

УДК 003.24:004.942

*Д. А. Вакуліч, В. З. Майк, І. В. Огірко**Українська академія друкарства***МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ЯВИЩ ФОРМУВАННЯ  
КОНГРЕВНОГО РЕЛЬЄФНОГО ЗОБРАЖЕННЯ<sup>1</sup>**

*Розвинуто модель фізико-механічних явищ формування конгревного рельєфного зображення й запропоновано формули для її математичного опису в спрощених умовах.*

Серед технологічних процесів оздоблення друкованої продукції важливе місце займає конгревне тиснення як оздоблювально-захисний засіб на обкладинках і палітурках, проспектах і каталогах, листівках і пакованні, різноманітній етикетковій продукції, а також при виготовленні видань для незрячих.

Конгревне тиснення — це двобічне тиснення з отриманням на зворотному боці матеріалу рельєфного зображення, що повторює зображення лицьового боку. Здійснюється стисканням матеріалу між нагрітим штампом і матрицею (контрштапом). Зображення підіймається над поверхнею матеріалу, і його елементи знаходяться в різних площинах, тому й називається конгревне тиснення об'ємним. Утворений рельєф для візуального сприйняття практично не потребує додаткового тиснення фольгою або фарбою [1, 5, 6, 9].

Основним змістом даного способу є деформування матеріалу заготовки в результаті дії на її поверхню рухомого інструмента з прикладеною достатньою зовнішньою силою. Як інструмент застосовуються штампи. Під дією зовнішніх сил частинки матеріалу настільки зближуються, що між ними виникають внутрішні сили зв'язку, які залишаються і після усунення зовнішніх сил, зберігаючи форму заготовки як одного цілого [7].

Відомі роботи, в яких охарактеризовано теоретичні дослідження й математично описано процеси, що відбуваються при пресуванні заготовок з металевих листів [4, 7, 10], котрі стосуються напружено-деформованого стану матеріалів, у тому числі декелів і безпосередньо паперових і картонних виробів при тисненні [2, 8, 11]. Але поява нових матеріалів, видів паперу та картону, технологій виготовлення штампів і контрштампів, сучасного устаткування для тиснення [1, 5, 9], новітніх теоретичних розробок щодо напружено-деформованого стану [3] вимагає подальшого теоретичного вивчення моделювання фізико-механічних явищ, які відбуваються при конгревному тисненні.

Автори цієї статті ставили за мету змоделювати фізико-механічні явища формування зображення при рельєфному конгревному тисненні; математично описати напружено-деформований стан картону й паперових матеріалів, застосовуваних при тисненні, і деформує зусилля; узагальнити дослідження щодо напружено-деформованого стану різних типів картону та паперу.

<sup>1</sup> Виконано за участю д-ра техн. наук, проф. Е. Т. Лазаренка

Проведеними дослідженнями підтверджено, що папір є складною дисперсною структурою на основі високомолекулярної речовини — целюлози; вивченню деформаційних властивостей паперу передують розгляд структурно-механічних властивостей високополімерів; особливості молекулярної і надмолекулярної будови, своєрідність агрегатних станів і їхніх переходів позначаються на деформаційних властивостях високополімерів [8].

Високополімерним матеріалам, до яких відносять папір, каучук і т.п., властиві три види деформації: пружна ( $\epsilon_{пр}$ ), еластична ( $\epsilon_{ел}$ ) і залишкова, або пластична ( $\epsilon_{пл}$ ) (рис. 1).

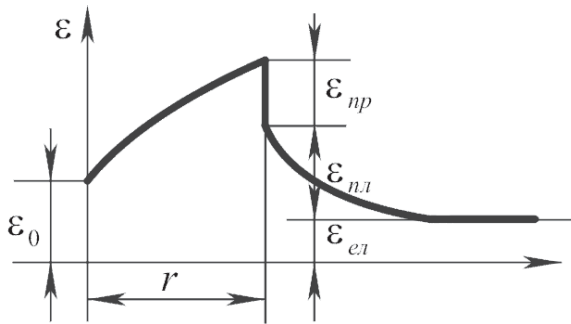


Рис. 1. Розвиток деформації в матеріалі під дією навантаження постійної величини і після його зняття

