

СЕКЦІЯ

**ТЕХНОЛОГІЇ ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА І ПОЛІГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

УДК 655.3.022.11

**ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДРУКАРСЬКОГО КОНТАКТУ**

*О.М. Величко*

*Проведено теоретичний аналіз системи друкарського контакту з позицій термодинаміки незворотних процесів і обґрунтовано її просторову та часову структури. Сформульовано аналітичний вираз стану поточної рівноваги, що визначає структуру системи.*

*Проведен теоретический анализ системы печатного контакта с позиций термодинамики необратимых процессов и обосновано её пространственную и временную структуры. Сформулировано аналитическое выражение состояния текущего равновесия, определяющего структуру системы.*

У роботах [1,2] визначено друкарський процес як систему енергетичної взаємодії елементів й обґрунтовано рух енергетичного, інформаційного і матеріального потоків для створення текстово-ілюстраційної продукції.

Спосіб організації елементів і характер зв'язку між ними буде визначати структуру системи друкарського контакту, яку можна поділити на просторову і часову. Просторова структура друкарського контакту характеризується певним порядком розташування елементів, який чітко обумовлений процесом створення кінцевого результату. Її можна адаптувати до кристалічної структури матеріалів, де атоми і молекули чітко взаємозв'язані та знаходяться у певній симетрії. Часова структура пов'язана з динамікою системи, де особливо важливі принципи однонаправленості часу і причинності [14].

Перший закон термодинаміки в загальному вигляді стверджує, що зміни енергії системи за одиницю часу дорівнюють деякому потоку енергії іззовні [4,10,12]. Другий постулює існування ентропії як екстенсивної функції стану системи, яка залежить від енергії, об'єму, числа молей компонентів системи. Стан термодинамічної рівноваги визначається максимальним значенням ентропії [10,14]. За характером протікання процесів і рівнянь, що їх описують у часі, процеси поділяють на зворотні, незворотні, ізольовані [10]. Взаємодія незворотних процесів можлива лише тоді, коли вони відбуваються в одних й тих самих структурних ділянках системи. Саме в цьому полягає „локальність” трактування другого закону термодинаміки Прігожином [10] на відміну від класичного [8,12,14].

Саме трактування закону за [10] може пояснити особливості виникнення та існування часової структури друкарського контакту. Адже передача енергетичного, матеріального та інформаційного потоків на відбиток здійснюється протягом друкування накладу з постійними швидкістю і тиском в одному напрямку одними й тими самими ділянками – друкувальними елементами форми, по полосі контакту при будь-якій конфігурації контактуючих пар. Часова структура системи друкарського контакту є наслідком означених вище дій. Причому просторова структура з її трансляціями енергетичного, інформаційного і матеріального потоків залишається стабільною.

Розглянемо та визначимо просторову і часову структури друкарського контакту на прикладі ротаційного друкарського апарату офсетного плоского друку із зволоженням.

Просторову структуру друкарського контакту можна характеризувати такими складовими, як друкувальні та проміжні елементи на формі, офсетний декель, папір (здруковуваний матеріал), технологічне середовище (товщина шарів фарби, зволожувального розчину (водно-фарбової емульсії) на формі, декелі, папері). Постійними є друкувальні та проміжні елементи, декель. Технологічне середовище частково змінне. Папір постійно змінний. Порядок розташування цих елементів постійний, незмінний і відповідає умовам формування відбитка. Протягом друкування накладу всі елементи системи зовнішньо і за призначенням не зазнають глобальних змін. Форма і декель залишаються самими собою, товщина шарів технологічного середовища

завдяки сучасним високоточним друкарським апаратам з автоматизованими системами контролю підтримуються в певних допустимих оптимальних межах. Усе це характеризує певний технологічно вивіреним симетричний порядок відносно глобального центра – відбитка, що, практично, забезпечується і якістю матеріалів, і стабільною роботою машини.

Під дією навантаження – технологічно необхідного тиску і швидкості, яка встановлюється відповідно до оптимальної продуктивності конкретного друкарського обладнання, елементи системи зазнають деформацій стиску, зсуву, розтягу. Кожний елемент, відповідно, створює опір навантаженню, але тільки в межах необхідного, раціонально визначеного, допустимого. Цей опір залежить від властивостей матеріалів. Наприклад, для формного матеріалу він визначається межею витривалості, яка, практично, не вичерпана навіть при великих накладах. Для фарби – це опір поділу фарбового шару, який, навпаки, вичерпується при кожному циклі навантаження завдяки співвідношенню липкості, в'язкості та товщини. Для офсетного декеля – пружна, для паперу – пружно-пластична деформація.

Зазначені вище елементи системи в просторовій структурі друкарського контакту коливаються, деформуються, переміщуються під впливом навантаження, залишаючись самими собою. Енергія навантаження не призводить до радикальних змін просторової структури системи. Лише до часткових місцевих порушень, наприклад, чіткості, щільності, забруднення, розтискування тощо, які, з огляду на ієрархічність структури і стохастичність процесу, можуть бути і критичними – такими, що вимагають зміни, виправлення, коригування.

