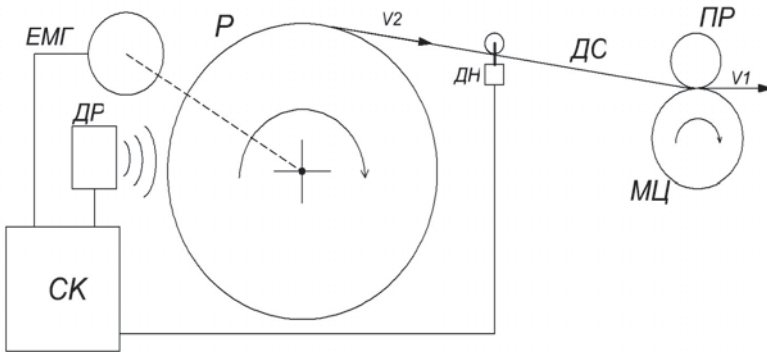


Рис. 1. Функціональна схема стрічкоживильної системи аркушерізальної машини

Усі дослідники [1, 2, 3, 4] розглядають ділянку стрічки як інерційний об'єкт першого порядку, при цьому по різному визначають його параметри. Враховуючи [5] та нееквівалентність сталої часу ділянки стрічки і часу проходження стрічкою цієї ділянки, що відповідає реальним фізичним процесам видовження ділянки стрічки і як наслідок це видовження має квазіусталений характер, отримаємо вираз із застосуванням оператора Лапласа для опису ділянки стрічки:

$$\varepsilon(s) = (V_1 - V_2) \frac{1/V_1(1 + K_{\Delta L})}{(0.4 \times L/V_1)s + 1}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – відносне видовження стрічки на обмеженій ділянці;  $L$  – довжина цієї ділянки;  $V_1, V_2$  – лінійні швидкості початку і кінця цієї ділянки відповідно;  $K_{\Delta L} = F_t^* / (b \cdot \delta \cdot E_\delta)$  – коефіцієнт корекції сталої передачі ділянки стрічки, спричинений зміною її довжини внаслідок розтягу. Величини  $b$  – ширина стрічки,  $\delta$  – її товщина,  $E_\delta$  – модуль пружності – характеризують фізичні властивості паперу, а  $F_t^*$  відповідає бажаному значенню натягу стрічки. На практиці  $K_{\Delta L} \ll 1$ , тому його вплив на поведінку ділянки стрічки незначний при реальних значеннях вище згаданих її параметрів та при невеликій різниці швидкостей  $\Delta V = V_1 - V_2$ . В процесі тестування моделі допускається завдання параметрів, що не знаходяться у діапазоні реальних значень, тому варто врахувати  $K_{\Delta L}$ , щоб уникнути невірних результатів моделювання і як наслідок формулювання неправильних висновків.

Математична модель рулону, що показує зв'язок між алгебраїчною різницею обертових моментів  $\Delta M$ , котрі прикладаються до осі його обертання, та лінійною швидкістю розмотування стрічки  $V_2$ , можна представити з

використання оператора Лапласа у наступному вигляді [4]:

$$V_2(s) = \Delta M \frac{2/(3\gamma b \delta \rho V_1)}{\pi \rho^2 / (3\delta V_1) s - 1}, \quad (2)$$

де  $\gamma$  – відносна густина сорту паперу;  $\rho$  – радіус рулону.

Математичну модель електромагнітного гальма побудуємо на основі [8]. Вона складається із послідовно з'єднаних двох інерційних ланок, що відповідають електричній та механічній частинам гальма. Крім цього феропорошковому електромагнітному гальму властива нелінійна залежність між струмом у його обмотці збудження та створюваним гальмівним моментом, зокрема в області їх мінімальних та максимальних значень. Враховуючи усе вище сказане математичну модель електромагнітного гальма можна представити так:

$$\Delta M_{\hat{A}}(s) = \Delta U \frac{1/R}{T_E s + 1} \frac{K_M}{J_M s + 1}, \quad (3)$$

де  $R$  – опір обмотки збудження електромагнітного гальма;  $T_E$  – його електрична стала часу;  $J_M$  – момент інерції гальма;  $K_M$  – коефіцієнт передачі по моменту ( $K_M \neq const$ ).

