

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО СУШІННЯ КНИЖКОВИХ БЛОКІВ

Сікора Л.С.

д.т.н., професор, кафедра «Автоматизованих систем управління»
Національний університет «Львівська політехніка»

Лиса Н.К.

д.т.н., доцент, кафедра «Автоматизованих систем управління»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Федевич О.Ю.

к.т.н., доцент, кафедра «Автоматизованих систем управління»,
Національний університет «Львівська політехніка»

Федина Б.І.

к.т.н., доцент, кафедра «Комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних
процесах», Національний університет «Львівська політехніка»

Хиляк Н.А.

аспірант, кафедра «Комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних
процесах», Національний університет «Львівська політехніка»

***Анотація.** В статті розглянуто інформаційну технологію структури та об'єктів термодинамічної взаємодії процесів сушіння книжкових блоків. Розроблено метод активізації процесів сушіння книжкових блоків на підставі моделей взаємодії «клей – папір» із застосуванням інфрачервоних, ультрафіолетових, лазерних випромінювачів. Розроблено конструкції лазерних випромінювачів для оптимізації процесів сушіння книжкових блоків.*

***Ключові слова:** ЛАЗЕРНІ ВИПРОМІНЮВАЧІ, ОФСЕТНИЙ ПАПІР, СТРУКТУРА, КЛЕЙ, ЯКІСТЬ СУШІННЯ, ОПТИКО- ТЕРМОДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ.*

Вступ

У поліграфічному виробництві висушування напівфабрикатів є одним з завершальних етапів виготовлення друкованої продукції, що характеризується значним часовим інтервалом. Від способів, засобів і режимів висушування, які визначаються ефективністю управління термодинамічними процесами, залежать якісні показники друкованих видань, їх конкурентоспроможність. У поліграфічній промисловості для сушіння використовуються різні конструкції сушарок, основними з яких є конвеєрного типу. Найбільш ефективним є сушіння із використанням джерел інфрачервоного випромінювання, але вони мають недолік – неоднорідний розподіл поля випромінювання.

Багато проблем залишаються невирішеними: неефективне управління процесами сушіння і руху конвеєра, недосконалі моделі термодинамічної взаємодії компонент «теплове поле – об'єкт» у процесах сушіння. В конвеєрних сушарках поряд з корінцями сушаться цілі книжкові блоки, що спричиняє їх

деформацію. Не розроблені сушарки, які пристосовані для висушування корінців книжкових блоків. Швидкість транспортерів при висушуванні задається оператором у ручному режимі в залежності від кінцевої вологості книжкових блоків без інформаційного контролю, а лише епізодично вимірюється лабораторними методами. Для підвищення якості процесів сушіння перспективним напрямом є конвективно-радіаційне сушіння з перервами в опроміненні корінців книжкових блоків, що сприяє більш інтенсивному і швидкому видаленню вологи.

У працях [3, 4] обґрунтовано процес висушування поліграфічної продукції обумовлений не тільки чисто фізичними процесами видалення вологи, але пов'язаний і з фізико-хімічними процесами, що проходять в матеріалах. У статті [1] наведено технічні характеристики досліджуваного офсетного паперу. Охарактеризовано образи структури паперу по товщині і відповідно до них функції розподілу потужності лазерного променя при проходженні через шари аркушів паперу, отримані в результаті експериментів.

При сушінні відбувається зміна структурно-механічних властивостей матеріалів, що часто супроводжується появою різних деформацій продукції, наприклад короблення, розтріскування клейового шару, порушення лінійних розмірів палітурок та ін. У зв'язку з цим режим сушіння книжкових блоків приходится вибирати, виходячи не тільки з оптимальних техніко-економічних показників роботи сушильних установок, а й з врахуванням технологічних властивостей матеріалів, що вимагає побудови відповідних структурних, параметричних і динамічних моделей, які відображені у працях [5, 9].

Сушіння – це процес видалення вологи з матеріалу внаслідок обезводнення матеріалу, або за рахунок полімеризації чи окислення, які обґрунтовані у працях [1, 3, 4, 6]. Тобто сушіння вологих матеріалів, це не тільки теплотехнічний, але і технологічний процес, в якому змінюються технологічні властивості матеріалу. Правильно організоване сушіння значно покращує ці властивості. Під час сушіння вологого матеріалу достатньої товщини, коли волога випаровується з його поверхні, порушується її рівновага в середині матеріалу і вона починає переміщатись від центру до країв, в матеріалі спостерігається перепад вологовмісту, який описується моделлю граничного термодинамічного обміну енергії [2, 12].

Розглянуто метод лазерного зондування аркушів паперу фотонним потоком променя із змінною потужністю, що обґрунтовано у працях [8, 10, 11, 13].

Мета та задачі дослідження.

Розроблення інформаційної технології підвищення якості термодинамічної взаємодії лазерного випромінювання в процесі сушіння книжкових блоків.