У момент прикладання навантаження створюються пружна ( $\epsilon_{пр}$ ) та миттєва залишкова, або пластична  $\epsilon_{пл}$  деформації внаслідок руйнування (стискання або розтягування) волокон, ущільнення і витиснення повітря при стисканні [2]. Пружна деформація, що виникає і зникає практично раптово, викликана миттєвими переміщеннями під дією навантаження окремих ділянок ланок молекул, які мають великий ступінь свободи [8]. Еластична деформація  $\epsilon_{ел}$  з'являється слідом за пружною також практично раптово за умови незмінно діючого навантаження внаслідок переміщення в часі окремих ділянок ланок молекули високополімеру, що мають досить велику швидкість зміни свого місцезнаходження. Ці деформації називаються швидкими еластичними, розвиваються з високою швидкістю і так само скоро зникають після зняття навантаження. А якщо вплив зовнішнього навантаження тривалий, то встигають змінювати своє місцезнаходження (чи кут, орієнтацію і т.п. щодо стрижневого ланцюжка молекули) і є більш «зв'язаними», тобто мають меншу свободу переміщення ділянки ланок і ланки молекули загалом. Розвиваються в часі нешвидко і зникають поступово після зняття навантаження; їх називають повільними еластичними [11].

Рельєф, отриманий при конгредному тисненні, є результатом залишкової деформації паперу й утворюється при взаємодії робочих елементів пресової пари [8]. Залишкова деформація викликана необоротним зсувом молекул одна відносно одної з подоланням меж молекулярних зв'язків, у високополімерних матеріалах практично нездійсненна, тому механізм нагромадження її в даному випадку можна уявити як послідовне переміщення (відповідно до ступеня вільності) окремих ланок ланцюга (молекули), що супроводжується поступовим розпрямленням гнучких ланцюгів. Оскільки всі ланки взаємополучені, то при

деформації в них накопичуються внутрішні напруження, що призводить до механічної оборотності деформацій. Таким чином, за залишкову приймають деформацію, що не встигає зникнути після зняття зовнішнього впливу на матеріал при заданих технологічних режимах досліджень [11].

Здатність матеріалу піддаватися холодній обробці тиском визначається його пластичністю, тобто зазнавати за певних умов залишкової деформації без руйнування. На опір деформуванню і пластичність впливають температура і швидкість деформації, склад матеріалу, вид напруженого стану, тиск й інші фактори [10]. Процес пластичного деформування характеризується напруженим станом матеріалу заготовки, що виражає взаємодію внутрішніх сил зв'язку частинок матеріалу із зовнішніми силами, які діють з боку інструмента, і супроводжується взаємним переміщенням окремих частинок, а також об'ємів маси заготовки без порушення цілісності форми і розмірів. Супроводжується зміною фізико-механічних, хімічних та інших властивостей матеріалу заготовки [7].

Технологічні процеси обробки матеріалів тиском виконують у широкому діапазоні тисків, температур і швидкостей деформації. Температура, швидкість і ступінь деформації мають великий вплив на опір деформації і пластичність оброблюваних матеріалів [5]. Деформаційні властивості цих матеріалів можна зрозуміти на підставі математичного аналізу спрощеної механічної моделі матеріалу. Модель повинна включати елементи, що математично описуються, і відображати пружну, еластичну й залишкову деформації. На рис. 2 зображено таку модель при дії сталої сили.

Модель Кельвіна-Файхта являє собою паралельне з'єднання пружного і в'язкого елементів, при якому утворюється сполучення властивостей, що дозволяють моделювати так звану еластичну деформацію [11].

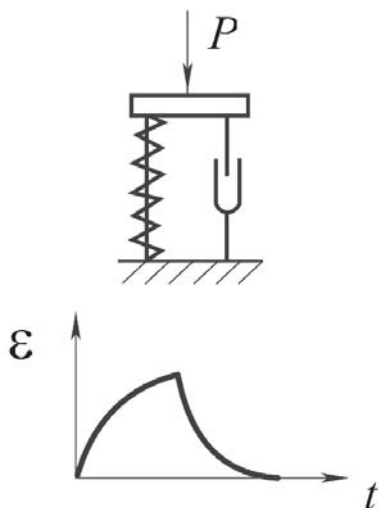


Рис. 2. Характерна модель деформування високополімерів Кельвіна-Файхта

Обробку матеріалів тиском здійснюють дією робочого інструмента на деформуючу заготовку (рис. 3), яка в момент  $t_k$  отримує задану деформацію і висоту  $H_k$ . Довільно вибраний елемент деформуючої заготовки матиме вигляд системи частинок, що закономірно розміщені в просторі й утримуються на відстанях  $r$  силowymi полями [4].

Для простоти викладення виділимо тільки дві частинки ( $A_1, A_2$ ), силу взаємодії  $\Delta R$  яких можна описати рівнянням

$$\Delta R = B \left[ \left( \frac{r_0}{r} \right)^7 - \left( \frac{r_0}{r} \right)^{13} \right], \quad (1)$$

де  $B$  — константа;  $r_0$  — рівноважний стан між частинками, параметр решітки;  $r$  — фактична відстань між ними.

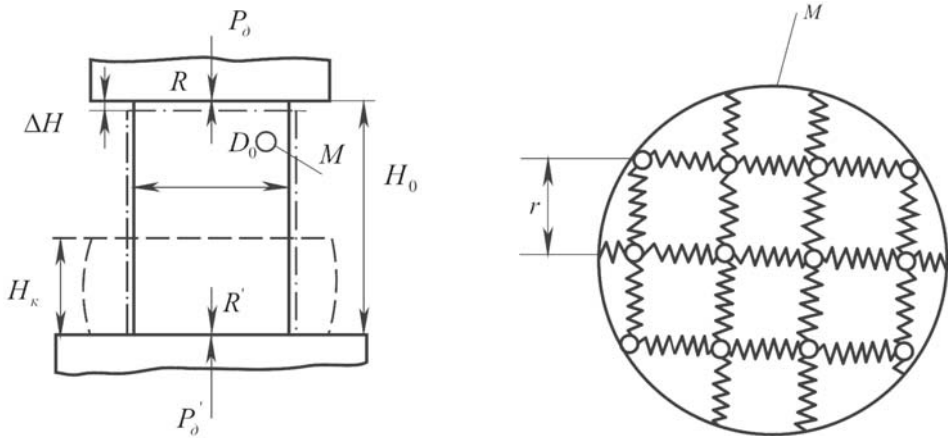


Рис. 3. Схема формозміни заготовки при осадці:  
 ---- початкова; -.-.- проміжна; - - - кінцева

Геометрична інтерпретація цього рівняння дозволяє наочніше подати залежність  $\Delta R$  від  $r$ . З рис. 4 видно, що в природному рівноважному стані, коли  $r=r_0$ ,  $\Delta R=0$ . При зменшенні відстані між частинками  $A_1, A_2$  від  $r=r_0$  до  $r=r'$  виникають сили відштовхування  $\Delta R$ . Тому для отримання рівноважного (точніше квазірівноважного) стану, при якому частинки  $A_1, A_2$  залишаються на відстані  $r'$  одна від одної, до них необхідно прикласти зовнішні сили  $+\Delta R, -\Delta R'$ . Із збільшенням відстані між частинками  $A_1, A_2$  до  $r=r''$  виникають сили притягання  $\Delta R''$ . Через те для збереження між частинками відстані  $r''$  до них необхідно прикласти зовнішні сили  $+\Delta R', -\Delta R'$ . Квазірівноважний стан, наявний при зміні взаємного розміщення частинок під дією зовнішніх сил, прийнято називати *напружено-деформованим* [4].

Якщо в результаті дії на тверде тіло зовнішньої сили змінюються його форма чи обсяг або те й інше одночасно, тіло називається деформованим. У деформованому (кінцевому) стані тіла елементарні частки мають відносно розташування, яке відрізняється від того, що було в недеформованому (початковому).

У загальному випадку зусилля деформації — це функція комплексу параметрів технологічного процесу  $K_T$  (тиск, температура, швидкість деформування, ступінь деформації, форма вихідної заготовки і т.д.) і комплексу параметрів  $K_K$ , що визначають конструкцію формозмінюючих деталей штампа (штамповочні нахили, конусність матриці, радіуси округлення калібруючого пояса матриці при пресуванні, радіус витяжного ребра матриці при витяжці і т.д.):

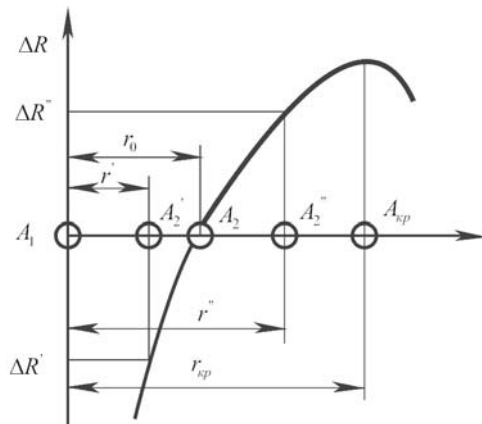


Рис. 4. Графік силової взаємодії двох частинок  $A_1, A_2$  за рівнянням (1)

$$P_{\partial} = F(K_T, K_K). \quad (2)$$

При зміні параметрів  $K_T$ ,  $K_K$  зусилля  $P_{\partial}$  може значно змінюватися. Завдання полягає в тому, щоб проаналізувати залежність (2) і вибрати такі комплекси параметрів технологічних процесів і форму інструмента, які дають мінімальне зусилля.

Для розрахунку навантажених штампів, оптимізації технологічних параметрів, що визначають конструкцію формозмінюючих деталей штампів, потрібно знати не тільки зусилля деформації, але й розподіл навантажень, що діють на робочі поверхні інструмента:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \Phi_n(K_T, K_K); \\ \tau_k &= \Phi_k(K_T, K_K). \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) дає можливість описати на міцність формозмінюючі деталі штампа і вибрати такі комплекси параметрів  $K_T$ ,  $K_K$ , які забезпечують отримання необхідних запасів міцності [4].

Визначення деформуючого зусилля має велике значення як один з етапів розробки технологічного процесу, конструювання штампів і вибору устаткування й може бути описано з урахуванням схеми рис. 5.

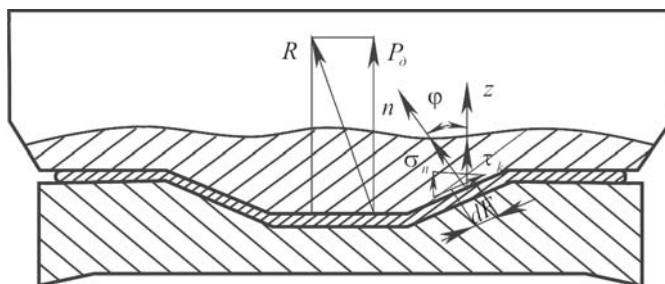


Рис. 5. Схема для визначення деформуючого зусилля

Рівнодіючу  $P_{\partial}$  вертикальних складових розподілених сил, що діють на контактну поверхню деформуючого інструмента, умовно називатимемо *зусиллям опору деформації*. Силу  $P_{\partial}$ , яка передається деформуючій заготовці контактною поверхнею інструмента і розвивається головним виконуючим механізмом, умовно будемо іменувати *деформуючим зусиллям або зусиллям деформації*. Вважатимемо, що  $P_{\partial}$  — зусилля активної дії машини, а  $P_{\partial}^+$  — зусилля опору деформації оброблюваної заготовки, сила  $T$  — горизонтальна складова повного зусилля опору деформації; епюри розподілу контактних нормальних  $\sigma_n$  і дотичних напружень  $\tau_k$  задані у вигляді функцій, відомих на контактній поверхні  $f(x, y, z) = 0$ .

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \Phi_n(x, y, z, t); \\ \tau_k &= \Phi_k(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (4)$$

На контактній поверхні інструмента виділимо площадку  $dF$ . Нехай нормаль до площадки  $n$  утворить з координатною віссю  $z$  кут  $\varphi$ .

Тоді

$$\int_F (\sigma_n \cos \varphi + \tau_k \sin \varphi) dF = P_o; \quad (5)$$

$$\int_F (\sigma_n \sin \varphi + \tau_k \cos \varphi) dF = T.$$

Таким чином, деформуюче зусилля можна знайти, якщо відомі функції (5). При цьому слід використати енергетичний підхід. Роботу деформуючої сили  $P_o$  на переміщенні  $du$  (або потужність  $P_o v_o$ ) прирівнюємо до роботи (або потужності) всіх зовнішніх і внутрішніх сил опору деформації.

Деформуюче зусилля є важливою характеристикою технологічного процесу. Крім того, для визначення технологічного обладнання в багатьох випадках потрібна ще одна характеристика — робота деформації — основний параметр, при якому вибирають обладнання для штампування. Роботу деформації  $A_o$  можна обчислити, маючи залежність зусилля деформації від переміщення інструмента  $P\delta = \Phi(\Delta h)$ :

$$A_o = \int_0^h P_o dh. \quad (6)$$

Звідси впливає важливе завдання теоретичного аналізу: встановити не тільки найбільше зусилля деформації  $P_{max}$ , яке для багатьох процесів відповідає її закінченню, але й його зміни в процесі деформації [5]. Нехай тіло, що перебуває в стані пластичного руху, має форму, яка описується рівнянням  $\Phi(x, y, z, t) = 0$ . Візьмемо нескінченно малий проміжок часу  $dt$ , протягом якого воно зазнає додаткової деформації, а зовнішні сили виконають додаткову роботу  $dA_B$ . Ця робота витрачається на подолання внутрішніх сил опору деформації  $dA_o$  і сил тертя на контактних поверхнях  $dA_T$ . На підставі закону збереження енергії запишемо

$$dA_B = dA_o + dA_T. \quad (7)$$

Завжди відомий напрям переміщення деформуючого інструмента, а напрям активної сили  $P_o$ , що викликає деформацію тіла, збігається з напрямом переміщення. Тому

$$dA_B = P_o du, \quad (8)$$

де  $P_o$  — змінна в процесі деформації активна сила, чисельно рівна силі опору деформації;  $du$  — нескінченно мале переміщення деформуючого інструмента за час  $dt$ .

На підставі прийнятої умови  $dt \rightarrow 0$  вважаємо, що на малому етапі деформації  $P\delta = const$ . Підставивши вираз (8) у (7), знайдемо

$$P_o = \frac{1}{du} (dA_o + dA_T). \quad (9)$$

Ця формула дає змогу описати деформуюче зусилля  $P_0$  у момент деформації  $t$ , коли відомі значення  $dA_0$ ,  $dA_T$ .

Роботу внутрішніх сил опору деформації  $dA_0$  за час  $dt$  можна визначити наступним чином. В об'ємі деформуючого тіла виділимо елемент з ребрами  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ . У загальному випадку на гранях елемента діють напруження  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$ , а кожна грань отримує переміщення  $du_x$ ,  $du_y$ ,  $du_z$ . На це витрачається робота

$$dA_0 = \iiint (S_x du_x + S_y du_y + S_z du_z) dF. \quad (10)$$

Напруження  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  виразимо через компоненти тензора напружень. Тоді рівняння (10) набуде вигляду [4]

$$dA_0 = \iiint_F \left[ \begin{array}{l} (\sigma_x du_x + \tau_{xy} du_y + \tau_{xz} du_z) a_x + (\tau_{yx} du_x + \sigma_y du_y + \tau_{yz} du_z) a_y + \\ (\tau_{zx} du_x + \tau_{zy} du_y + \sigma_z du_z) a_z \end{array} \right] dF. \quad (11)$$

Воно має чіткий фізичний зміст: виражає роботу всіх компонент напружень тензора  $T_\sigma$  на відповідних переміщеннях в елементарному об'ємі деформуючого тіла.

З вищевикладеного доходимо наступних висновків:

1. На основі аналізу літературних джерел розвинуто модель фізико-механічних явищ формування конгредного рельєфного зображення.
2. Запропоновано формули для математичного опису моделі в спрощених умовах, без урахування особливостей деформації матеріалів формування.
3. Встановлено, що при аналізі процесів щодо деформації різних типів паперу та картону потрібно враховувати еластичні, пластичні й пружні деформації, причому сили, які спричиняють формування, повинні викликати пластичні, а не руйнівні деформації.