Отже, як видно з математичного опису, феропорошкове електромагнітне гальмо – інерційний об'єкт другого порядку з нелінійною коефіцієнта передачі. Зрозуміло, що такі його характеристики будуть спричиняти значний вплив на характер протікання перехідних процесів видовження стрічки у стрічкоживильній системі аркушерізальної машини, як і передбачалось вище. В процесі роботи електромагнітне гальмо виділяє велику кількість теплової енергії, що нагріває його конструктивні елементи, зокрема обмотку збудження. Остання, внаслідок цього змінює свій опір. Тому для забезпечення правильного функціонування гальма, потрібно моніторити фізичні параметри обмотки і вносити відповідні корективи у регулятор. Відомості про актуальне значення опору обмотки збудження гальма можна отримати двома способами: через вимірювання струму в його обмотці давачем або вимірювати температури його поверхні.

Також для повноти і достовірності моделі необхідно математично описати вплив неідеальності геометричних розмірів рулонів на процес розмотування рулону у стрічкоживильній секції. Згідно з відомими дослідженнями [4], овальність та ексцентриситет спричиняють коливання лінійної швидкості стрічки у точці її сходження з рулону (ефект «посмикування»), а останній ще й додаткові зміни моменту на осі розмотки рулону. Збурення, спричинені зазначеними відхиленнями геометричних розмірів рулонів від ідеальних можна представити наступним чином:

$$\Delta V_e = \omega l_e \cos(\omega t + \varphi_e); \quad \Delta V_{ov} = \omega l_{ov} \cos(2\omega t + \varphi_{ov}); \quad (4)$$

$$\Delta M_e = \pi \rho^2 b \gamma g l_e \cos(\omega t + \varphi_e),$$

де  $\Delta V_e$ ,  $\Delta V_{ov}$  – додаткові коливання лінійної швидкості рулону, викликані

ексцентриситетом  $l_e$  і овальністю  $l_{ov}$  відповідно;  $\Delta M_e$  – збурення моменту, спричинені дією ексцентриситету;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\varphi_{ov}$ ,  $\varphi_e$  – початкові фази прикладання збурень.

Побудуємо на базі математичних описів (1) – (4) елементів стрічкоживильної системи, функціональна схема якої зображена на рис. 1, відповідну структурну імітаційну (рис. 2). Структурна схема моделі електромагнітного гальма з регулятором натягу детальніше показана на рис. 3. У цій моделі враховано зміну опору обмотки збудження гальма під впливом температури.

Проведемо симулювання побудованої моделі при максимальних значеннях овальності  $l_{ov} = 0.01$  м та ексцентриситету  $l_e = 0.01$  м. Задамо також інші параметри моделі стрічкоживильної системи:

$$L = 2 \text{ м}; V_1 = 2.75 \text{ м/с}; b = 0.84 \text{ м}; \delta = 0.078 \text{ мм}; E_\delta = 6.468 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2; F_H^* = 300 \text{ Н}; \gamma = 820 \text{ кг/м}^3; \rho = 0.5 \text{ м}.$$

Оберемо для побудованої стрічкоживильної системи феропорошкове електромагнітне гальмо *ZKB – 20HBN*, яке має такі параметри [9]:

$$M_i = 200 \text{ Н·м}; U_i = 24 \text{ В}; I^{75^\circ\text{C}} = 2.7 \text{ А}; P^{75^\circ\text{C}} = 64.8 \text{ Вт}; T_E^{75^\circ\text{C}} = 0.37 \text{ с}; J_M = 9.15 \cdot 10^{-2} \text{ кг·м}^2; n_{MAX} = 1800 \text{ об/хв}; K_M - \text{ подано у вигляді функції}.$$