Задачі дослідження:

– проаналізувати існуючі підходи до термодинамічної взаємодії лазерного випромінювання з паперовими матеріалами під час сушіння;

- розробити математичну модель процесу сушіння книжкових блоків із використанням лазерного випромінювання;
- створити інформаційну технологію, що дозволяє підвищити якість та енергоефективність процесу сушіння;
- розробити рекомендації щодо практичного застосування результатів у поліграфічному виробництві.

Основна частина

Папір для офсетного друку є найбільш розповсюдженим видом паперу для багатотиражного друкування поліграфічної продукції, в тому числі є одним з найпоширеніших для видання книг. Він повинен мати відповідну механічну міцність поверхні, стабільність лінійних розмірів під час зволоження і подальшого висихання. Волокна в структурі паперу не мають одного чітко визначеного напрямку. Вони розміщуються, переплітаються і скріплюються між собою у вигляді ліній, які знаходяться під різними кутами одна до одної залежно від ступеня орієнтації волокон. Це свідчить про існування взаємозв'язку між орієнтацією волокон і механічними властивостями паперу.

Папір, який формується на сітках папероробної машини має повздовжнє або машинне розташування волокон, тобто за напрямом руху полотна. Але аркуші, які виходять після розкроювання рулону на рулонних листорізальних машинах по довжині або по ширині, можуть мати як повздовжній так і поперечний напрям волокон. Напрямок волокон в аркуші паперу необхідно враховувати, оскільки папір краще складається по волокнах ніж проти них. В повздовжньому напрямі виливання паперового полотна він має більшу міцність, жорсткість і видовжується в декілька разів менше ніж у поперечному [1, 2].

Оскільки за своєю природою папір капілярно-пористий колоїдний матеріал, при зволоженні він деформується, збільшуються його розміри по ширині і довжині. Волокна переважно орієнтуються в повздовжньому напрямку і збільшується їх розмір в діаметрі, а не в довжину. У зв'язку з цим і деформація (зміна лінійних розмірів паперу) при зволоженні і висушуванні в повздовжньому напрямку волокон менша ніж в поперечному. Клей наносять на поверхню аркуша паперу тільки в повздовжньому напрямку волокон, оскільки поперечне намащування клеєм приведе до сильної його деформації. Глибина проникнення клею в корінець блока залежить від природи клею і структури паперу, і для офсетного паперу становить 10-20 мкм [3]. Усе це необхідно враховувати при виконанні брошурувально-палітурних процесів.

Офсетний папір повинен мати високу ступінь білизни і рівномірну структуру з обох боків, повинен бути гідрофобним, з високим ступенем проклеювання, та мати підвищену міцність поверхні, яка не руйнується. Папір характеризується такими важливими розмірними показниками як товщина паперу і маса квадратного метра. Значення цього показника для книгодрукування лежить в межах 25-150 г/м².

Офсетний папір вітчизняними підприємствами практично не виготовляється. Тому для дослідження був обраний книжково-журнальний папір масою 70 г/м², 80 г/м² та 100 г/м² «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща (табл. 1). Цей папір використовується для друку багатофарбових видань з великим терміном використання і зберігання (книги, журнали, газети, рекламна і паперово-білова продукція і т.д.).

Таблиця 1 – Технічні характеристики офсетного паперу

№	Найменування, виробник	Маса м ² , г/м ²	Жорсткість, см ³ /г	Білізна, %	Непрозорість, %	Товщина паперу, мкм
1	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	70	160	143	90	89±4
2	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	80	160	143	92	99±4
3	«Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, Польща	100	160	143	93	120±4

Оскільки корінці книжкових блоків складаються зі сфальцьованих зошитів, які в силу технологічного процесу фальцювання, приводять до того, що лазерне висушування здійснюється як і в поперечному так і в повздовжньому напрямі волокон [4].

Сушіння поліграфічної продукції в процесі її друкування і після брошурування пов'язане з регулюванням швидкості руху і періодичними зупинками її в зонах дії ламп інфрачервоного випромінювання, а також з керуванням джерелами нагрітого повітря, генераторами височастотних струмів [2, 5, 9]. У конвеєрних сушарках необхідно регулювати швидкість транспортера пачок книжкових блоків, значення якої повинно узгоджуватись з температурою внутрішнього середовища сушарки, початковою і кінцевою вологістю книжкових блоків їх кількістю і масою.

Проблеми оптимізації процесів сушіння різноманітної друкованої продукції, а також конструювання найбільш раціональних сушарок на даний час остаточно не вирішені. Для розв'язання задач такого класу необхідно визначити характеристики теплового поля. Воно формується різного типу джерелами теплової енергії згідно їх фізико-енергетичної структури та просторового розподілу енергії випромінювання (рис. 1).

Позначення на рис. 1: $T_1^{\circ}\text{C}$ і $T_2^{\circ}\text{C}$ – температура теплового поля, L – відстань між випромінювачами, h – функція густини розподілу інтенсивності лазерного променя в R_2 – площині.