Отже, певна аналогія з кристалічною структурою матеріалів може бути доречною і коректною. Так, у кристалічній решітці симетричність розташування атомів може бути порушена наявністю дефектів упакування під впливом стохастичності або нерегульованості енергетичних потоків. Це впливає на поточні властивості матеріалу або на деталі з нього. Наприклад, можуть частково зонально змінитися твердість, міцність. Але загальна кристалічна решітка залишається тією ж.

Часова структура системи виникає в результаті циклічного динамічного навантаження і носить періодичний характер. Періодичність залежить від частоти та тривалості циклів навантаження. Часова структура характеризує поточну рівновагу системи. Проте поточна рівновага системи друкарського контакту теж є незрівноваженим станом, бо тут відбувається постійний обмін енергією з технологічним середовищем, розсіюванням її у навколишній простір [3]. Цей незрівноважений стан підтримується постійним припливом енергії іззовні в одному напрямку аж до створення відбитка, який має спільні інформаційні та матеріальні ознаки з формою.

Таким чином, часова структура визначає термодинамічний стан системи друкарського контакту як поточну рівновагу незрівноваженого стану форми, декеля, технологічного середовища, який повинен бути стабільним для забезпечення друкування і перенесення матеріального й інформаційного потоків на задруковуваний матеріал. Крім того, стабільність незрівноваженого стану, стійкого до невеликих відхилень, які саме і спостерігаються в друкарському контакті, не суперечить класичним законам термодинаміки й описується принципами дисипації енергії [10,12,14], котрі постулюють, що для підтримки поточної рівноваги необхідними умовами є приплив від'ємної ентропії ззовні, що компенсує виробництво ентропії у системі, та надходження речовини, яка компенсує зміни, викликані хімічними реакціями.

Часова структура друкарського контакту в офсетному плоскому друці із зволоженням має постійні надходження фарби і зволожувального розчину для забезпечення перенесення інформації, відновлення властивостей друкувальних і проміжних елементів та підтримки незворотних процесів обміну енергією.

Відповідно до першого закону термодинаміки робота циклічного динамічного навантаження протягом кожного циклу при постійних швидкості та тиску буде перетворюватися в теплову енергію системи і деяку збережену в елементах системи [7]. Теплова енергія розсіюється в навколишній простір, переноситься у технологічне середовище, папір. Від кількості збереженої енергії кожним елементом системи залежить тривалість стану поточної рівноваги. Так, розсіюванню енергії сприяють термостатування фарбового апарата та охолодження офсетного декеля в деяких сучасних друкарських машинах [9]. Таким чином, збільшення внутрішньої енергії елементів ефективніше витрачається на стабільність незрівноваженого стану.

Стан поточної рівноваги повинен реалізуватися в кожній точці постійних елементів системи і компенсуватися змінними елементами. В цьому випадку, згідно з другим законом термодинаміки, ентропія, як екстенсивна функція стану системи друкарського контакту, залежатиме від тих параметрів, які забезпечують їй поточну рівновагу

$$e = f(Q; M), \tag{1}$$

де  $e$  – ентропія системи;  $Q$  – енергія системи, що визначається енергетичною дією друкарського контакту;  $M$  – матеріальний потік, визначений за формулою, наведеною в [2].

Зміни стану системи будуть відповідати змінам ентропії за виразом [10]

$$de = de_{n.c.} + de_i, \tag{2}$$

де  $de$  – зміни ентропії, обумовлені  $de_{n.c.}$  – взаємодією з навколишнім середовищем у результаті обміну теплом і речовиною і  $de_i$  – внутрішніми змінами в системі;  $i$  – кількість ймовірних станів внутрішніх змін у системі.

Відповідно до теоретичних викладок [10,14] рекомендовано розглядати виробництво ентропії, обумовленої внутрішніми змінами в системі

$$U = \frac{de_i}{dt} \Delta t, \tag{3}$$

де  $U$  – виробництво ентропії;  $dt$  – відлік часу.

Максимальні значення за [10] ентропія набуває при термодинамічній рівновазі (при цьому  $de_i = 0$ ), мінімальні – при незрівноваженому стані ( $de_i \neq 0$ ).

Отже, у випадку друкарського контакту для часової структури або стану поточної рівноваги зміни виробництва ентропії за формулою (3) повинні мати мінімальні значення.

У друкарському контакті матеріальний потік, який переносить інформацію, розсіює частково енергію від елемента до елемента, не компенсуючи її через те, що він уже має незрівноважений стан на вході у контакт. Друкувальні і проміжні елементи форми накопичують і розсіюють енергію. Накопичена енергія витрачається на зміни структури поверхні цих елементів, максимально забезпечуючи поточну рівновагу. Отже, виробництво ентропії в системі можна представити як ланцюг різноймовірних змін протягом друкування накладу.

Визначимо склад системи друкарського контакту офсетного плоского друку із зволоженням як шість послідовно зв'язаних між собою елементів: зволожувальний розчин, фарба, друкарська форма, водно-фарбова емульсія, офсетний декель, папір.

При рівноймовірних змінах стану в усіх шести елементах ймовірність зміни ентропії буде максимальною і становитиме за [6]

$$de_i = \frac{1}{n}, \tag{4}$$

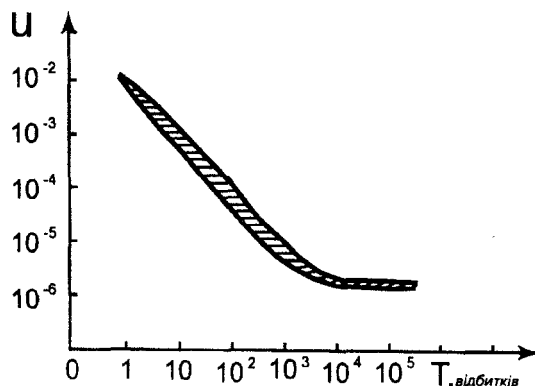
де  $n$  – кількість елементів системи.

Поелементний аналіз ймовірностей стану системи за виробництвом ентропії  $U$  відповідно до формули (3) можна здійснити за рекомендаціями [6] при заданих проміжках часу. Наприклад, за кількістю відбитків протягом друкування накладу  $T$ :  $1 \leq 10 \leq 100 \leq 500 \leq 1000 \leq 10000 \leq 15000 \leq \dots \leq 500000$ . На рисунку наведено результати аналізу можливих станів системи. Так, при рівноймовірних змінах  $de_i$  в усіх елементах системи виробництво ентропії буде найбільшим у межах друкування накладу 1–100 і поступово знизуватиметься до мінімального значення в межах накладу 10000 – 500000.

На практиці перші відбитки характеризують процес припрацювання елементів системи [11, 13]. Проте під час друкування постійно виникає необхідність у корекції головних параметрів елементів системи друкарського контакту через різні триботехнічні зміни їх складу, структури і властивостей у результаті енергетичної дії. Тому кількість ймовірних станів системи і зміни ентропії можна описати виразом математичної дії над елементами сполук [5], яким можна вважати елементи системи друкарського контакту

$$P_n = n!, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість елементів;  $P_n$  – кількість варіантів перестановок. У нашому випадку  $P_6 = 6! = 720$ .



**Виробництво ентропії**

При такій кількості ймовірних варіантів і стабільних надходженнях змінних елементів, а також за умов постійного відновлення елементів системи друкарського контакту характер  $U(T)$  не буде дуже суттєво змінюватися, а коливатиметься в певних межах (див. рисунок, заштриховану зону).

Оскільки виробництво ентропії  $U(T)$  є похідною її функції, то кількість енергії, що витрачається на підтримку стану поточної рівноваги, може бути визначена інтегралом

$$W = n \int_1^T e(T) dT, \quad (6)$$

де  $W$  – кількість енергії;  $T$  – наклад, відбитків;  $n$  – кількість елементів у системі.

Вираз (6) можна вважати аналітичним визначенням поточної рівноваги або часової структури системи друкарського контакту при різноймовірних змінах стану.

1. Величко О. Класифікація методів друку // Друкарство. 2000. № 6 (35). С. 28–31.
2. Величко О.М. Матеріальний потік друкарської системи // Наукові записки, Львів: УАД, 2001. С. 38–41.
3. Величко О. Технологічне середовище друкарського контакту // Друкарство. 1999. № 6 (29). С. 32–33.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М., 1985.
5. Гусев В.А., Мордкович А.Г. Справочные материалы. М., 1992.
6. Ефимов М.В. Автоматизированное управление полиграфическим производством. М., 1998.
7. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин. 1984.
8. Кошкин Н.И. Элементарная физика: Справочник. М., 1991.
9. Офсетные печатные машины /В.И. Штоляков и др. М., 1999.
10. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М., 1960.
11. Розум О.Ф. Управление тиражестойкостью печатных форм. К., 1990.
12. Хаккен Г. Синергетика: Пер. с нем. М., 1980.
13. Чехман Я.И., Сенкус В.Т., Бирбраер Е.Г. Печатные машины. М., 1987.
14. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., 1979.

УДК 655.3.022.14

## ВПЛИВ ФАКТОРІВ ДРУКАРСЬКОГО ПРОЦЕСУ НА ФАРБОСПРИЙНЯТТЯ ОФСЕТНИХ ГУМОТКАНИННИХ ПОЛОТНИЩ

*О.В. Зоренко*

*Визначено вплив факторів друкарського процесу на фарбосприйняття офсетних гумотканинних полотнищ.*

*Определено влияние факторов печатного процесса на красковосприятие офсетных резиноотканевых полотен.*