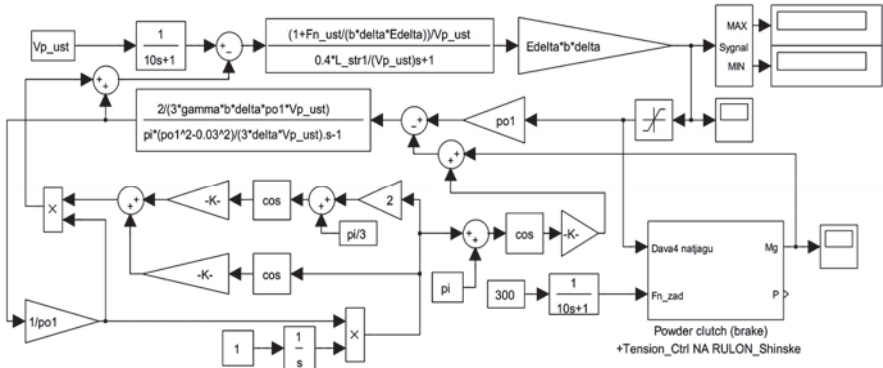


Рис. 2. Структурна імітаційна модель стрічкоживильної системи аркушерізальної машини

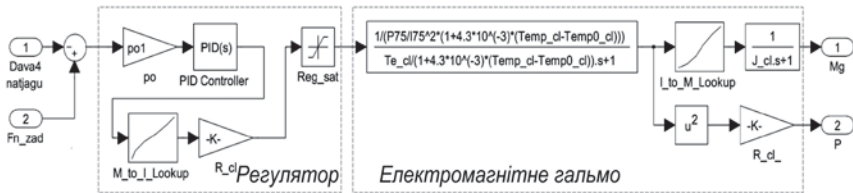


Рис. 3. Структурна схема моделі електромагнітного гальма з регулятором натягу

Використовуючи вище наведені параметри, можна визначити опір обмотки збудження електромагнітного гальма, при нагріванні до робочої температури 30°C:

$$R^{30^{\circ}\text{C}} = P^{75^{\circ}\text{C}} / (I^{75^{\circ}\text{C}})^2 \cdot (1 + 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (30^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C})) \quad (5)$$

Результати симулювання моделі (перехідний процес зміни натягу) показано на рис. 4. Як видно з рисунку, коливання натягу є досить значними. Їх амплітуда перевищує допустимі межі, впливатиме на точність лінійних розмірів листів після розрізування стрічки та може призвести до її обриву. Тому необхідно передбачити регулятор натягу для його стабілізації. Вимірний за допомогою давача натяг порівнюється із заданим значенням, а вихід регулятора контролює напругу, що поступає на електромагнітне гальмо і відповідно змінює гальмівний момент на осі розмотки рулону.

Для пошуку оптимальних налаштувань регулятора натягу скористаємося відомими інженерними методами, такими як [10]. Усі вони передбачають проведення ряду досліджень та вимірювань на реальному об'єкті управління. Проте їх можна здійснити набагато зручніше і швидше використовуючи відповідну модель. Знайдемо параметри регулятора натягу з допомогою зазначених методів і занесемо їх у таблицю 1. Проведемо симулювання моделі стрічкоживильної системи з регулятором натягу почергово задавши знайдені різними методами параметри. Для порівняння отриманих результатів знайдемо у кожному випадку граничні пікові значення відхилень натягу від заданої величини (табл. 1).

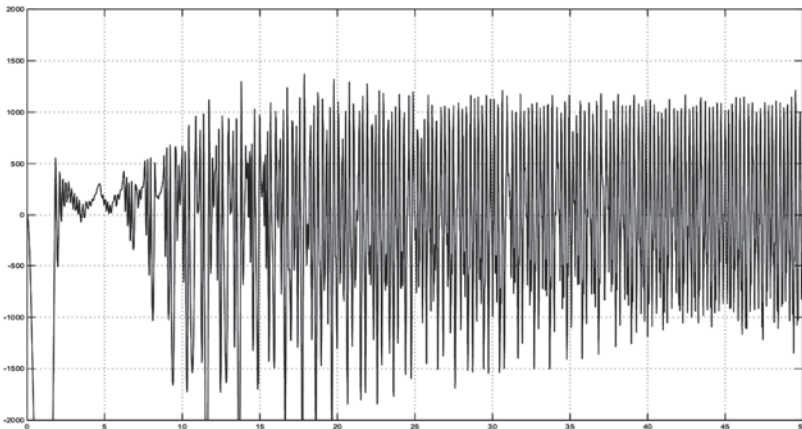


Рис. 4. Результати комп'ютерного симулювання моделі стрічкоживильної системи без регулятора

