

УДК 094:033.24

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ВИСОТИ ЕЛЕМЕНТА ШРИФТУ БРАЙЛЯ НА МАКУЛАТУРНОМУ КАРТОНІ ТИПУ НМ

В. З. Маїк

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

Наведено дослідження залежності висоти елемента шрифту Брайля на макулатурному картоні низької пухкості типу НМ, який призначений для виготовлення споживчої упаковки для промислових виробів, від його технологічних параметрів і зусилля тиску. Проведено дослідження технологічних зусиль при нанесенні шрифту Брайля за різної висоти його елемента з використанням приладу, який дає змогу здійснювати одночасно реєстрацію зусилля тиснення та переміщення контриштампу при заданій циклічності роботи пристрою. У результаті проведених експериментальних досліджень було визначено залежність тиску  $p$  від висоти  $h$ . З метою уточнення аналітичних співвідношень між тиском  $p$  і параметрами  $(h, t_s)$  було зроблено перехід від нерівномірних проміжків по  $h$  та  $t_s$  до рівномірних. У цьому випадку для побудови нелінійних та лінійних залежностей типу  $p = p(t_s)$ ,  $p = p(h)$  було використано метод інтерполяції, а також метод найменших квадратів.

**Ключові слова:** шрифт Брайля, висота елемента, зусилля тиску, картон, аналітичні залежності, метод найменших квадратів.

**Постановка проблеми.** Під час виготовлення друкованої продукції, інформаційних матеріалів для незрячих, пакувань із шрифтом Брайля основним завданням є забезпечення надійності зчитування інформації незрячими. Одним із найбільш вагомих параметрів для забезпечення надійності зчитування шрифту Брайля є висота його елементів. Під час виготовлення продукції для незрячих з використанням різних матеріалів, у цьому випадку з картону, важливо забезпечити умови проведення технологічного процесу для отримання необхідної висоти елементів шрифту Брайля. Для цього необхідно провести дослідження для виявлення закономірностей формування шрифту Брайля на відповідному виді картону та їх математичного описі.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз останніх досліджень, публікацій [1–10], чинних нормативно-правових документів (директиви, ТУ, технологічні інструкції, укази, накази, розпорядження) різних країн світу щодо вимог до шрифту Брайля та його застосування [11] вказує на те, що технологічні процеси нанесення шрифту Брайля повинні забезпечувати необхідну висоту його елементів, яка впливає безпосередньо на надійність зчитування інформації та експлуатаційні параметри.

**Мета статті** — провести дослідження та математично описати залежність висоти елементів шрифту Брайля від технологічних параметрів картону типу НМ і зусилля тиску.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Картон марки НМ — макулатурний картон низької пухкості, виготовлений зі 100 % макулатури (табл. 1), призначений для виготовлення споживчої тари для промислових виробів, сухих харчових продуктів (сіль, вермішель), внутрішнього і зовнішнього елементів аптечних коробів.

Таблиця 1

### Технічні характеристики картонів НМ

Маса, г/м <sup>2</sup>	Товщина, мкм	Опір згинанню у поперечному напрямі (15°), мН
175	0,235	20,0
200	0,25	25,0
215	0,30	30,0
235	0,32	45,0
260	0,35	55,0
Допустимі відхилення		
±3,5 %	±5 %	±15 %
Вологість, %		5,5–8,5
Білизна (для верхньої сторони), %		> 76
Вбирна здатність (Кобб <sub>60</sub> ), г/м <sup>2</sup>		
верхній шар		< 50
нижній шар		< 150
Опір розшаруванню у поперечному напрямі, Н		> 120

Для дослідження технологічних зусиль за різної висоти елемента шрифту Брайля, що виникають під час утворення рельєфного зображення на поверхні картону в результаті конгревного тиснення, використовували прилад, який має електромеханічний привід і дає змогу здійснювати одночасно реєстрацію зусилля тиснення та переміщення контрштампу за заданої циклічності роботи пристрою. Переміщення під час дослідження не фіксували, а записували лише зусилля тиснення.

За результатами проведених експериментальних досліджень, формуємо лінійну і нелінійну залежність тиску  $p$  від висоти  $h$  за методом найменших квадратів (МНК) (табл. 2, табл. 3) [12].

Від нерівномірних проміжків по  $h$ , як у табл. 2, зроблено перехід до рівномірної таблиці по  $h \Rightarrow$  табл. 2а, де крок  $\Delta h = 0,077$  мм.

Середня товщина і висота не збігаються. Середня товщина на 40 % більша.

Таблиця 2

**Результати визначення технологічних зусиль при нанесенні шрифту Брайля на картон марки НМ**

№	Висота h, мм	Висота середня h <sub>s</sub> , мм	Тиск p, МПа	Тиск середній p <sub>s</sub> , МПа	Маса поверхнева m <sub>s</sub> , кг/м <sup>2</sup>	Товщина z, мм	Об'ємна густина ρ, г/см <sup>3</sup>
1	0,412	0,5756	0,229	1,543	0,290	0,412	1,190
2	0,457		0,486				
3	0,510		1,309				
4	0,543		1,511				
5	0,616		1,978				
6	0,726		2,159				
7	0,765		3,130				

Таблиця 2а

**Результати визначення технологічних зусиль картону НМ (рівномірно віддалені висоти з кроком Δh = 0,077 мм)**

№	Висота h, мм	Тиск p <sub>h</sub> , МПа	Маса поверхнева m <sub>s</sub> , кг/м <sup>2</sup>	Товщина z, мм	Об'ємна густина ρ, г/см <sup>3</sup>
1	0,457	0,486	m <sub>s</sub> = 0,290	z = 0,412	ρ <sub>s</sub> = 1,190
2	0,534	1,456			
3	0,611	1,970			
4	0,688	2,096			
5	0,765	3,130			

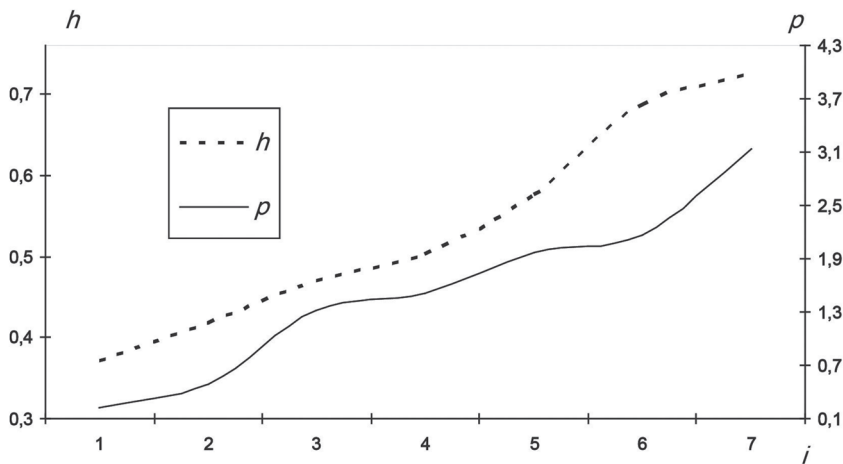


Рис. 1. Залежності висоти  $h = h(i)$  і тиску  $p = p(i)$ , де  $i$  — номер зразка (картону НМ, поверхнева маса  $m_s = 0,29$  кг/м<sup>2</sup>)

У результаті отримано числове значення коефіцієнта кореляції  $K_{kor} = 0,962$  (між даними для тиску і висоти для картону НМ, відповідно до табл. 2). Аналогічні значення коефіцієнтів кореляції  $K_{kor} \approx 1$  для даних тиску  $p$  та висоти  $h$  отримано і для картонів інших марок.

Формуємо нелінійну залежність за методом МНК (табл. 3).

