

УДК 539.3:681.1.05

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ОДНО- ТА КІЛЬКАШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ У ПОЛІГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Я. Ю. Коляно, І. Т. Стрепко, О. Р. Свирид, О. Є. Бабич, К. І. Мельник

*Українська академія друкарства
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Теплова обробка (нагрівання, сушіння) при виготовленні потрібних матеріалів та напівфабрикатів широко використовується у різних галузях народного господарства (поліграфічній, деревообробній, легкій (текстильній), будівельній, харчовій, фармацевтичній та ін.). Це важливий етап технологічного процесу, який визначає якість виробленого продукту. У запропонованій статті розглядаються конкретні виробничі поліграфічні процеси, в яких використовується тепла обробка. Показано як ці процеси можна фізико-математично змоделювати у вигляді постановок нестационарних задач теплопровідності (нагрівання) та термовологопровідності (сушіння) для одно- чи кількешарових пластин. Фактично пропонується підхід до вивчення процесів теплової обробки (нагрівання, сушіння) певних типів поліграфічних матеріалів, оснований на теоріях теплопровідності і термовологопровідності акад. О. В. Ликова. Містяться посилання на праці авторів, у яких ці задачі розв'язані і дослідженні математично. Результати математичного моделювання вказаних теплових процесів можуть бути рекомендовані поліграфічним підприємствам для впровадження у виробництво.

Ключові слова: *теплова обробка, поліграфічна галузь; кондуктивне, конвективне та інфрачервоне нагрівання і сушіння; нестационарні теплопровідність і термовологопровідність; математична модель, кількешарові матеріали (композити).*

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Велика кількість як однак і кількешарових матеріалів (композитів) використовується в поліграфії. При виготовленні (на різних етапах виробництва) і експлуатації вони піддаються тепловій обробці (нагріванню, сушінню). Такими плоскопаралельними композитами в поліграфії є: деякі види паперу (крейдований папір, картографічний папір) [12, 36], картону (шаруватий картон, що складається з різних шарів целюлоза, деревна маса, картон), картон із захисною плівкою, гофрокартон) [34]; сучасні пакувальні матеріали (папір-лак, папір-фольга, папір-поліетилен, асептичне пакування) [1, 5, 13, 29]; ламіновані відбитки (нанесення полімеру методом розплаву, припресування полімерних плівок) [5, 13]; палітурні кришки (картон, клейовий шар, покрівельний матеріал) [4, 27, 30]; обкладинки (паперова основа і полімерне покриття) [10, 27]; корінці книжкових блоків при вставленні книжкового блоку в обкладинку [30]; дру-

карські форми [31] та ін.. Кожен із шарів у цих композитах створюється із матеріалу з якісно іншими властивостями і переслідує свої цілі. Оптимізація процесів нагрівання та сушіння таких матеріалів є важливим і актуальним завданням, вирішення якого дозволить: не допустити руйнування чи псування матеріалів, покращити експлуатаційні властивості готової продукції, ефективно використовувати теплову енергію, зменшити витрати виробничого часу [30]. Передумовою (першим кроком) до розв'язання і дослідження нестационарних задач термовологопровідності (задач сушіння) для багатшарових тіл є розв'язання відповідних нестационарних задач теплопровідності (задач нагрівання) [14, 20, 21, 35]. З розвитком інформаційних технологій відкриваються нові можливості дослідження процесів теплової обробки матеріалів в поліграфічній індустрії [11, 24, 25].

Постановка проблеми. У сучасному поліграфічному виробництві застосовують конвективний, кондуктивний та променевий способи теплової обробки матеріалів [2, 8, 12, 17, 24, 30]. Якщо загалом кількість досліджень конвективного способу є доволі значною, то кондуктивне вивчене менше, особливо щодо поліграфічних матеріалів. Ще менше вивчений променевий спосіб [2, 30]. Дослідження переваг різних способів теплової обробки сприятиме правильному вибору конструкції та режиму роботи відповідних сушарок із урахуванням особливостей висушуваного матеріалу. У зв'язку з цим, актуальним для удосконалення технологій теплової обробки, розроблення методів управління тепловими процесами, які відбуваються у різноманітних поліграфічних системах, з метою отримання готового продукту чи напівфабрикату якомога вищої якості, скорочення тривалості процесу, а також оптимізації енергозатрат, є розвиток аналітичних методів дослідження процесів нагрівання та сушіння, які базуються на теоріях теплопровідності, тепломасоперенесення і фізико-хімічній механіці матеріалів [21].

Мета статті – показати як для конкретних поліграфічних виробничих процесів моделюються і розв'язуються відповідні конвективні і кондуктивні нестационарні задачі теплопровідності (нагрівання) і термовологопровідності (сушіння) для одно- та кількшарових матеріалів. У перспективі, на основі цього підходу можна розглядати і досліджувати інфрачервоний (променевий, терморадіаційний) спосіб теплової дії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо певні виробничі поліграфічні процеси, у яких використовується тепла обробка. Наприклад, виготовлення (створення) паперу чи картону [2, 6, 7, 8, 12, 36]. У процесі виготовлення паперу чи картону на папероробній машині (ПРМ) існує багато стадій його обробки (рис. 1), починаючи від зневоднення паперової маси, в якій вміст вологи 99% (у машинному басейні), до повного висушування продукції з вмістом вологи 2-4% (на виході з сушильної секції). Саме сушильна частина папероробної машини (на рис. 1 секція 10) є найбільшою по довжині, використовує найбільше виробничих ресурсів та часу (50%-60%).