Варто відзначити, що регулятор не набагато підвищує стабільність натягу в стрічкоживильній секції – зменшується амплітуда коливань, а їх характер не змінюється. Пояснюється це тим, що рулон і електромагнітне гальмо є досить інерційними об'єктами управління, а тому забезпечити

швидку реакцію на зміну натягу стрічки, викликану відхиленням лінійних розмірів рулонів від ідеальних, не можливо. Крім того електромагнітне гальмо не забезпечує знакозмінного моменту. Але на основі результатів моделювання можна зробити висновок про те, що найбільш стабільний натяг отримуємо при параметрах ПІД регулятора, отриманих методом Ф. Шінські. Очевидним є також те, що для зменшення коливань натягу стрічки у стрічкоживильній секції потрібно додатково вводити амортизуючу ланку, яка б впливала на ділянку стрічки між рулоном та мірним циліндром. Використання лише амортизатора без давача та регулятора натягу може призвести до провисання чи обриву стрічки, коли він опиниться крайніх точках переміщення. Стрічкоживильна система без амортизатора буде дієздатною тільки при розмотуванні рулонів з невеликими початковими радіусами та/або невисокими значеннями відхилень геометричних розмірів від ідеальних при невисоких робочих швидкостях.

Логічно можна припустити, що із зменшенням радіуса рулону, поміняються властивості об'єкта управління (перш за все через зменшення його маси), а тому параметри налаштування регулятора мусять бути відповідно скореговані. Тобто існує потреба у адаптації параметрів регулятора до зміни радіуса рулону. Знайдемо параметри для налаштування регулятора натягу, використовуючи метод Ф. Шінські для усього діапазону зміни радіуса рулону (табл. 2).

Таблиця 1

Параметри регулятора натягу

Метод	ПІ			ПІД			
	Коефіцієнти		Діапазон значень натягу	Коефіцієнти			Діапазон значень натягу
	<i>П</i>	<i>I</i>		<i>П</i>	<i>I</i>	<i>Д</i>	
Зінглера-Ніколса	2,858	14,288	[-1626; 1366]	3,810	31,750	0,114	[-1106; 1200]
Ф.Шінські	3,175	30,427	[-1717; 1436]	1,588	13,229	0,048	[-1048; 1165]
Коена-Куна	2,037	5,072	[-1203; 1187]	3,145	6,476	0,246	[-1169; 1232]
Йована-Себорг	0,115	0,054	[-1334; 1251]	0,203	0,095	4,028	[-1605; 1354]
<b>Без регулятора</b>			[-2027; 1376]				

Таблиця 2

Параметри регулятора натягу при різних значення радіуса рулону

Радіус, м	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
<b>П</b>	1,588	1,995	2,783	3,828	7,8
<b>I</b>	13,229	19,95	37,1	76,55	312
<b>Д</b>	0,048	0,05	0,052	0,048	0,049

Проаналізувавши дані комп'ютерного симулювання моделі стрічкоживильної системи з регулятором натягу та враховуючи аналітичні вирази, що використовуються при знаходженні параметрів налаштування регулятора

методом Ф. Шінскі, отримуємо співвідношення для адаптації налаштувань регулятора до зміни радіуса рулону, внаслідок його розмотування:

$$K_I = 0.25 \cdot \pi / \rho; \quad K_I = \pi / \rho^2; \quad K_A = 0.25 \cdot \pi / 16. \quad (6)$$

Для прикладу, якщо використати налаштування регулятора натягу (6) для радіуса рулону  $\rho = 0.25$  м отримаємо перехідний процес зміни натягу стрічки, показаний на рис. 5.

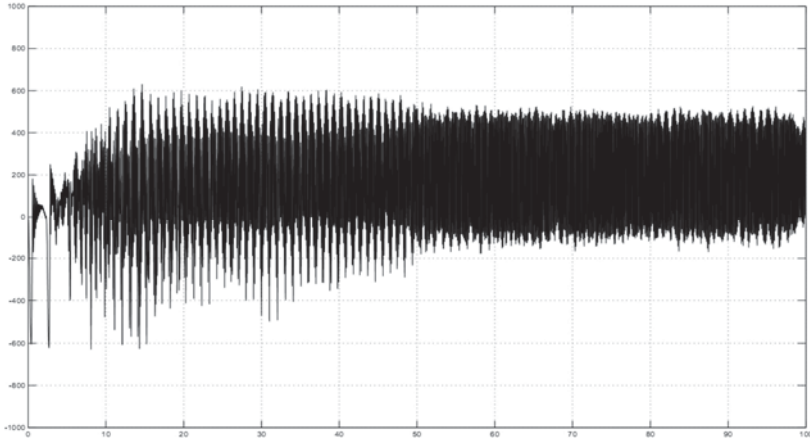


Рис. 5. Результати комп'ютерного симулювання моделі стрічкоживильної системи з регулятором натягу