Це є підставою для побудови моделі кінетики і динаміки процесів сушіння книжкових блоків в залежності від їх вологості. Відповідно до фізичної структури виділяємо такі типи нагрівачів [6]: електролампові випромінювачі; інфрачервоні теплові (керамічні панелі); інфрачервоні з електричним нагрівом (спіральні газонаповнені лампи, кераміка, панелі); лазерні в широкому діапазоні випромінювання (1800÷380) Нм.

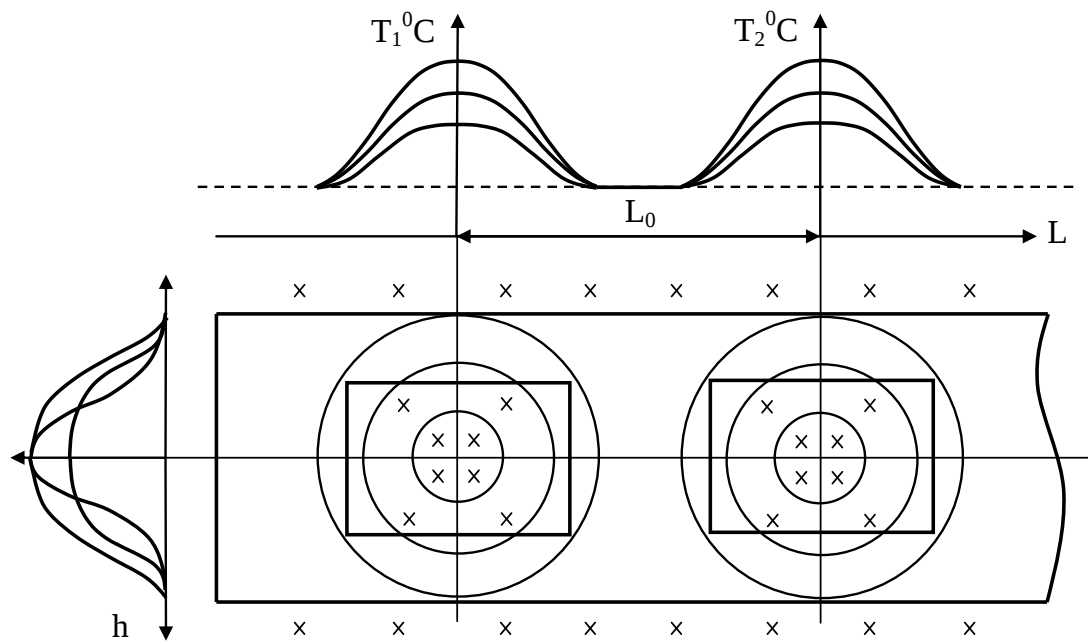


Рисунок 1 – Розподіл теплового поля від лампових випромінювачів на поверхні книжкових блоків

У таких системах випромінюване теплове поле і його просторова структура формуються рефлекторами і тепловими екранами.

Для визначення просторової і енергетичної структури поля температур необхідно побудувати такі характеристики: діапазону регулювання температури поля джерела випромінювання; залежність температури поля від температури поверхні випромінювача; залежність температури корінців книжкових блоків від швидкості і енергії випромінювача $T_{np}=f(v, T_d)$; залежність зміни температури корінців книжкових блоків в області сушіння від часу циклу; побудувати просторову структуру функції розподілу теплової енергії; побудувати просторове поле $T^o(x, y, z)$ в залежності від розподілу поля випромінювання. А також побудувати графічну схему зв'язку параметрів книжкових блоків, теплового поля з функцією продуктивності (цільовою) і обґрунтувати використання лазерних випромінювачів для інтенсифікації процесу сушіння і підвищення продуктивності.

Для побудови просторової структури теплового поля в зоні сушіння корінців книжкових блоків необхідно узгодити ряд характеристик режимів сушіння, тобто узгодити залежності потужності випромінювачів від напруги, швидкості руху транспортера з необхідною температурою джерела випромінювання (рис. 2). Ці дві характеристики вимагають побудови залежності продуктивності від швидкості руху транспортера (ПР- V_{tr}), при цьому необхідна температура теплового поля в зоні нагрівання продукції та часу висушування узгоджується з необхідним значенням параметрів режиму.

Відповідно до цього будується багатокритеріальна множина, яка пов'язує характеристики і фактори, що їх формують. Це є основою для побудови процедури управління на підставі технологічних знань набутих в процесі експлуатації і випробувань сушарки конвеєрного типу.

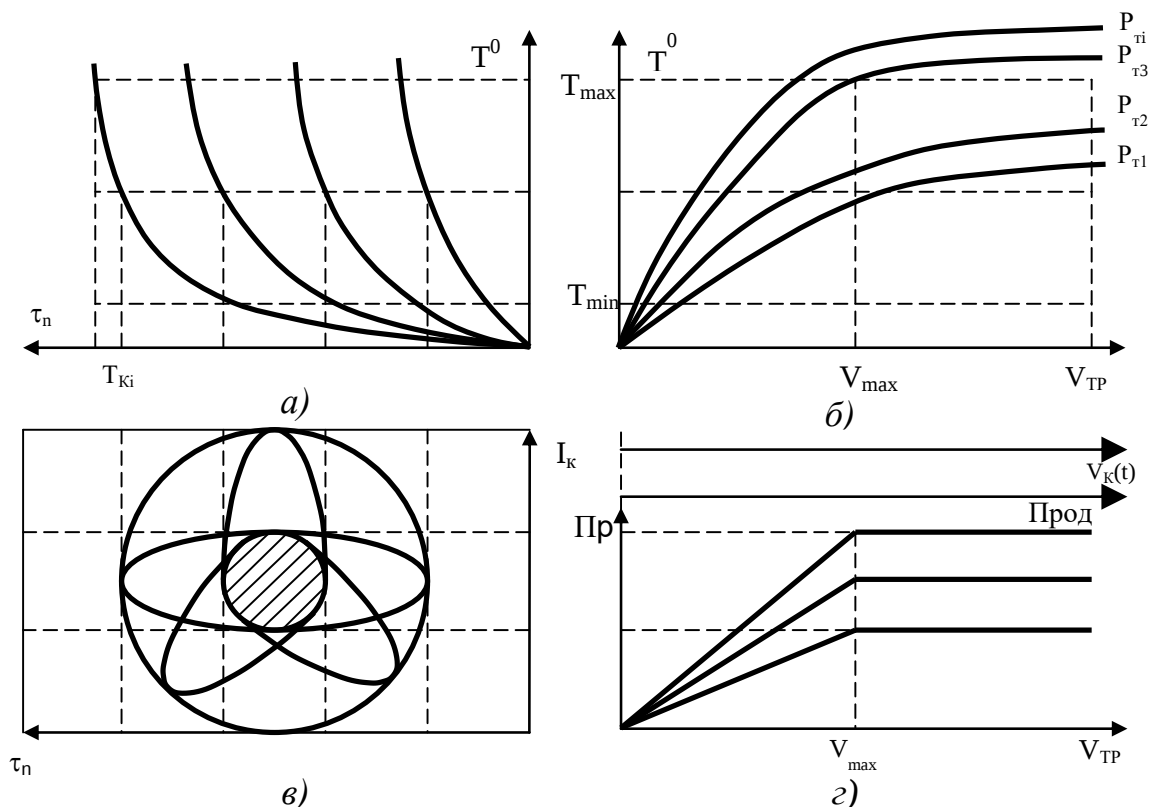


Рисунок 2 – Графічна схема побудови оптимального теплового поля

Для підвищення продуктивності процесу сушіння необхідно використовувати потужні лазери різного діапазону випромінювання – від інфрачервоного до ультрафіолетового за рахунок концентрації енергетичних потоків променів [3, 5]. Для цього формуються секції (рис. 3) з лазерів однакової потужності ($n=8$ шт.), які включаються в структуру регулятора температури на основі паралельного або послідовного з'єднань.

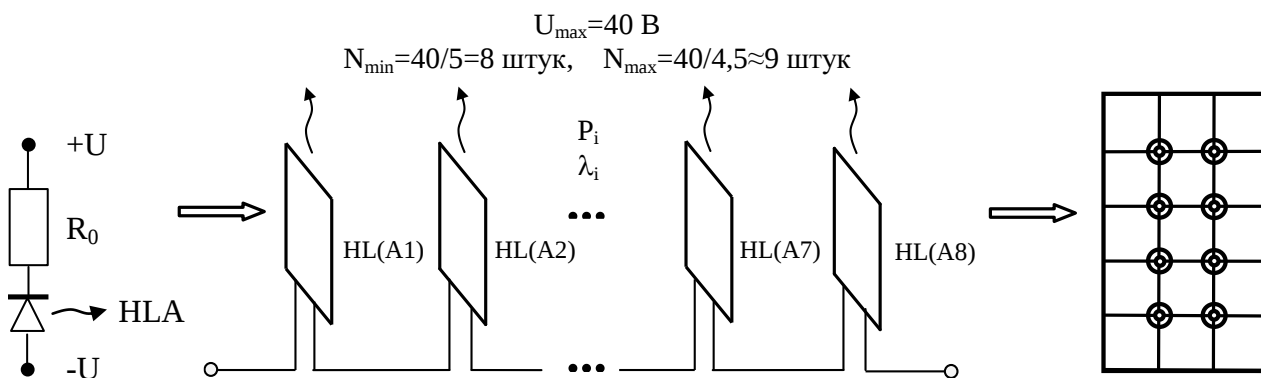


Рисунок 3 – Структура лазерної секції з напівпровідникових лазерів з конусною діаграмою випромінювання потоку фотонів

Відповідно до структури лазерної секції будується схема узгодження як для послідовних (рис. 4, а), так і для паралельних лазерних секцій (рис. 4, б).

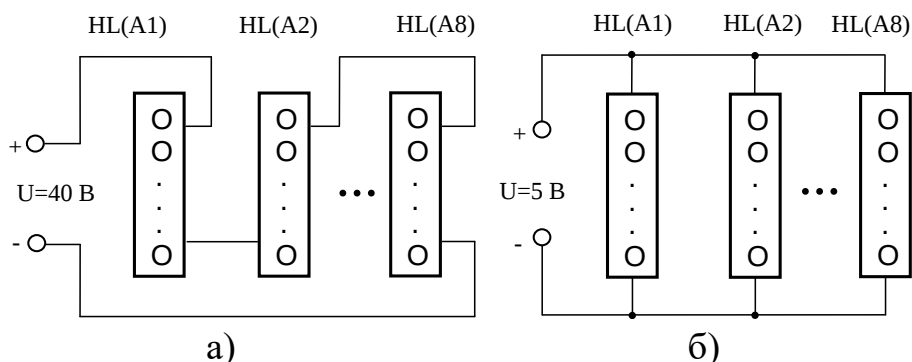


Рисунок 4 – Схема узгодження лазерної секції:

а) послідовна $U=4.5 \text{ В} \times 8$; б) паралельна $I_{\max} = \sum_{i=1}^8 I_i$

Для ефективного формування теплового поля використовуються лазерні секції із силових лазерів великої потужності із прямим струмом в межах $(0,5 \div 5) \text{ А}$, які забезпечують перетворення електричної енергії в оптичну з коефіцієнтом перетворення $k_{\text{ОПТ}} = (0,5 \div 0,8) \times P_E$. Особливість лазерних випромінювачів полягає в тому, що кожен елемент запускається при $U = 2 \text{ В}$ і мінімальній потужності $P_{\min}$. Регулюванням $U = (2 \div 5) \text{ В}$ можна змінювати оптичну потужність до максимального значення. Для формування лазерних секцій, які б узгоджувались з напругою мережі, використовуються комбіновані паралельно-послідовні з'єднання. Для секції з восьми лазерів живленням $U = 40 \text{ В}$, необхідне послідовне з'єднання секцій до 240 В , тобто послідовно шість секцій по $U = 40 \text{ В}$, що забезпечує пряме включення в систему управління температурою.

Така секція живлення забезпечує ефективне регулювання потужності теплового поля випромінювання, безпеку експлуатації і вписується за своїми параметрами в структуру цифрового регулятора температури.

Задачі контролерного регулювання середньої температури в конвеєрних сушарках і швидкості безперервного руху транспортерів частково вирішені [7]. Обґрунтовано раціональні способи і системи регулювання положення (позиціонування) книжкових блоків в повторно-короткотривалих режимах руху з адаптацією регуляторів до цих режимів.

Результати дослідження

Для виявлення структурних особливостей паперу використано метод лазерного зондування (лазер напівпровідниковий з променем конусного типу). При лазерному зондуванні (рис. 5), за рахунок потоку фотонів, які проходять через аркуші тестового паперу, формується образ структури паперу. Образ характеризується мікрокластерами неоднорідності щільності паперу. Розподіл густини потужності лазерного променя відображає в проекції кластерну структуру аркушів паперу, яку можна описати нечіткими множинами [3-5].

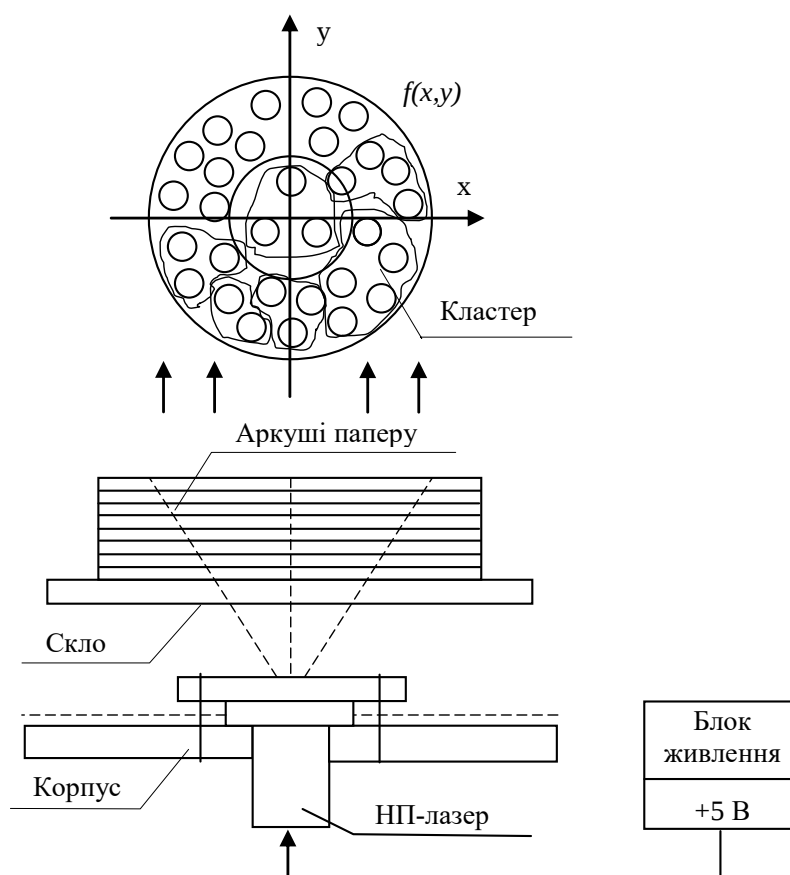


Рисунок 5 – Лазерне зондування аркушів паперу фотонним потоком променя із змінною потужністю

На графіку (рис. 6) зображено розподіл густин об'ємної структури аркуша паперу повздовжнє (1), поперечне (2), косе (3). Наведені образи структури паперу по товщині і відповідно до них функції розподілу потужності лазерного променя при проходженні через шари аркушів паперу, отримані в результаті експериментів.

Глибина проникнення лазерного променя в процесі сушіння при нанесенні клею на паперову площину для різних типів паперу (кількість аркушів паперу $N=8$ шт., 16 шт.) наведено в табл. 2-4.

Таблиця 2 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одрі, виробник Польща, щільність паперу – 70 г/м^2 при $I=150 \text{ мА}$, 100 мА , 50 мА

	Колір	Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
			50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, $N=8$ шт.	Білий, W		21/41	21/42	21/43
	Синій, В		20/36	20/38	21/40
	Зелений, G		16/31	17/31	18/31
	Червоний, R		19/31	19/33	19/37
Кількість аркушів паперу, $N=16$ шт.	Білий, W		21/31	21/32	21/33
	Синій, В		20/38	20/39	20/40
	Зелений, G		15/27	16/27	17/27
	Червоний, R		17/19	18/19	18/19

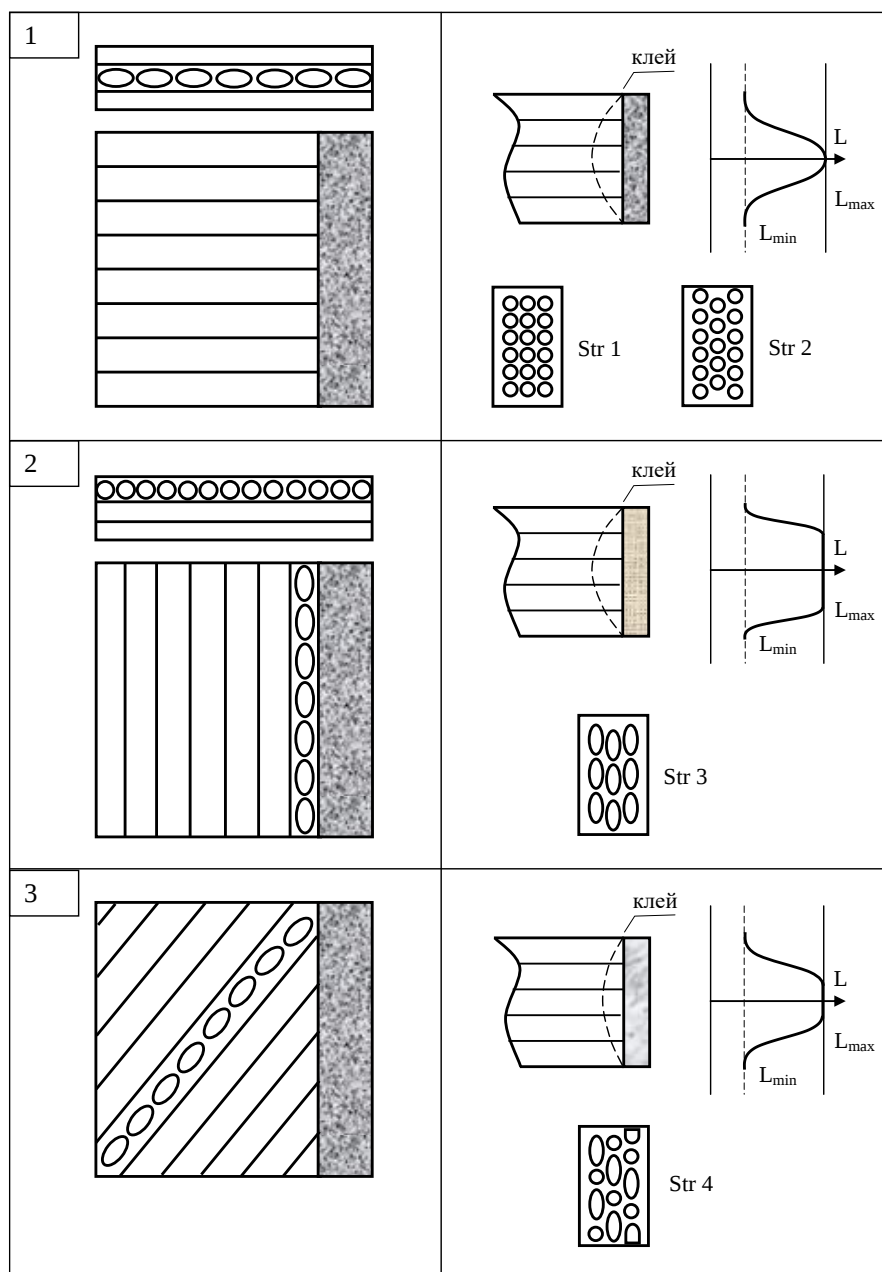


Рисунок 6 – Глибина проникнення лазерного променя в процесі сушіння клеєвого з'єднання при різній структурі паперу

Таблиця 3 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одрі, виробник Польща, щільність паперу – 80 г/м² при I=150 мА, 100мА, 50мА

	Колір	Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
			50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, N=8 шт.	Білий, W		21/38	21/39	21/40
	Синій, B		20/41	20/46	20/50
	Зелений, G		17/34	17/34	18/35
	Червоний, R		18/25	19/28	19/31
Кількість аркушів паперу, N=16 шт.	Білий, W		18/27	19/31	20/33
	Синій, B		17/32	18/36	19/40
	Зелений, G		16/22	17/24	18/27
	Червоний, R		10/12	10/14	13/15

Таблиця 4 – Тип паперу – «Amber Graphic», Arctic Paper, Kostrzyn S.A., м. Кещин на Одре, виробник Польща, щільність паперу – 100 г/м² при I=150 мА, 100мА, 50мА

	Колір \ Струм, I	Діаметр клейового з'єднання D, мм		
		50 мА	100 мА	150 мА
Кількість аркушів паперу, N=8 шт.	Білий, W	21/31	21/35	21/38
	Синій, B	20/40	20/44	20/48
	Зелений, G	17/30	17/33	18/37
	Червоний, R	18/24	18/25	19/27
Кількість аркушів паперу, N=16 шт.	Білий, W	15/20	17/21	19/22
	Синій, B	17/20	18/23	20/26
	Зелений, G	11/22	13/23	16/24
	Червоний, R	14 аркушів 10/15	14 аркушів 12/16	15 аркушів 12/14

Лазерне кольорове (RGBW) зондування 8 аркушів паперу та структура функції розподілу потужності конуса лазерного променя після проходження через середовище паперу зображено на рис. 7.

Висновки

В роботі запропоновано комплексне формування теплового потоку з використанням теплових електричних випромінювачів (лампи великої потужності). Запропонований метод комплексного використання електричних теплових випромінювачів (інфрачервоні, лампочки білого світла) разом з потужним лазерним випромінюванням (потужні лазери в діапазоні: білий, синій, зелений, червоний) дало змогу скоротити час сушіння та основі полімеризації клею лазерним випромінюванням та підвищити якість міцності скріплення корінця. Із напівпровідникових лазерів з потужністю 1-10 Вт сформовані блоки випромінювачів, які по довжині перекривають книжний блок. Для кожного типу паперу вибираються потужності лазерної решітки та відповідний колір випромінювання, що дає можливість отримати оптимальні режими сушіння.

Розглянуто метод підвищення якості продукції на підставі використання систем координаційної стратегії підтримки прийняття рішень з використанням оптимізаційних процедур в просторі станів об'єкта. Побудовано структурну модель теплового поля при комбінації лазерних і теплових випромінювачів, що дало змогу підвищити ефективність процесу сушіння книжкових блоків.

Обґрунтовано використання лазерних випромінювачів теплової енергії в діапазоні $\lambda=(0,36\div1,8)$ мкм та розроблено схеми їх включення в структуру цифрового регулятора температури.

Розроблено компоненти інформаційної технології відбору та інтервального опрацювання даних про термодинамічний режим процесу сушіння книжкових блоків як підставу здійснення управління.

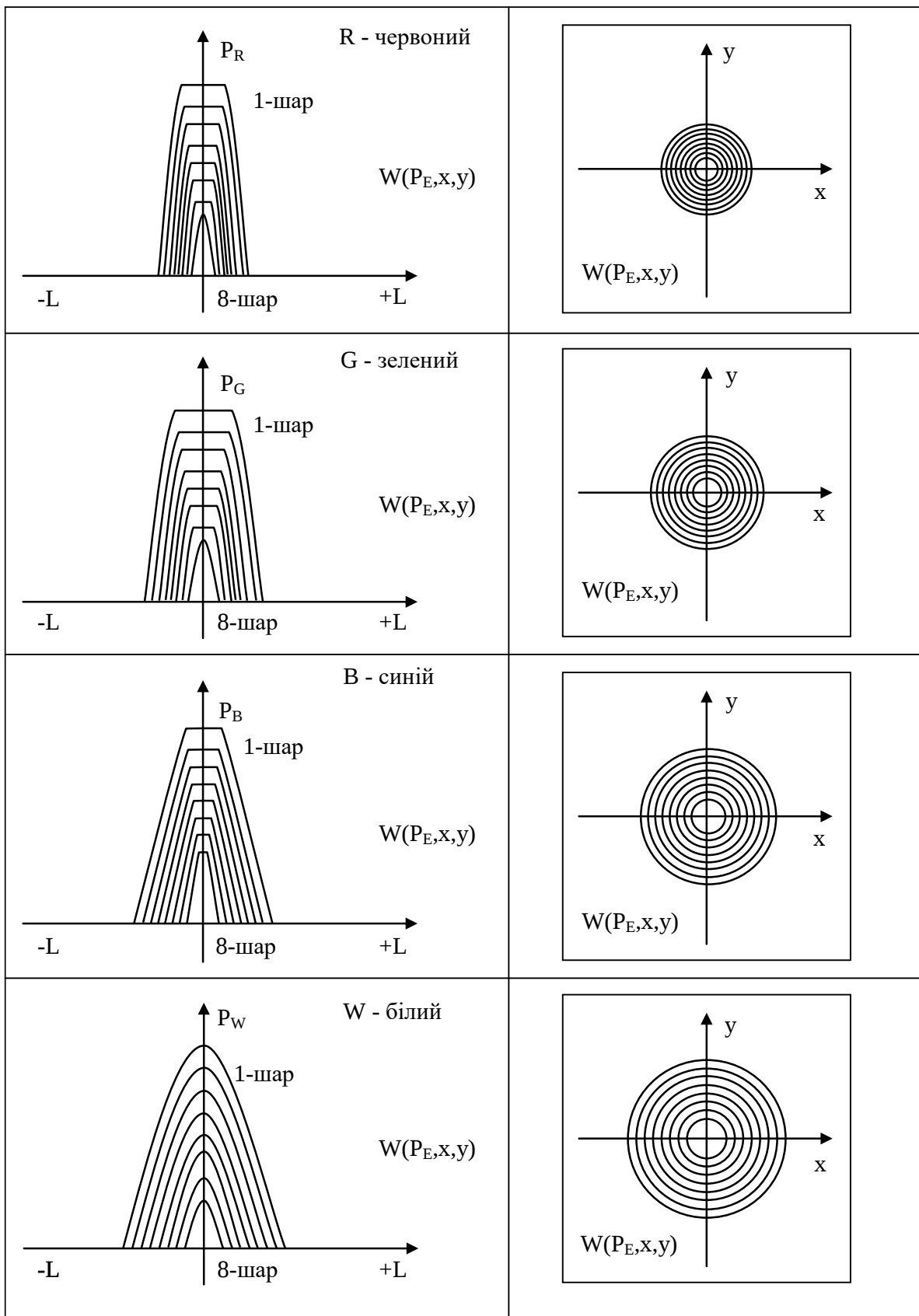


Рисунок 7 – Лазерне кольорове (RGBW) зондування 8 аркушів паперу

Список літератури.

1. Коптюх, Л.А. (2012). Види і властивості паперу для друку: навчальний посібник. К.: Університет «Україна».
2. Ярема, С.М. (2003). Видавничі поліграфічні технології та обладнання (загальний курс): навч. посібник. К.:Ун-т «Україна».
3. Гавенко, С.Ф. (2002). Нормалізація технології незшивного клейового скріплення книг: теоретичні та практичні аспекти. Львів: Каменярь.
4. Гавенко, С.Ф., & Йордан, Г.М. (2012). Технологія мікрохвильового висушування книжкових блоків : монографія. Львів: УАД.
5. Хведчин, Ю.Й. (2007). Брошурувально-палітурне устаткування. Ч. 2: Палітурне устаткування: підручник. Львів: УАД.
6. Шот, Р.І., & Стрепко, І.Т. (1998). Теплові процеси в поліграфії: навч. посібник. Львів: УАД Фенікс.
7. Стрепко, І., Федина, Б., & Забрамний, І. (2004). Частотно-регульований асинхронний привод транспортера конвеєрної сушарки поліграфічної продукції з повторно-короткотривалим режимом руху. Комп'ютерні технології друкарства, (12), 97-108.
8. Гаращук, В.П. (2012). Основи фізики лазерів. Навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей ВНЗ. «Пульсари».
9. Стрепко, І., & Федина, Б. (2002). Порівняльний аналіз методів теплового сушіння матеріалів. Комп'ютерні технології друкарства, (7), 216-220.
10. Shen, Z., Guo, D., Zhao, H., Xia, W., Hao, H., & Wang, M. (2021). Laser self-mixing interferometer for three-dimensional dynamic displacement sensing. IEEE Photonics Technology Letters, 33(7), 331-334. <https://doi.org/10.1109/LPT.2021.3062287>.
11. Sikora, L., Lysa, N., Fedyna, B., Durnyak, B.R., & Miyushkovych, Y. (2018). Technologies of development laser based system for measuring the concentration of contaminants for ecological monitoring. Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), (1), 93-96. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526602>.
12. Caprara, G.V., & Cervone, D. (2000). Personality: Determinants, Dynamics, and Potentials. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812767>.
13. Sikora, L., Martysyshyn, R., Miyushkovych, Y., Lysa, N., & Yakymchuk, B. (2015). Problems of data perception by operators of energy-active objects under stress. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, 475-477. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230909>.