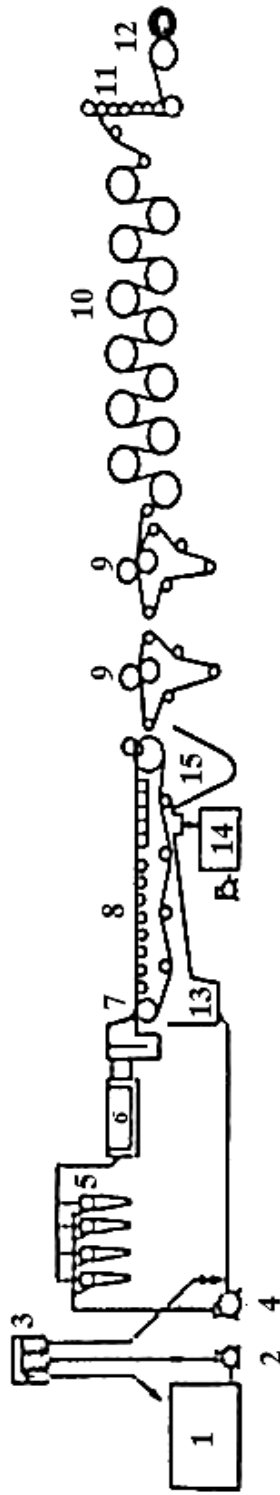


Рис. 1. Технологічна схема виготовлення паперу на ПРМ:

1 – машинний басейн; 2 – масляний насос; 3 – переливний бачок; 4 – змішувальний насос; 5 – центроклінери; 6 – вузлуловловач; 7 – напірний ящик; 8 – сітковий стіл; 9 – мокрі преси; 10 – суцільна секція; 11 – збирач оборотної води; 12 – збирач надлишкової води; 13 – басейн мокрого браку; 14 – збирач оборотної води; 15 – басейн надлишкової води.

Процес висушування значною мірою впливає на формування структури, якості, собівартості картонно-паперової продукції та виробів із неї [12]. Секція сушіння представляє собою сукупність парових барабанів (циліндрів), на яких контактним (кондуктивним) способом здійснюється виведення вологи. Між барабанами полотно висушується конвективно. Тобто фактично це є комбінований (контактно-конвективний) спосіб сушіння. Практичний досвід показує, що у сучасній картонно-паперовій промисловості найчастіше використовується кондуктивний спосіб (таблиця 1), а саме – циліндричні (барабанні) сушарки. Вони становлять 85-90% від усіх сушарок [2]. При їх використанні треба уникати різкого випаровування вологи з картону (паперу), яке призводить до порушення рівномірності і замкнутості його структури (виникає надлишкова пористість матеріалу і як наслідок – погіршення якості). Подібно на папероробній машині (ПРМ) виготовляються спеціальні види паперу (картону): крейдований папір, картографічний папір, шаруватий картон і ін., які вже є дво- і більше шаровими матеріалами [12, 34]. Метод конвекції в процесі сучасного сушіння картонно-паперової продукції використовується рідше, через низькі темпи сушіння, хоча в перші часи виробництва паперу він був єдиним засобом висушування. Основним недоліком в променевих (інфрачервоних) сушарках є висока вартість їх обслуговування. Відносно, недавнє застосування інфрачервоних сушарок використовується для сушіння особливої продукції, такої як лаки, для яких безконтактне сушіння є цінним активом[2].

Таблиця 1

Розподіл сушарок в паперовій промисловості

Типи сушарок	Частка промисловості (%) ¹
Циліндричні сушарки	85 - 90
Ударні сушарки	2-3
Сушарка Янкі	4-5
Інфрачервоні сушарки	3-4
Наскрізні сушарки	1-2

Джерело: From Kusalo. A. et al., in Papermaking, Part 2, Drying, M. Karlsson, Ed., Fapet Oy, Helsinki, Finland, 2000.

¹ Сушарки для целюлози не включаються

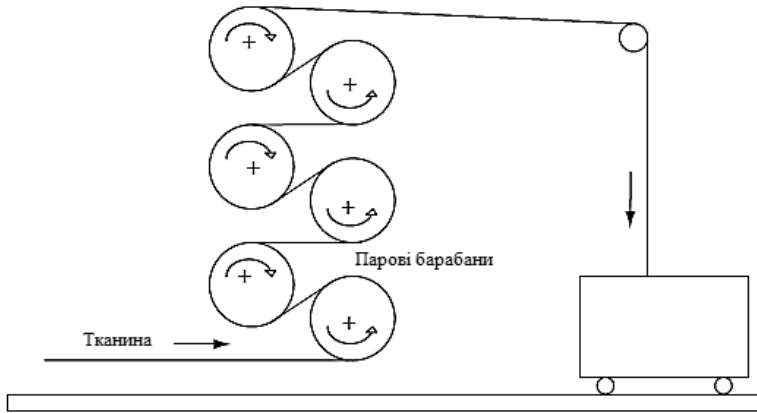


Рис. 2. Схема парової (барабанної) сушарки при виготовленні нетканого текстильного полотна