## Висновки

1. На основі математичної моделі та функціональної схеми стрічкоживильної системи аркушерізальної машини побудовано структурну імітаційну модель, що враховує усі параметри рулону, зокрема вплив збурень викликаних овальністю і ексцентриситетом рулону.

2. На основі розробленої моделі та результатів комп'ютерного симулювання визначено оптимальні параметри регулятора натягу стрічкового матеріалу, котрі забезпечують найбільше затухання амплітуди коливання стрічки.

3. Виявлено, що за допомогою регульованого електромагнітного гальма можна компенсувати лише вплив зміни радіуса рулону на величину натягу стрічки у стрічкоживильній секції аркушерізальної ротаційної машини.

4. Для мінімізації коливань натягу стрічки викликаних овальністю і ексцентриситетом рулону потрібно вводити амортизуючу ланку або підвищувати вимоги до параметрів рулонів, які розрізуються на аркуші.

5. Отримано аналітичні вирази для налаштування адаптивного регулятора натягу у стрічкоживильній системі аркушерізальної ротаційної машини.

1. Дурняк Б.В. Стрічководні системи рулонних ротаційних машин. – К.: Атіка, 2002. – 292 с.



2. *Избицкий Э.И.* Импульсное регулирование движения ленточного материала. – М.: Энергия, 1970 – 340 с.
3. *Митрофанов В.П., Тюрин А.А., Бирбраер Е.Г., Штоляков В.И.* Печатное оборудование. – М.: Издательство МГУП, 1999.– 442 с.
4. *Щербина Ю.В.* Динамические свойства процессов управления движением бумаги и краски в рулонных печатных машинах – М.: МГУП, 2003.
5. *Білан В.П.* Комп'ютерне симулювання та порівняльний аналіз моделей елементарної стрічкопровідної системи // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. Української академії друкарства. – Львів, 2013. – №30, с. 63 – 70.
6. *Satas Donatas.* Web Processing and Converting Technology and Equipment, 1984.
7. *Б. Дурняк, О. Сорочинський.* Нелінійна модель стрічкоживильного пристрою рулонної друкарської машини / Комп'ютерні технології друкарства №13, 2002.
8. *Могилевский В.Г.* Электромагнитные порошковые муфты и тормоза, М.-Л.: «Энергия», 1964, 104 с.
9. Powder Clutches and Brakes. Mitsubishi electric. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.kseng.com.sg/catalog\\_opt\\_1.pdf](http://www.kseng.com.sg/catalog_opt_1.pdf), 48 с.
10. *Дмитриева В.В.* Моделирование систем управления – М.: «Горное образование» 2011, 88 с.

*Поступила 20.08.2014р.*

УДК 655.2

Б.М.Гавриш<sup>1</sup> О.В.Тимченко<sup>1 2</sup>

## **РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНИХ ВИВІДНИХ ПРИБОРІВ**

Розвиток лазерних технологій виготовлення друкарських форм свідчить про те, що в найближчому майбутньому лазерам немає альтернативи в подрукарських процесах. Для будь-якої оптичної системи існує кінцева межа гостроти фокусування, яка визначає мінімальний розмір фокальної плями і, як наслідок, максимально досяжну роздільну здатність.

**Ключові слова:** лазерні технології, роздільна здатність, пучок Гауса, лінза.

Development of laser technologies of making of the printed forms testifies that in the near future there is not an alternative lasers in prepress. For any optical system there is an eventual limit of sharpness of focusing, which determines low-limit of focal spot and, as a result, maximally accessible discriminability.

**Keywords:** laser technologies, discriminability, bunch of Gausse, lens.

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

<sup>2</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie