

5. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / В. Микаэли ; пер. с англ. под. ред. В. П. Володина. — СПб. : Профессия, 2007. — 472 с.

The modelling process in forming the extrusion tool allows machines to perform the necessary calculations to start elaboration of design project that has practical value and scientific value in terms of new methods of calculation extrusion tool.

Key words: *pipe, polyethylene, mathematical model, the forming tool.*

Отримано: 05.08.2016

УДК 004.942+681.62

Я. Ю. Коляно*, канд. фіз.-мат. наук,

Т. С. Сасс*, канд. техн. наук,

Є. Г. Іваник**, канд. фіз.-мат. наук,

О. В. Сікора***, канд. техн. наук,

М. В. Дорошенко***, канд. фіз.-мат. наук

*Українська Академія друкарства, м. Львів,

**Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів,

***Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка, м. Дрогобич

МАТЕМАТИЧНА ТА СТРУКТУРНА МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено структурну модель інформаційних технологій сушіння поліграфічних матеріалів, яка базується на математичному моделюванні процесів тепломасоперенесення у капілярно-пористих колоїдних тілах. Отримані результати аналізу розв'язку нестационарної задачі термовологопровідності для пластинчатих поліграфічних систем придатні для оптимізації режимів сушіння з подальшим використанням у вирішенні питань енергозбереження та забезпечення необхідної якості поліграфічної продукції (картон, папір, поліуретан).

Ключові слова: *конвективне сушіння, кондуктивне сушіння, математична модель, нестационарна задача термовологопровідності, поліграфічні системи, інтегральне перетворення Лапласа, термодинамічні параметри, інформаційні технології.*

Вступ. Процес сушіння — складний теплофізичний і технологічний процес. Основою теорії сушіння є закономірності переносу тепла і вологи у вологих матеріалах при взаємодії їх з нагрітими газами (конвективне сушіння), з гарячими поверхнями (контактне сушіння),

а також в процесах опромінення тепловими і електромагнітними хвилями (терморадіаційне сушіння) при наявності фазових перетворень [1–6]. Теорія сушіння є важливим розділом теплофізичної науки про тепло- і масообмін. Проте процес сушіння вологих матеріалів є одночасно і технологічним процесом, в якому змінюються структурно-механічні, технологічні і біохімічні властивості матеріалів. Зміна цих властивостей обумовлена тим, що в процесі сушіння відбувається зміна форм зв'язку вологи з матеріалом і її часткове видалення шляхом випаровування. Тому теорія сушіння включає в себе не тільки розділи тепло- і масоперенесення в тілі, але і вчення про форми зв'язку вологи з вологими матеріалами, ряд основних розділів фізико-хімічної механіки і деякі розділи технології і біохімії [1–4].

Тісний зв'язок з практикою є запорукою вирішення будь-якої наукової проблеми. При цьому першочергове значення має сама технологія процесу, розроблена на підставі аналізу складних виробничих ситуацій. Завдання технології теплової обробки (нагрівання, сушіння) полягає в розробці методів керування процесами, які відбуваються у матеріалі, з метою отримання готового продукту або напівфабрикату високої якості, скорочення тривалості процесу, термінів випуску продукції, а також оптимізації витрат енергії. Розробка методів штучного висушування і нагрівання базується на теорії нагрівання, теорії сушіння і фізико-хімічній механіці матеріалів [7–9].

Аналіз попередніх публікацій. Існують різні методи сушіння матеріалів [1–7, 10–12]: 1) сушіння нагрітим повітрям (конвективне сушіння); 2) контактне сушіння (кондуктивне сушіння); 3) сушіння термовипромінюванням (радіаційне сушіння); 4) сушіння струмами високої частоти; 5) сушіння матеріалів сублимацією при низьких температурах при глибокому вакуумі; 6) хімічне сушіння матеріалів; 7) комбіноване сушіння, при якому тепло передається матеріалу різними шляхами (контактно-конвективним, конвективно-радіаційним та іншими методами). Їх вибір залежить від технології обробки напівфабрикатів і виробів, а також від економічної доцільності даного методу сушіння в конкретних виробничих умовах. Як наслідок, існують різноманітні сушильні пристрої (сушарки). Метод сушіння і відповідно конструкція сушарки визначається оптимальним режимом для даного матеріалу. Неможливо відсторонено від конкретного матеріалу говорити про кращий спосіб сушіння, а також про кращу конструкцію чи тип сушарки. Те, що добре для одного матеріалу, часто є неприйнятним для іншого. Всі вологі матеріали розділяються на три групи: капілярнопористі, колоїдні і капілярнопористі колоїдні тіла [1–5, 13–15]. Методи і режими сушіння матеріалів однієї групи при однаковій формі тіл близькі між собою [1–4, 13]. При такому пі-

дході до вибору оптимального режиму сушіння і конструкції сушильного апарату можна з меншою помилкою вибрати найбільш раціональну схему сушильного пристрою.

Штучне висушування напівфабрикатів дозволяє суттєво прискорити процес і поліпшити якість видань, проте вимагає спеціального обладнання і затрат енергії. Внаслідок неоднотипних умов проведення процесів висушування і технологічних вимог до готової продукції на поліграфічних підприємствах використовуються різноманітні сушильні пристрої, які мають підвищені втрати тепла і електроенергії на один кілограм випаруваної вологи [14]. Відомі в літературі результати досліджень [16–28] свідчать, що сушарки, які використовуються у виробництві, мають недоліки, пов'язані із недостатнім просушуванням вологих напівфабрикатів і надмірною витратою теплової енергії [14]. Тому процеси сушіння потребують додаткових теоретичних досліджень, що дасть змогу оптимально використовувати теплову енергію і скоротити час технологічного процесу з урахуванням особливостей висушуваного матеріалу та режимів роботи відповідних сушарок.

Мета статті: розроблення інформаційних технологій удосконалення процесів конвективного та кондуктивного сушіння поліграфічних матеріалів на основі формулювання і методики розв'язання відповідних задач нестационарної термовологопровідності.

Виклад основного матеріалу. Згідно математичних основ теорії сушіння, що були закладені академіком О. В. Ликовим в середині ХХ сторіччя, процес сушіння матеріалу характеризується зміною в часі трьох основних функцій: 1) температури (температурна крива в залежності від часу), 2) вологовмісту матеріалу (крива сушіння в залежності від часу), 3) швидкості сушіння (крива сушіння) [1–4, 13, 29]. Першим кроком для аналізу процесу сушіння є отримання температурних кривих в залежності від часу, на основі яких можна встановити основні закономірності процесу сушіння [13, 29]. Наступний крок — отримання кривих вологовмісту залежно від часу і проведення аналізу їх взаємозв'язаності з розподілом температури в системі в часі залежно від швидкості нагрівання [1–6, 13].

Викладемо схему основних елементів інформаційної технології на прикладі удосконалення конвективного сушіння поліграфічних матеріалів. Підставою виокремлення компонент для побудови схеми основних елементів інформаційної технології удосконалення конвективного сушіння поліграфічних матеріалів є розв'язання і повний аналіз процесів термовологопровідності, який, зважаючи на геометричну конфігурацію основних типів поліграфічних матеріалів, проводиться на моделі пластини скінченої товщини (плити) [30–32]. Фізична постановка задачі формулюється у вигляді: розглядається волога необмежена пластина

товщиною $2h$, верхня і нижня поверхні якої взаємодіють із оточуючим середовищем згідно закону конвективного термовологообміну (рис. 1). Задано початкові значення: температура t_0 , потенціал вологоперенесення θ_0 . Нагрівання пластини здійснюється за допомогою температури оточуючого середовища t_c . Потрібно: знайти розподіли температури і потенціалу вологоперенесення в довільній точці пластини залежно від часу; визначити величини градієнтів температури і потенціалу вологоперенесення між поверхнями пластини залежно від часу; встановити час висушування цієї пластини.