Кондуктивні (барабанні) сушарки є також найпоширеніші при виготовленні нетканих текстильних матеріалів (рис.2) [2]. У наших подальших поліграфічних дослідженнях текстильні матеріали будуть використовуватись для вивчення етапу сушіння при виготовленні палітурних кришок чи обкладинок (як покривні матеріали). Необхідність заміни дорогих і дефіцитних бавовняних тканин зумовила потребу створення нетканих основ [27]. Неткані матеріали – це матеріали, вироблені безпосередньо з текстильних волокон чи систем ниток, що зв'язуються механічними чи фізико-хімічними способами [22]. Найбільше застосування знаходять клейовий (сухий і мокрий) і механічний (в'язально-прошивний, голкопробивний, в'язально-волочний) способи виробництва нетканих матеріалів. Заміна тканин нетканими матеріалами дає значний економічний ефект. Цей ефект одержують завдяки використанню дешевшої і менш дефіцитної сировини для виготовлення нетканих матеріалів, у результаті чого скорочується час технологічного процесу [22]. Нетканий матеріал відрізняється за структурою, складом і властивостями від тканин. Він менш міцний, ніж покривні матеріали на тканий основі, але більш міцний, ніж покривні матеріали на паперовій основі. Цей матеріал зручний в брошурувально-палітурному виробництві, легко й міцно приклеюється до паперу, картону різними клеями, майже не деформується при зволоженні та не скручується. На нетканій основі виготовляють кілька видів палітурного матеріалу: неткор, сінтоніт, сканвініл, ламінар, маленіт та ін. [9].

Розглянемо процес виготовлення палітурних кришок. Палітурна кришка являє собою (з точки зору сушильної техніки) плоску несиметричну систему, з однієї сторони якої знаходиться порівняно товстий пористий картон, а з другої – палітурний матеріал, пористість якого значно змінюється в залежності від сорту матеріалу [30, 6, 4]. Надлишкова волога знаходиться в клейовому шарі, розміщеному між цими матеріалами (рис. 3). Після висушування палітурна кришка повинна мати вологість 7...9%, рівномірну по всьому перерізу. Це необхідно для проведення якісного тиснення нагрітим штампом. Зміна вологи

приводить до зміни лінійних розмірів матеріалу кришки, що проявляється вигинанням сторін кришки в бік, який має меншу вологість чи більший коефіцієнт усадки [30]. Видалення вологи з палітурної кришки залежить від виду використаного клею. Клей по-різному утримує вологу – колоїди сильніше, ніж дисперсії. При виготовленні кришок із застосуванням кісткового, сульфітного і, тим більше, крохмального клеїв сушіння є обов'язковим [30]. Також у брошурувально-палітурному виробництві використовуються клеї на основі ПВАД [32]. Надлишкова волога в кришці приводить до бурхливого розвитку мікроорганізмів – кришка пліснявіє. Тому сушити кришки необхідно довгий час, до утримання нею рівноважної вологості по всьому її перерізу. Особливо важливо повністю вивести надлишкову вологу з клейового шару [30]. Вибір режиму сушіння визначається не тільки вимогами до якості одержаного напівфабрикату, а також витратою енергії, тобто економічною доцільністю [30].

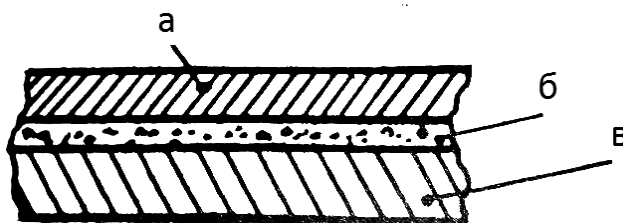


Рис. 3. Схема перерізу палітурної кришки: а) палітурний матеріал; б) клейовий шар; в) картон

Інтенсифікація процесу сушіння кришок можлива шляхом застосування термовипромінювання. В цьому випадку проходить дуже швидке прогрівання внутрішніх шарів кришки, в результаті чого волога переміщується до поверхні і потоком повітря знімається з неї в атмосферу. При правильно підбраному режимі сушіння випромінюванням швидкість подачі вологи з внутрішніх шарів повинна дорівнювати швидкості зняття її з поверхні, що дозволить за короткий час довести вологовміст кришки до рівноважного. Крім того, прогрів клейового шару забезпечує йому надійне обезводнення і ліквідує можливість пліснявіння. Велика швидкість сушіння при використанні випромінювання (приблизно в 8 разів більше, ніж при сушінні обдуванням повітря при температурі 40 °С) дозволяє видалити вологу з матеріалу ще до того, як відбудеться нерівномірна усадка волокон матеріалу. Тому при такому способі сушіння практично відсутнє жолоблення кришок. Значним недоліком цього способу сушіння є велика витрата енергії. Обігрівати кришку необхідно з двох сторін, щоб не було жолоблення. В цьому випадку створюється потужне поле випромінювання, яке витрачається нераціонально для сушіння тонкого матеріалу [30].

Одним із поширених способів оздоблення друкарських відбитків є ламінування і лакування [5, 10, 13, 37]. Лакування – це процес нанесення прозорих покриттів (рис.4) на відбиток, папір чи картон, тощо [2]. На ринку поліграфічних послуг ламінування є однією з необхідних складових на стадії післядрукарської обробки відбитків. У світовій практиці поліграфічної промисловості

використовують чотири основних способи нанесення полімерного матеріалу на папір: 1) склеювання плівки з папером (картоном) за допомогою лаків чи клеїв (клеювий спосіб); 2) припресування дубльованої плівки, один шар якої має значно меншу температуру плавлення і в процесі припресування виконує функцію термоклею (безклеювий спосіб); 3) нанесення на папір розплаву полімеру, який у момент нанесення виконує роль термоклею, а при охолодженні й твердінні – покриття (екструзія, співекструзія); 4) використання самоклеючих прозорих плівок (безклеювий холодний спосіб), переважно використовується в офісній поліграфії [5]. Найбільший вплив на якість ламінованої продукції мають фізико-хімічні та структурно-механічні властивості матеріалів – паперу, плівки, фарб, їх взаємна адгезія, а також параметри процесу ламінування – температура, тиск між валиками під час контакту (швидкість). Збільшення температури, порівняно з оптимальною (75-85 °С) спричиняє зростання напружень всередині полімерної плівки і спричиняє деформування ламінатів, яке виявляється в їх скручуванні і розшаруванні. Збільшення тиску приводить до збільшення міцності ламінування при незначному збільшенні лінійної деформації. Зменшення часу контакту, тобто збільшення швидкості ламінатора призводить до зменшення міцності припресування плівки при одночасному значному збільшенні внутрішніх напружень. У процесі ламінування також потрібно здійснювати оцінку якості продукції. Після налагодження ламінатора й отримання якісної продукції, оператор затверджує один екземпляр відбитка у майстра, цей відбиток є еталоном при контролі якості продукції у процесі виготовлення накладу [13].

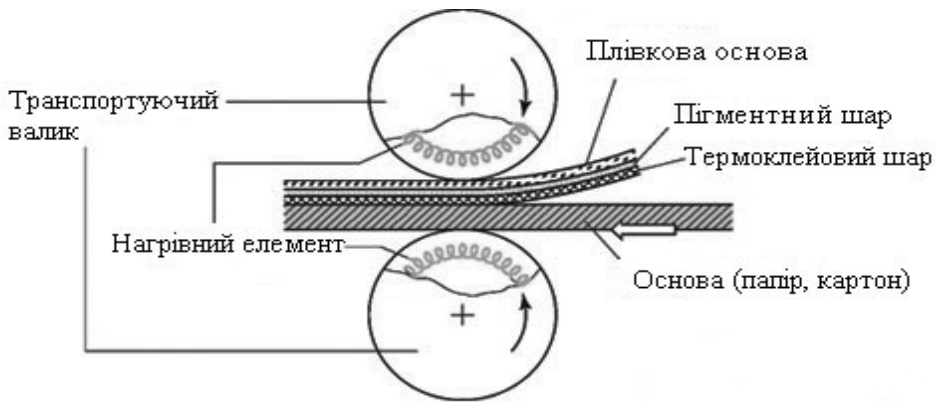


Рис. 4. Схема процесу ламінування (припресування) полімерної плівки на картон

Полімери знайшли себе у пакуванні [29, 3, 26]. Сьогодні найпоширенішими видами пакувань і тари є м'яке пакування з полімерних матеріалів (полімер-полімер, полімер-папір) та тверде (полімер-картон), де кожний шар виконує свою роль (наприклад, полімер робить пакування водонепроникним, а папір (картон) міцним) (див.рис.5) [29]. Це розробив вперше Рубен Раусінг і на честь цього відкриття нобелівський лауреат Нільс Бор сказав: «Ще жодного разу в історії

людства математична ідея не знайшла такого вдалого практичного втілення» [1]. Основною технологічною операцією тут є з'єднання полімерних плівок, яке виконують зварюванням або склеюванням. Як правило, в таких пакуваннях зберігають різні сипучі продукти, рідини з коротким терміном зберігання або продукти, котрі не потребують ізоляції від світла і кисню [29]. Є пакування з більшою кількістю шарів. Наприклад, тришарове асептичне пакування, яке служить для збереження термооброблених рідин (молока, вершків, соків та ін..) (див. рис. 6). Це пакування досягло свого успіху у 60-х рр. XX ст. у Швеції, де було встановлено його ідеальну форму, а саме тетраедр, пізніше паралелепіпед (для більшості інших країн). Успіх був досягнутий не тільки завдяки формі пакування, а й завдяки його технології виготовлення. Такі пакування виготовляють із комбінованих матеріалів, які варіюються в залежності від вимог до пакування кожної категорії продуктів. Проте, у будь-якому випадку, харчовий поліетилен безпосередньомає стикатись із вмістом пакування. Також, застосовують активні елементи, які можуть захищати від випромінювання (світлового, теплового та ін..). Такі захисні властивості має алюмінієва фольга (рис. 6) [28]. Переваги таких пакувань: водонепроникність, збереження естетичного товарного виду до моменту купівлі продукту, збереження свіжості продукту, легкість виготовленої продукції та можливість повторного використання або переробки [1].

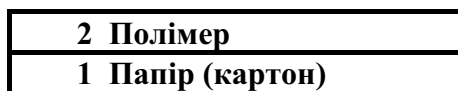


Рис. 5.Схема полімерного пакування

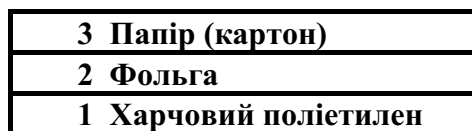


Рис. 6. Схема тришарового асептичного пакування

Усі розглянуті вище поліграфічні виробничі процеси можна фізико-математично змоделювати як теплову обробку (нагрівання, сушіння) одно- чи кількешарових пластин (тобто у ролі досліджуваних фізичних тіл виступають пластини) (рис.7), що і робиться у нестационарних задачах, розглянутих у роботах [14-20, 24, 25]. Ці нестационарні задачі, змодельовані у цих роботах, математично розв'язуються, будуються потрібні графіки і у деяких з них [15, 16, 17, 24, 33] пропонуються рекомендації для виробництва.

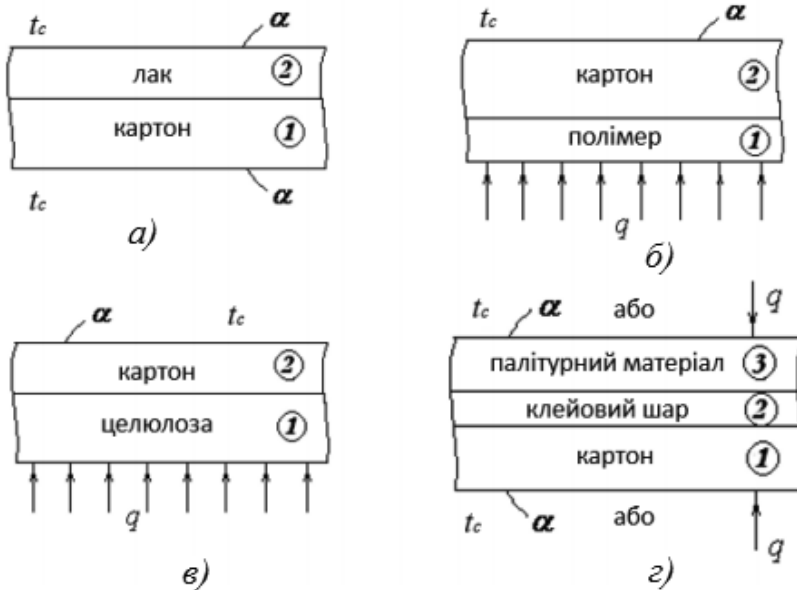


Рис. 7. Теплова обробка кількшарових пластин(композитів) у поліграфії: а) лакування на картон; б) приприсування полімерної плівки на картон; в)кондуктивне (барабанне) сушіння спеціальних видів картону; г) конвективне чи променеве сушіння палітурних кришок.

Висновки. Вивчення розглянутих у статті поліграфічних виробничих процесів дало змогу математично змоделювати і дослідити ці фізичні процеси як теплову обробку (нагрівання, сушіння) одно- чи кількшарових пластин. Фактично пропонується підхід до вивчення процесів теплової обробки певних типів поліграфічних матеріалів, який базується на теоріях теплопровідності і термовологопровідності акад. О.В. Ликова.

Запропонований підхід дає можливість досліджувати процеси теплової обробки (нагрівання, сушіння) у будь-яких капілярно-пористих колоїдних одно- чи кількшарових матеріалах, як для поліграфічної галузі (картон, папір, целюлоза, палітурні матеріали, нитки і т. д.), так і для інших галузей (деревина, шкіра, тканини, зерно, борошно, сухофрукти, глина, торф, вугілля, ґрунти і т. д.), будувати графіки розподілу температури (для задач нагрівання) та розподілів температури і потенціалу вологоперенесення (для задач висушування) та формувати відповідні рекомендації для виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Innovations at Tetra Pack. URL: www.tetrapak.com.
2. Handbook of Industrial Drying. Fourth Edition. Boca Raton (USA), 2015. – 1333 p.
3. Бабич О. Є., Давидюк О. А. Використання полімерів у поліграфічній галузі. Тези доповідей студентської наукової конференції (17-19 травня 2017р.). Львів: УАД, 2017. – С. 27.
4. Гавенко С. Ф., Кулік Л. Й., Мартинюк М. С. Конструкція книги: навчальний

- посібник. Львів: Фенікс, 1999. – 136 с.
5. Гавенко С.Ф., Мартинюк М.С. Технологія ламінування друкарських відбитків: навч. посіб. Львів: УАД, 2008. – 80 с.
 6. Гунько С. М. Основи поліграфії: Додрукарські процеси. Навч. посібн. Видання друге. Львів: УАД, 2013. – 148 с.
 7. Давидюк О.А., Свирид О. Р. Місце етапу висушування в процесі виготовлення паперу, картону та текстильних матеріалів. Тези доповідей студентської наукової конференції (17-19 травня 2017р.). Львів: УАД, 2017. – С. 26.
 8. Друкарське устаткування: Підручник. Я. І. Чехман, В. Т. Сенкус, В. П. Дідич, В. О. Босак. Львів: УАД, 2005. – 468 с.
 9. Жидецький Ю. Ц.. Матеріалознавство: Навчал. посібн. – Лебедин: 2010. 116 с.
 10. Жидецький Ю. Ц., Лазаренко О. В., Лотошинська Н. Д.. Поліграфічні матеріали: Підручник. За заг. ред. докт. техн. наук проф. Е. Т. Лазаренка. Львів: Афіша, 2001. – 328 с.
 11. Інформаційні технології формування якості книжкових видань: Монографія / І. В. Піх, Б. В. Дурняк, В. М. Сеньківський, Т. С. Голубник. Львів: УАД, 2017. – 308 с.
 12. Иванов С. Н. Технология бумаги. Москва: МПИ, 2006. – 696 с.
 13. Кирилук А. В., Зоренко О. В., Розум Т. В. Технологічні особливості ламінування листівок. Поліграфія і видавнича справа // зб. наук. праць Львів: УАД, 2011. – С. 90-100.
 14. Коляно Я. Ю., Сасс Т. С. Нестационарна задача теплопроводности для двошаровой плиты щодо сушіння поліграфічної продукції. Комп'ютерні технології друкарства// зб. наук. праць. Львів: УАД, 2009. № 21. – С. 226 - 234.
 15. Коляно Я. Ю., Сасс Т. С. Порівняльний аналіз поведінки перехідних потенціалів теплового переносу в процесі конвективного сушіння дерева і картону. Технологічні комплекси. // зб. наук. праць. Луцьк, 2014. № 1 (9). – С. 140 – 144.
 16. Коляно Я. Ю., Сасс Т. С. Дослідження поведінки перехідних полів температури і потенціалу волого перенесення в процесі кондуктивного сушіння картону. Поліграфія і видавнича справа. //зб. наук. праць. Львів:УАД, 2016. № 2 (72). – С. 136 – 155.
 17. Коляно Я. Ю., Сасс Т. С., Иваник Е. Г. Моделирование кондуктивной сушки полиграфических материалов капиллярно-пористой коллоидной структуры. Инженерно-физический журнал (Журнал Института тепло-массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси). Минск, 2018. Т. 1, №5. – С. 102 – 113.
 18. Коляно Я. Ю., Сасс Т. С., Свирид О. Р. Нестационарна задача термовологопроводности для двошаровой пластины щодо конвективного і кондуктивного сушіння поліграфічних матеріалів. Міжн. наук. Конференція «Сучасні проблеми механіки та математики»: Збірник наук. праць (том 1). Львів: ІППММ, 2018. – С. 173
 19. Коляно Я. Ю., Бабич О. Є., Свирид О. Р. Нестационарна задача теплопроводности для пластины щодо конвективного сушіння поліграфічної продукції. Звітна наук.-техн. конференція проф.-викл. складу, наукових працівників і аспірантів УАД за 2017 рік (лютого 2018 р.): Тези доповідей. Львів, 2018. – С. 122.
 20. Коляно Я. Ю., Свирид О. Р., Бабич О. Є. Нестационарна задача теплопроводности для двошаровой пластины щодо конвективного сушіння поліграфічної продукції. Звітна наук.-техн. конференція проф.-викл. складу, наукових працівників і аспірантів УАД за 2017 рік (лютого 2018 р.): Тези доповідей. Львів, 2018. – С.123.

21. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
22. Назарчук Л. В. Матеріалознавство: Конспект лекцій для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – 124 с.
23. Самарин Ю. Н. Оборудование для изготовления цветопробы. URL: www.compuart.ru.
24. Сасс Т. С. Інформаційні технології удосконалення процесів сушіння поліграфічних матеріалів: дис. ... канд.. техн.. наук: 05.13.06 Львів, 2015. – 202 с.
25. Сасс Т. С., Коляно Я. Ю. Структурні моделі інформаційних технологій удосконалення сушіння поліграфічних матеріалів. XX Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі (28 квітня 2015 р.): Тези доповідей. Київ, 2015. – С. 64-65.
26. Свирид О.Р., Бабич О.Є. Використання багатошарових матеріалів (композитів) в поліграфії. Тези доповідей студентської наукової конференції (16-18 травня 2018р.). Львів: УАД, 2018. – С. 24.
27. Слоцька Л. С., Маїк В. З., Румянцев Ю. М. Основи поліграфії (друкарські та брошуровально-палітурні процеси)// навч. посібн. За заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Лазаренка Е. Т.. Львів: УАД, 2012. – 244 с.
28. Угрин Я. М., Хведчин Ю. Й., Регей І. І. Основи пакувальної справи. Металева тара// навч.-метод. посібн.. Львів: УАД, 2011. – С.119.
29. Угрин Я. М., Хведчин Ю. Й., Регей І. І. Основи пакувальної справи. Полімерна тара// навч.-метод. посібн.. Львів: УАД, 2011. – 142 с.
30. Шот Р. І., Стрепко І. Т. Теплові процеси в поліграфії// Навч. посібн. Львів: УАД, Фенікс, 1998. – 202 с.
31. Маїк В. З., Харів М. С. Дослідження деформаційних властивостей полімерних шарів форм графаретного друку. Поліграфія і видавнича справа.// зб. наук. праць. – Львів: УАД, 2016. №2(72). – С.100-106.
32. Воробьев Д. В., Дубасов А. И., Лебедев Ю. М. Технология брошуровочно-переплетных процессов. Москва: Книга, 1989. – 392 с.
33. Коляно Я. Ю., Стрепко І. Т., Турчин О. Ю. Нестационарные задачи термopужности для тел, що знаходяться під дією рухомого локального теплового навантаження // Комп'ютерні технології друкарства// зб. наук. праць – Львів: УАД, 2011 - № 25 – С. 218-226.
34. Загаринская Л.А., Шахкельдян Б. Н. Полиграфические материалы: учебник. – М.: Книга, 1975. – 351 с.
35. Коляно Ю. М. Методы теплопроводности и термоупругости неоднородного тела – К.: Наук. думка, 1992. – 280 с.
36. Коптюх Л. А., Глушкова Т. Г. Формування властивостей паперу для друку – К.: Київ. нац. торг.-економ. ун-т, 2011. – 336 с..
37. Репета В. Б., Шибанов В. В. Матеріали і технології лакування поліграфічної продукції – Львів: УАД, 2011. – 135 с..

REFERENCES

1. Innovations at Tetra Pack. URL: www.tetrapak.com. (in English)
2. Handbook of Industrial Drying. Fourth Edition. Boca Raton (USA), 2015. – 1333 p. (in English)
3. Babych O. Ye., Davydiuk O. A. (2017). Vykorystannia polimeriv u polihrafichnii

- haluzi. Tezy dopovidei studentskoi naukovoï konferentsii (17-19 travnia 2017r.). Lviv: UAD. – S. 27. (in Ukrainian)
4. Havenko S. F., Kulik L. Y., Martyniuk M. S. (1999). Konstruktsiia knyhy: navchalnyi posibnyk. Lviv: Feniks. – 136 s. (in Ukrainian)
 5. Havenko S.F., Martyniuk M.S. (2008). Tekhnolohiia laminuvannia drukarskykh vidbytkiv: navch. posib. Lviv: UAD. – 80 s. (in Ukrainian)
 6. Hunko S. M. (2013). Osnovy polihrafii: Dodrukarski protsesy. Navch. posibn. Vydannia druhe. Lviv: UAD. – 148 s. (in Ukrainian)
 7. Davydiuk O.A., Svyryd O. R. (2017). Mistse etapu vysushuvannia v protsesi vyhotovlennia paperu, kartonu ta tekstylnykh materialiv. Tezy dopovidei studentskoi naukovoï konferentsii (17-19 travnia 2017r.). Lviv: UAD. – S. 26. (in Ukrainian)
 8. Drukarske ustatkuvannia: Pidruchnyk. (2005). Ya. I. Chekhman, V. T. Senkus, V. P. Didych, V. O. Bosak. Lviv: UAD. – 468 s. (in Ukrainian)
 9. Zhydetskyi Yu. Ts.. (2010). Materialoznavstvo: Navchal. posibn. – Lebedyn. – 116 s. (in Ukrainian)
 10. Zhydetskyi Yu. Ts., Lazarenko O. V., Lotoshynska N. D. (2001). Polihrafichni materialy: Pidruchnyk. Za zah. red. dokt. tekhn. nauk prof. E. T. Lazarenka. Lviv: Afisha. – 328 s. (in Ukrainian)
 11. Informatsiini tekhnolohii formuvannia yakosti knyzhkovykh vydan: Monohrafiia / I. V. Pikh, B. V. Durniak, V. M. Senkivskyi, T. S. Holubnyk. (2017). Lviv: UAD. – 308 s. (in Ukrainian)
 12. Ivanov S. N. (2006). Tehnologija bumagi. Moskva: MPI. – 696 s. (in Russian)
 13. Kyryliuk A. V., Zorenko O. V., Rozum T. V. (2011). Tekhnolohichni osoblyvosti laminuvannia lystivok. Polihrafiia i vydavnycha sprava // zb. nauk. prats Lviv: UAD. – S. 90-100. (in Ukrainian)
 14. Koliano Ya. Yu., Sass T. S. (2009). Nestatsionarna zadacha teploprovodnosti dlia dvosharovoï plyty shchodo sushinnia polihrafichnoi produktsii. Kompiuterni tekhnolohii drukarstva// zb. nauk. prats. Lviv: UAD, № 21. – S. 226 - 234. (in Ukrainian)
 15. Koliano Ya. Yu., Sass T. S. (2014). Porivnialnyi analiz povedinky perekhidnykh potentsialiv teplovolohoperenosu v protsesi konvektyvnoho sushinnia dereva i kartonu. Tekhnolohichni komplekxy. // zb. nauk. prats. Lutsk, № 1 (9). – S. 140 – 144. (in Ukrainian)
 16. Koliano Ya. Yu., Sass T. S. (2016). Doslidzhennia povedinky perekhidnykh poliv temperatury i potentsialu voloho perenesennia v protsesi konduktyvnoho sushinnia kartonu. Polihrafiia i vydavnycha sprava. //zb. nauk. prats. Lviv:UAD, № 2 (72). – S. 136 – 155. (in Ukrainian)
 17. Koljano Ja. Ju., Sass T. S., Ivanik E. G. (2018). Modelirovanie konduktivnoï sushki poligraficheskikh materialov kapilljarno-poristoj kolloidnoj struktury. Inzhenerno-fizicheskij zhurnal (Zhurnal Instituta teplo-massoobmena im. A. V. Lykova NAN Belarusi). Minsk, T. 1, №5. – S. 102 – 113. (in Russian)
 18. Koliano Ya. Yu., Sass T. S., Svyryd O. R. (2018). Nestatsionarna zadacha termovolohoprovodnosti dlia dvosharovoï plastyny shchodo konvektyvnoho i konduktyvnoho sushinnia polihrafichnykh materialiv. Mizhn. nauk. Konferentsiia «Suchasni problemy mekhaniky ta matematyky»: Zbirnyk nauk. prats (tom 1). Lviv: IPPMM. – S. 173. (in Ukrainian)

19. Koliano Ya. Yu., Babych O. Ye., Svyryd O. R. (2018). Nestatsionarna zadacha teploprovodnosti dlia plastyny shchodo konvektyvnoho sushinnia polihrafichnoi produktsii. Zvitna nauk.-tekhn. konferentsiia prof.-vykl. skladu, naukovykh pratsivnykiv i aspirantiv UAD za 2017 rik (liutoho 2018 r.): Tezy dopovidei. Lviv. – S. 122. (in Ukrainian)
20. Koliano Ya. Yu., Svyryd O. R., Babych O. Ye. (2018). Nestatsionarna zadacha teploprovodnosti dlia dvosharovoï plastyny shchodo konvektyvnoho sushinnia polihrafichnoi produktsii. Zvitna nauk.-tekhn. konferentsiia prof.-vykl. skladu, naukovykh pratsivnykiv i aspirantiv UAD za 2017 rik (liutoho 2018 r.): Tezy dopovidei. Lviv. – S.123. (in Ukrainian)
21. Lykov A. V. (1967). Teorija teploprovodnosti. M.: Vysshaja shkola. 599 s. (in Russian)
22. Nazarchuk L. V. (2016). Materialoznavstvo: Konspekt lektsii dlia studentiv spetsialnosti 133 «Haluzeve mashynobuduvannia» dennoi ta zaochnoi form navchannia. Lutsk: Lutskiy NTU.– 124 s. (in Ukrainian)
23. Samarin Ju. N. Oborudovanie dlja izgotovlenija cvetoproby. URL: www.compuart.ru. (in Russian)
24. Sass T. S. (2015). Informatsiini tekhnolohii udoskonalennia protsesiv sushinnia polihrafichnykh materialiv: dys. ... kand.. tekhn.. nauk: 05.13.06 Lviv. – 202 s. (in Ukrainian)
25. Sass T. S., Koliano Ya. Yu. (2015). Strukturni modeli informatsiinykh tekhnolohii udoskonalennia sushinnia polihrafichnykh materialiv. XX Mizhnarodna nukovo-praktychna konferentsiia z problem vydavnycho-polihrafichnoi haluzi (28 kvitnia 2015 r.): Tezy dopovidei. Kyiv. – S. 64-65. (in Ukrainian)
26. Svyryd O.R., Babych O.Ie. (2018). Vykorystannia bahatosharovykh materialiv (kompozytiv) v polihrafiï. Tezy dopovidei studentskoi naukovoï konferentsii (16-18 travnia 2018r.). Lviv: UAD. – S. 24. (in Ukrainian)
27. Slotska L. S., Maik V. Z., Rumiantsev Yu. M. (2012). Osnovy polihrafiï (drukarski ta broshurovalno-paliturni protsesy).// navch. posibn. Za zah. red. d-ra tekhn. nauk, prof. Lazarenka E. T.. Lviv: UAD. – 244 s. (in Ukrainian)
28. Uhryn Ya. M., Khvedchyn Yu. Y., Rehei I. I. (2011). Osnovy pakuvalnoi spravy. Metaleva tara.// navch.-metod. posib.. Lviv: UAD. – S.119. (in Ukrainian)
29. Uhryn Ya. M., Khvedchyn Yu. Y., Rehei I. I. (2011). Osnovy pakuvalnoi spravy. Polimerna tara// navch.-metod. posib.. Lviv: UAD. – 142 s. (in Ukrainian)
30. Shot R. I., Strepko I. T. (1998). Teplovi protsesy v polihrafiï// Navch. posibn. Lviv: UAD, Feniks. – 202 s. (in Ukrainian)
31. Maik V. Z., Khariv M. S. (2016). Doslidzhennia deformatsiinykh vlastyvostei polimernykh shariv form trafaretneho druku. Polihrafiia i vydavnycha sprava.// zb. nauk. prats. – Lviv: UAD, №2(72). – S.100-106. (in Ukrainian)
32. Vorob'ev D. V., Dubasov A. I., Lebedev Ju. M. (1989). Tehnologija broshjurovochno-perepletnykh processov. Moskva: Kniga.– 392 s. (in Russian)
33. Koliano Ya. Yu., Strepko I. T., Turchyn O. Yu. (2011). Nestatsionarni zadachi termopruzhnosti dlia til, shcho znakhodiatsia pid diieiu rukhomoho lokalnoho teplovoho navantazhennia // Kompiuterni tekhnolohii drukarstva// zb. nauk. prats – Lviv: UAD - № 25 – S. 218-226. (in Ukrainian)
34. Zagarinskaja L.A., Shahkel'djan B. N. (1975). Poligraficheskie materialy: uchebnik. – M.: Kniga. – 351 s. (in Russian)
35. Koljano Ju. M. (1992). Metody teploprovodnosti i termouprugosti neodnorodnogo

- tela – K.: Nauk. Dumka. – 280 s. (in Russian)
36. Koptiukh L. A., Hlushkova T. H. (2011). Formuvannia vlastyvostei paperu dlia druku – K.: Kyiv. nats. torh.-ekonom. un-t. – 336 s. (in Ukrainian)
37. Repeta V. B., Shybanov V. V. (2011). Materialy i tekhnolohii lakuvannia polihrafichnoi produktsii – Lviv: UAD,. – 135 s. (in Ukrainian)

DOI 10.32403/2411-9210-2019-1-41-102-115

MODELING OF THERMAL PROCESSING OF SINGLE- AND MULTI-LAYER MATERIALS IN PRINTING PROCESSES

Ya. Yu. Kolyano, I. T. Strepko, O. R. Svyryd, O. Ye. Babych, K. I. Melnyk
Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
ok.working.one@gmail.com

Heat treatment (heating, drying) in the manufacture of the necessary materials and semi-finished products is widely used in various branches of the national economy (printing, woodworking, light (textile), construction, food, pharmaceutical, etc.). This is one of the most important stages of the technological process, which determines the quality of the product. The suggested article deals with specific production printing processes in which heat treatment is used. It has been shown how these processes can be physically and mathematically simulated in the form of statements of non-stationary problems of heat conduction (heating) and thermal conductivity (drying) for single- or multi-layer plates. In fact, an approach has been suggested to study the processes of heat treatment (heating, drying) of certain types of printing materials, based on the theory of thermal conductivity by O. V. Lykov. There is a link to the works of authors, in which these problems are solved and researched mathematically. The results of mathematical modeling of the indicated thermal processes can be recommended to printing companies for implementing into production.

Keywords: *thermal processing, printing industry; conductive, convective and infra-red (radiant, thermo-radiation) heating and drying; non-stationary thermal conductivity and moisture conductivity; mathematical model, multi-layer materials (composites).*

Стаття надійшла до редакції 12.02.2019
Received 12.02.2019