1. Вакуліч Д. Тиснення: класифікація технології, матеріалів / Д. А. Вакуліч, В. З. Маїк // Наукові записки (Укр. акад. друкарства). — 2007. — Вип. 2 (12). — С. 130–141. 2. Друкарське устаткування: підруч. / [Чехман Я.І., Сенкусь В. Т., Дідич В. П., Босак В. О.]. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2005. — 470 с. 3. Дуб Я. І. Математичне моделювання друкарських форм / Дуб Я. І., Огірко І. В., Ясінський М. Ф. — Львів: Світ, 1994. — 208 с. 4. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. — Х.: Вищ. шк. Изд.-во при Харьков. ун-те, 1981. — 248 с. 5. Кипхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства; пер. с нем. / Г. Кипхан — М.: МГУП, 2003. — 1280 с. 6. Оздоблення друкованої продукції: технологія, устаткування, матеріали: навч. посіб. / [Гавенко С., Лазаренко Е., Мамут Б. та ін.]. — К. — Л.: Ун-т «Україна», 2003. — 180 с. 7. Савровський Д. С. Конструкционные материалы и их обработка / Д. С. Савровський, В. Г. Головня. — М.: Высш. шк., 1976. — 326 с. 8. Смирнов В. И. Исследования процесса конгредного тиснения печатной продукции: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн.наук: спец. 05.399 «Технология полиграфического производства»/ В. И. Смирнов. — М., 1969. — 34 с. 9. Технология послепечатных процессов. Технология тиснения: учеб.пособие / [Бобров В. И., Горшкова Л. О., Лисиченко Е. И., Мисонжник В. А.]. — М.: МГУП, 2006. — 196 с. 10. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / [Прейс Г. О., Горпенюк М. А., Єднерал П. П. та ін.]. — К.: Вищ. шк., 1973. — 512 с. 11. Технологія печатних процесів / [Раскин А. Н., Ромейков И. В., Бирюкова Н. Д. и др.]. — М.: Книга. — 1989. — 432 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОНГРЕВНОГО РЕЛЬЕФНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Развита модель физико-механических явлений формирования конгревного рельефного изображения и предложено формулы для её математического описания в упрощенных условиях.*

## **DESIGN OF THE ФІЗИКО-МЕХАНИКАЛ PHENOMENA OF FORMING OF CONGREVNOGO RELIEF IMAGE**

*The model of the physicommechanical phenomena of formation kongrev the relief image is advanced and formulas for the mathematical description of this model in the simplified conditions are offered.*

*Стаття надійшла 10.06.08*

УДК 655.3.022

**О. М. Величко, В. М. Скиба**

*Національний технічний університет України «КПІ»*

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ СТР-СИСТЕМ**

*Методом анкетування визначено пріоритетні параметри СтР-систем. Обґрунтовано і розраховано коефіцієнт їх технологічності.*

Сучасні технології поліграфії стрімко розвиваються, розробляються і впроваджуються у виробництво нові рішення, що дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи за рахунок високого рівня автоматизації устаткування, скорочення кількості необхідних технологічних процесів та створення систем тотального управління виробничими процесами.

Одним з актуальних напрямків розвитку сучасної поліграфії в сегменті додрукарських процесів є повний перехід на технологію прямого експонування друкарських форм computer-to-plate (СтР). Хоча в Україні і спостерігається нарощування темпів впровадження СтР-систем, однак усі можливості даної технології досконало не вивчені і не використовуються в повній мірі. Це вимагає більш ґрунтового вивчення та використання їх технологічних можливостей.

Аналіз патентної інформації виявив пріоритетність дослідження та впровадження нових формних матеріалів і способів реєстрації інформації на них (близько 45% усіх патентів), що цілком відповідає стану справ сьогодення.

Досить вагома частка патентів належить і розробці конструкції формних апаратів (39%) та методам контролю роботи СтР-систем (14% від загальної кількості патентної інформації). Цей факт підтверджує наміри до створення найсучаснішого апаратного забезпечення технології СтР з максимальною стабільністю запису інформації та відображає тенденцію ринку до формування потужних виробничих систем з високим рівнем надійності. Про це свідчать