Таблиця 3

## Результати визначення технологічних зусиль картонів НМ

№	Висота $h$ , мм	Висота середня $h_s$ , мм	Тиск $p$ , МПа	Тиск середній $p_s$ , МПа	Маса поверхнева $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>	Товщина $z$ , мм	Об'ємна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	0,377	0,543	0,283	1,243	0,260	0,352	0,920
2	0,435		0,337				
3	0,488		0,715				
4	0,512		0,949				
5	0,595		1,471				
6	0,664		1,821				
7	0,741		3,130				

Таблиця 3а

(рівномірні проміжки висоти ШБ з кроком  $\Delta h = 0,063$  мм)

№	Висота $h$ , мм	Тиск $p_h$ , МПа			
1	0,488	0,715	$m_s = 0,260$	$z = 0,352$	$\rho_s = 0,920$
2	0,551	1,194			
3	0,614	1,584			
4	0,677	2,171			
5	0,741	3,130			

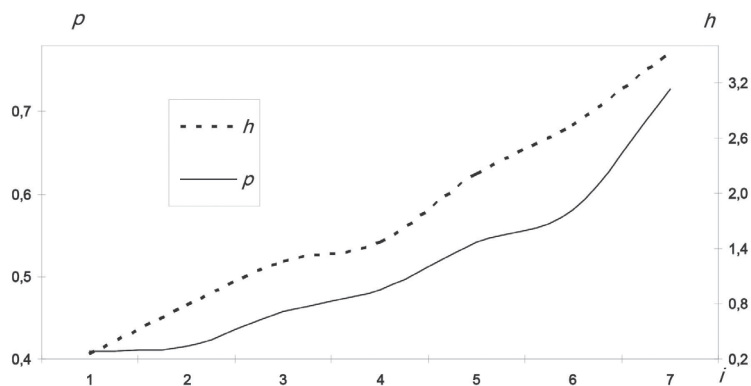


Рис. 2. Залежності висоти  $h = h(i)$ , тиску  $p = p(i)$ , де  $i$  — номер зразка (картону НМ, поверхнева маса  $m_s = 0,26$  кг/м<sup>2</sup>)

Від нерівномірних проміжків по  $h$ , як у табл. 2, зроблено перехід до рівномірної таблиці за  $h \Rightarrow$  табл. 2а, де крок  $\Delta h = 0,063$  мм.

Формуємо нелінійну залежність за методом МНК.

Таблиця 4

**Результати визначення технологічних зусиль картонів НМ**

№	Висота $h$ , мм	Тиск $p$ , МПа	Маса поверхнева $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>	Товщина $z$ , мм	Об'ємна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	0,331	0,202	$m_s = 0,235$	$z = 0,311$	$\rho_s = 0,73$
2	0,385	0,283			
3	0,419	0,607			
4	0,476	0,945			
5	0,624	1,322			
6	0,678	1,673			
7	0,726	2,901			

Таблиця 4а

**(рівномірно віддалені висоти з кроком  $\Delta h = 0,077$  мм)**

№	Висота $h$ , мм	Тиск $p$ , МПа	$m_s = 0,235$	$z = 0,311$	$\rho_s = 0,73$
1	0,418	0,607			
2	0,495	0,993			
3	0,572	1,190			
4	0,649	1,4845			
5	0,726	2,901			

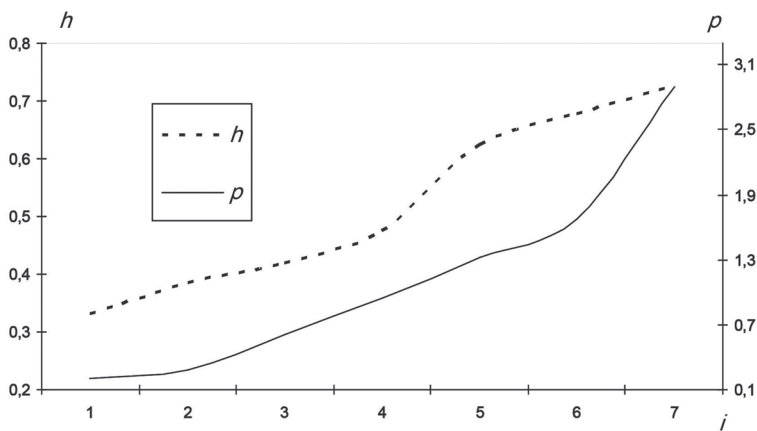


Рис. 3. Залежності висоти  $h = h(i)$ , тиску  $p = p(i)$ , де  $i$  — номер зразка (картоні НМ, поверхнева маса  $m_s = 0,235$  кг/м<sup>2</sup>)

Формуємо нелінійну залежність за методом МНК.