Рис. 1. Схема перерізу пластини, що конвективно висушується теплим повітрям

Математична постановка задачі, здійснена згідно з теорією нестационарної термовологопровідності А. В. Ликова, а також нестационарної теплопровідності, узагальненої в монографії [33], розглядається у вигляді початково-крайової задачі для безрозмірних температури $T(Z, Fo)$ і потенціалу вологопереносу $\Theta(Z, Fo)$ [4] та формулюється в такому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} - \varepsilon Ko \frac{\partial \Theta}{\partial Fo}, \\ \frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = Lu \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} - Lu Pn \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \end{cases} \quad (1)$$

з такими початковими умовами:

$$T(Z, 0) = 0, \quad \Theta(Z, 0) = 0, \quad \text{при } Fo = 0 \quad (2)$$

умовами симетрії:

$$\frac{\partial T(0, Fo)}{\partial Z} = 0, \quad \frac{\partial \Theta(0, Fo)}{\partial Z} = 0, \quad Z = 0, \quad (3)$$

та, відповідно до схеми на рис. 1, граничними умовами:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial Z} - Bi_q [1 - T(1, Fo)] + (1 - \varepsilon) Ko Lu Bi_m [1 - \Theta(1, Fo)] &= 0, \\ -\frac{\partial \Theta}{\partial Z} + Pn \frac{\partial T}{\partial Z} + Bi_m [1 - \Theta(1, Fo)] &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Причому в рівняннях та співвідношеннях (1)–(4) введені такі позначення: $T = \frac{t-t_0}{t_c-t_p}$; $\Theta = \frac{\theta_0-\theta}{\theta_0-\theta_p}$; $Z = \frac{z}{h}$; $FO = \frac{a_q\tau}{h^2}$; $Bi_q = \frac{\alpha_q h}{\lambda_q}$;

$$Bi_m = \frac{\alpha_m h}{\lambda_m} = \frac{\beta h}{a_m}; Lu = \frac{a_m}{a_q}; Ko = \frac{r(u_0-u_p)}{c_q(t_c-t_0)}; Pn = \frac{\delta(t_c-t_0)}{u_0-u_p} \text{ — від-}$$

повідні безрозмірні критерії, які визначають перебіг процесу тепло-масообміну; ε — критерій фазового перетворення; a_q, a_m — коефіцієнти температуропроводності і потенціалопроводності вологоперенесення; α_q, α_m — коефіцієнти теплообміну і волого обміну; λ_q, λ_m — коефіцієнти теплопровідності і волого провідності; δ — термоградієнтний коефіцієнт; c_q — теплоємність матеріалу; r — питома теплота фазового переходу; t_0, t_c — початкова температура пластини і температура оточуючого середовища; θ_0, θ_p — початкове і рівноважне значення потенціалу вологоперенесення; u_0, u_p — початковий і рівноважний вологовміст пластини [1]. Зв'язок потенціалу вологоперенесення і вологовмісту задається співвідношенням $\theta = \frac{u}{u_{\Gamma}} \cdot 100$, де u — вологовміст матеріалу, u_{Γ} — максимальний

гігроскопічний вологовміст матеріалу.

Задача (1)–(4) обезрозмірена з метою зменшення числа термодинамічних параметрів матеріалу, з якого виготовлена пластинка, у подальших чисельних обрахунках. Відповідна задача термовологоперенесення, сформульована в розмірному виді, залежить від чотирнадцяти термодинамічних параметрів: $a_q, a_m, \alpha_q, \alpha_m, \lambda_q, \dots$, а безрозмірна від шести: $\varepsilon, Lu, Ko, Pn, Bi_m, Bi_q$ [1–6, 34, 35]. Вивчення поведінки цих шести основних безрозмірних параметрів, кожен з яких має свою фізичну суть, дозволяє зрозуміти у якій мірі кожен з них впливає на процес, тобто дозволяє більш глибоко, через меншу кількість параметрів, розкрити фізичну суть розглядуваного процесу сушіння [1–6, 35].

З використанням інтегрального перетворення Лапласа побудовано розв'язок нестационарної задачі кондуктивної термовологопровідності у найбільш повній постановці з урахуванням критеріїв поверхневого вологообміну (Bi_m) і взаємозв'язку тепло- і вологоперенесення (Lu), що дає змогу підвищити точність вихідних параметрів.

Побудований розв'язок має вигляд таких залежностей:

$$T(Z, Fo) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} \cos(v_i \mu_n Z) e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (5)$$

$$\Theta(Z, Fo) = 1 + \frac{1}{Ko^*} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^2 C_{ni} (1 - v_i^2) \cos(v_i \mu_n Z) e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (6)$$

де

$$C_{n1} = 2 \frac{(1 - \varepsilon Ko K_1) P_{n2} + \varepsilon Ko Q_{n2}}{D_n}; \quad C_{n2} = -2 \frac{(1 - \varepsilon Ko K_1) P_{n1} + \varepsilon Ko Q_{n1}}{D_n};$$

$$K_1 = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} Lu \frac{Bi_m}{Bi_q}; \quad Ko^* = \varepsilon Ko;$$

$$D_n = \mu_n (v_1 A_{n1} P_{n2} + v_2 B_{n2} Q_{n1} - v_2 A_{n2} P_{n1} - v_1 B_{n1} Q_{n2});$$

$$A_{ni} = \left[1 + \frac{1}{Bi_q} + (1 - v_i^2) K_1 \right] \sin v_i \mu_n + \frac{1}{Bi_m} v_i \mu_n \cos v_i \mu_n;$$

$$B_{ni} = (1 - v_i^2) \sin v_i \mu_n + \frac{(1 - v_i^2) + \varepsilon Ko Pn}{Bi_m} (\sin v_i \mu_n + v_i \mu_n \cos v_i \mu_n);$$

$$Q_{ni} = \left[1 + (1 - v_i^2) K_1 \right] \cos v_i \mu_n - \frac{1}{Bi_q} v_i \mu_n \sin v_i \mu_n;$$

$$P_{ni} = (1 - v_i^2) \cos v_i \mu_n - \frac{\varepsilon Ko Pn + (1 - v_i^2)}{Bi_m} v_i \mu_n \sin v_i \mu_n;$$

$$v_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left[1 + Ko^* Pn + \frac{1}{Lu} \mp \sqrt{\left(1 + Ko^* Pn + \frac{1}{Lu} \right)^2 - \frac{4}{Lu}} \right];$$

де μ_n — корені відповідного характеристичного рівняння.

Виділимо основні етапи розробленої інформаційної технології, враховуючи перелік та суть поставлених завдань. Кожен з етапів при цьому має свої результати, які можуть бути використані для удосконалення процесу сушіння конкретного поліграфічного матеріалу.

1. Визначаються основні параметри впливу на процес конвективного сушіння. Як правило, для процесу конвективного сушіння, ними є температура оточуючого середовища, початкова температура матеріалу, початковий та рівноважний (шуканий, потрібний) вологовміст матеріалу, швидкість сушіння.

2.1.1. Здійснюється математична постановка нестационарної задачі термовологопровідності щодо конвективного сушіння поліграфічних матеріалів з відповідними граничними і початковими умовами. Задача

розв'язується аналітично з використанням інтегрального перетворення Лапласа, в результаті чого отримуються аналітичні залежності (формули (5), (6)) в розмірному та безрозмірному вигляді для розрахунку нестационарної температури і потенціалу вологоперенесення.

2.1.2. Уточнюються розмірні та обчислюються безрозмірні термодинамічні параметри конкретного матеріалу, що висушується.

2.1.3. Обчислюються нестационарні значення температури і потенціалу вологоперенесення з використанням розробленої імітаційної моделі, формується таблиця значень температури і потенціалу вологоперенесення в різні моменти часу і на різних поверхнях матеріалу, що висушується.

2.1.4. Будуються графіки розподілу температури і потенціалу вологоперенесення залежно від часу. Будуються графіки розподілу температури і потенціалу вологоперенесення по товщині матеріалу в різні моменти часу.

2.1.5. На основі отриманих кривих та отриманих числових значень визначається тривалість сушіння чи нагрівання матеріалу, знаходяться максимальні і мінімальні значення градієнтів температури і потенціалу вологоперенесення в процесі конвективного висушування поліграфічних матеріалів.

2.2.1. Здійснюється математична постановка стаціонарної задачі термовологопровідності щодо конвективного сушіння поліграфічних матеріалів з відповідними граничними і початковими умовами. Будується розв'язок, в результаті чого дістаємо відповідні залежності в розмірному та безрозмірному вигляді для розрахунку стаціонарних значень температури і потенціалу вологоперенесення.

2.2.2. Уточнюються розмірні та обчислюються безрозмірні термодинамічні параметри конкретного матеріалу, що висушується.

2.2.3. Обчислюються стаціонарні значення температури і потенціалу вологоперенесення з використанням розробленої імітаційної моделі, формується таблиця розподілу температури і потенціалу вологоперенесення по товщині матеріалу, що висушується.

2.2.4. Будуються графіки (схеми) розподілу стаціонарних розподілів температури і потенціалу вологоперенесення по товщині матеріалу.

2.2.5. Визначаються стаціонарні значення градієнтів температури і потенціалу вологоперенесення під час конвективного висушування поліграфічних матеріалів і здійснюється перевірка коректності розв'язків нестационарної задачі, шляхом виходу параметрів процесу на асимптотичний режим.

3. На основі отриманих результатів даються рекомендації щодо покращення конвективного сушіння. Наприклад, для зменшення часу висушування, зменшення градієнтів температури і потенціалу вологоперенесення, зміни температури оточуючого середовища, економії теплової енергії.

Стосовно комплексу виконаних досліджень схема (рис. 2) відображає послідовність реалізації та суть етапів, а також взаємозв'язків між ними.

Для більш повного сприйняття схеми слід вважати, що результати виконання основних процедур кожного з етапів логічно сприймати входними даними для наступних. До однієї з основних компонент ІТ належить розроблений програмний засіб, який обраховує значення температури і потенціалу вологоперенесення у будь-який момент часу і в будь-якій точці поліграфічної системи, що конвективно висушується.

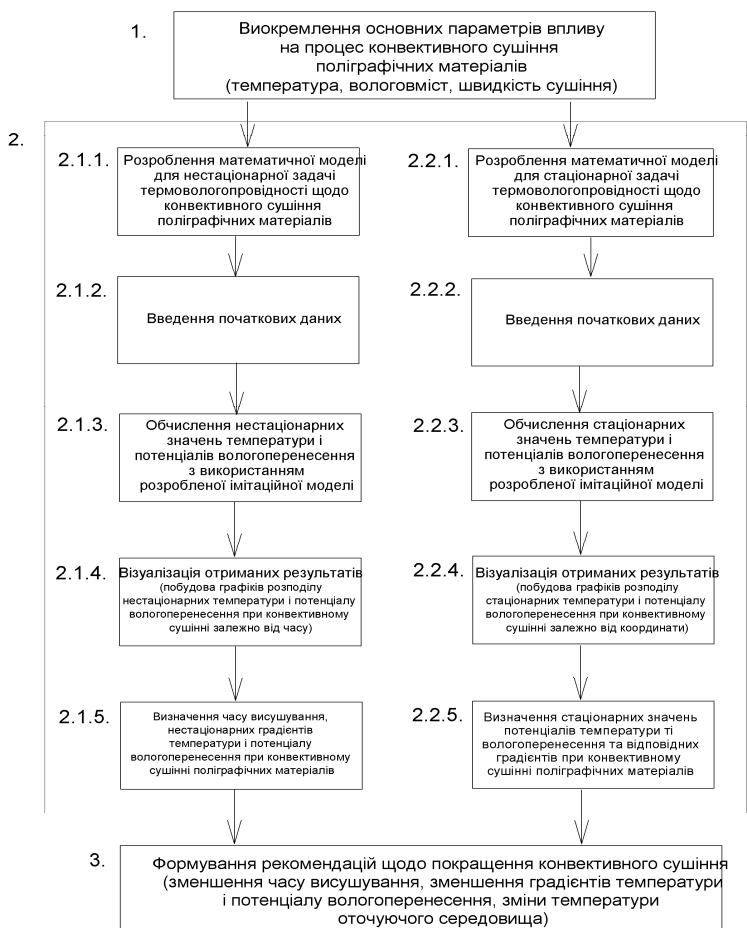


Рис. 2. Схема основних елементів інформаційної технології удосконалення конвективного сушіння поліграфічних матеріалів

Висновки. Залежно від особливостей технологічного процесу застосовують різні методи підводу тепла — конвективний, кондуктивний, променевий та інші. Оптимізація процесів сушіння поліграфічних матеріалів є важливим і актуальним завданням, вирішення якого дає змогу: ефективно використовувати теплову енергію, зменшити витрати виробничого часу, не допустити руйнування чи псування матеріалів; покращити експлуатаційні властивості готової продукції. Передумовою (першим кроком) до побудови інтегрованої інформаційної системи оптимізації основних технологічних процесів поліграфії є розв'язання нестационарних задач термовологопровідності (задач сушіння), завдяки чому можна моделювати технологічні поліграфічні процеси (наприклад, пресування полімерних плівок, сушіння книжкового блоку після заклеювання корінця, обігрів корінця після покриття книжкового блоку обкладинкою тощо).

Розвинутий підхід може бути застосований до вивчення інших способів сушіння поліграфічної продукції: кондуктивного (контактного), променевого (терморадіаційного), а також буде корисним для вивчення комбінованих способів сушіння (кондуктивно-конвективного, променево-конвективного). Розвинуті інформаційні технології дають змогу досліджувати процеси сушіння для широкого класу вологих капілярно-пористих матеріалів (картон, папір, целюлоза, деревина, зерно, шкіра, тканина, глина, вугілля, ґрунти тощо).

Список використаних джерел:

1. Лыков А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. — М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1956. — 464 с.
2. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков — М. : Высшая школа, 1967. — 599 с.
3. Лыков А. В. Теория сушки / А.В. Лыков — М. : Энергия, 1968. — 472 с.
4. Лыков А. В. Тепломассообмен : справ. / А. В. Лыков — М. : Энергия, 1978. — С. 480.
5. Лыков А. В. Теория переноса энергии и вещества / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов — Минск : Издательство АН БССР, 1959. — 332 с.
6. Лыков А. В. Теория тепло- и массопереноса / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. — М. : Госэнергоиздат, 1963. — 535 с.
7. Воробьев Д. В. Технология брошюровочно-переплетных процессов : учеб. для вузов по спец. «Технология полигр. пр-ва» / Д. В. Воробьев, А. И. Дубасов, Ю. М. Лебедев. — М. : Книга, 1989. — 392 с.
8. Воробьев Д. В. Технология послепечатных процессов / Д. В. Воробьев. — М. : МГУП, 2000. — 392 с.
9. Діагностика властивостей деревини в технологічних процесах деревообробки / І. М. Озарків, С. В. Басалига, Я. Ф. Кулешник та ін. — Львів : Вид. дім «Панорама», 2003. — 228 с.

10. Стрепко І. Синтез системи автоматичного регулювання температури в автоматичній сушарці книжкових блоків / І. Стрепко, А. Забрамний, Б. Федина // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. праць. — Львів : УАД, 2002. — Вип. 9. — С. 40–49.
11. Чехман Я. І. Друкарське устаткування : підручник / Я. І. Чехман, В. Т. Сенкусь та ін. — Львів : УАД, 2005. — 468 с.
12. Шот Р. І. Теплові процеси в поліграфії : навч. пос. / Р. І. Шот, І. Т. Стрепко. — Львів : УАД «Фенікс», 1998. — 202 с.
13. Алабовский А. Н. Теплотехника / А. Н. Алабовский, С. М. Константинов, И. А. Недужий — К. : Вища школа, 1986. — 255 с.
14. Гавенко С. Ф. Технологія мікрохвильового висушування книжкових блоків / С. Ф. Гавенко, Г. М. Йордан. — Львів : УАД, 2012. — 144 с.
15. Гавенко С. Ф. Технологія ламінування друкарських відбитків / С. Ф. Гавенко, М. С. Мартинюк. — Львів : УАД, 2008. — 79 с.
16. Дурняк Б. Дослідження математичної моделі системи автоматичного регулювання натягу прямої дії при намотуванні стрічкових матеріалів в рулонних друкарських машинах / Б. Дурняк // Вісн. держ. ун-ту «Львів. політехніка». Комп'ют. інженерія та інформ. технології. — Львів, 1999. — № 380. — С. 72–76.
17. Дурняк Б. В. Математична модель нестационарної стрічкопровідної ділянки / Б. В. Дурняк, І. М. Хмельницька, М. М. Луцків // Поліграфія і вид. справа : наук.-техн. зб. — Львів : УАД, 2008. — № 2. — С. 123–131.
18. Дурняк Б. В. Математичне описування форми криволінійних контурів паперово-картонних виробів / Б. В. Дурняк, О. І. Млинко // Упаковка. — Львів : УАД, 2009. — № 3. — С. 35–37.
19. Ефимов М. В. Автоматизация технологических процессов полиграфии / М. В. Ефимов, Г. Д. Толстой. — М. : Книга, 1989. — 512 с.
20. Красников В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. — М. : Энергия, 1973. — 288 с.
21. Кришнер О. Научные основы техники сушки / О. Кришнер. — М. : Изд-во иностр. лит., 1961. — 540 с.
22. Маїк В. З. Технологія брошурувально-палітурних процесів / В. З. Маїк. — Львів : УАД, 2011. — С. 488.
23. Минченко Н. И. Тепло- и массообмен в процессах изготовления книги / Н. И. Минченко, И. А. Жуков, А. В. Сидорова // Полиграфия : сб. науч. трудов — М. : МПИ, 1970. — № 12. — С. 45–48.
24. Муштаев В. И. Основные теоретические положения конвективной сушки и уточненный метод расчета сушильных аппаратов / В. И. Муштаев. — М. : Наука, 1971. — 81 с.
25. Сажин Б. С. Научные основы техники сушки / Б. С. Сажин, В. Б. Сажин. — М. : Наука, 1997. — 448 с.
26. Сажин Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. — М. : Химия, 1984. — 320 с.
27. Ткаченко О. О. Високотемпературні процеси та установки : підручник / О. О. Ткаченко. — К. : А.С.К., 2005. — 480 с.
28. Филоненко Г. К. Сушильные установки / Г. К. Филоненко, П. Д. Лебедев. — М. : ГЭИ, 1952. — 264 с.

29. Шубин Г. С. О влиянии испарения на теплообмен при сушке / Г. С. Шубин, А. В. Чемоданов // Технология и материалы деревообраб. пр-в : труды Моск. лесотехн. ин-та. — 1985. — Вып. 170. — С. 102.
30. Коляно Я. Ю. Нестационарна задача теплопроводності для необмеженої плити щодо сушіння поліграфічної продукції / Я. Ю. Коляно, Т. С. Сасс, І. Г. Юнгер // Наукові записки УАД. — Львів : УАД, 2008. — Вип. 1 (13). — С. 139–146.
31. Коляно Я. Ю. Перехідні поля потенціалів тепловологопереносу в нескінченній пластині в процесі конвективного сушіння / Я. Ю. Коляно, Т. С. Сасс // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. праць. — Львів : УАД, 2013. — № 29. — С. 206–213.
32. Коляно Я. Ю. Чисельний аналіз нестационарної задачі теплопроводності для необмеженої плити щодо сушіння поліграфічної продукції / Я. Ю. Коляно, Т. С. Сасс // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. праць. — Львів : УАД, 2010. — № 23. — С. 183–193.
33. Коляно Ю. М. Методы теплопроводности и термоупругости неоднородного тела / Ю. М. Коляно. — К. : Наук. думка, 1992. — 280 с.
34. Никитина Л. М. Таблицы равновесного удельного влагосодержания и энергии связи влаги с материалами : справ. пос. / Л. М. Никитина. — М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1963. — 176 с.
35. Никитина Л. М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах / Л. М. Никитина. — М. : Энергия, 1968. — 500 с.

The structural model of information technology drying of printing materials, based on mathematical modeling processes teplotomasoperenesenyya in capillary-porous colloidal bodies. The results of analysis of non-stationary solution to the problem termovolohoprovidnosti plate printing systems suitable for optimization of drying and used in addressing energy efficiency and ensure the required quality printed materials (cardboard, paper, polyurethane).

Key words: *convective drying, convective drying, mathematical model, nonstationary problem termovolohoprovidnosti, printing systems, integral Laplace transform, thermodynamic parameters, information technology.*

Отримано: 24.08.2016