Таблиця 5

**Результати визначення технологічних зусиль картонів НМ**

№	Висота, мм	Висота середня $h_s$ , мм	Тиск, МПа	Маса поверхнева $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>	Товщина $z$ , мм	Об'ємна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	0,337	0,527	0,405	0,215	0,271	0,58
2	0,37		0,491			
3	0,414		0,688			
4	0,591		1,376			
5	0,704		1,538			
6	0,746		2,55			

Таблиця 5а

**(рівномірно віддалені висоти з кроком  $\Delta h = 0,094$  мм)**

№	Висота $h$ , мм	Тиск $p_h$ , МПа			
2	0,370	0,491	0,215	0,271	0,58
3	0,464	0,882			
4	0,558	1,248			
5	0,652	1,463			
6	0,746	2,55			

Від нерівномірних проміжків по  $h$ , як у табл. 5, перейдено до рівномірних.

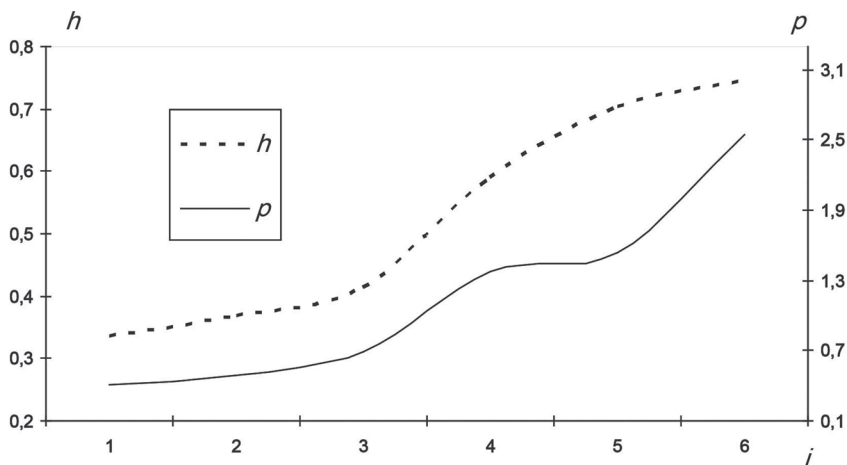


Рис. 4. Залежності висоти  $h = h(i)$ , тиску  $p = p(i)$ , де  $i$  — номер зразка (картони НМ, поверхнева маса  $m_s = 0,215$  кг/м<sup>2</sup>)

Формуємо нелінійну залежність за методом МНК.

Таблиця 6

**Результати визначення технологічних зусиль картонів НМ**

№	Висота $h$ , мм	Висота середня $h_s$ , мм	Тиск $p$ , МПа	Тиск середній $p_s$ , МПа	Маса поверхнева $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>	Товщина $z$ , мм	Об'ємна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	0,289	0,539	0,283	1,217	0,175	0,235	0,41
2	0,424		0,607				
3	0,52		0,769				
4	0,587		1,093				
5	0,692		1,552				
6	0,721		2,995				

Таблиця 6а

**(рівномірно віддалені висоти з кроком  $\Delta h = 0,074$  мм)**

№	Висота $h$ , мм	Тиск $p$ , МПа	Тиск середній $p_s$ , МПа	Маса поверхнева $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>	Товщина $z$ , мм	Об'ємна густина $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	0,424	0,607	1,216	0,175	0,235	0,41
2	0,498	0,732				
3	0,572	1,045				
4	0,646	1,351				
5	0,721	2,995				

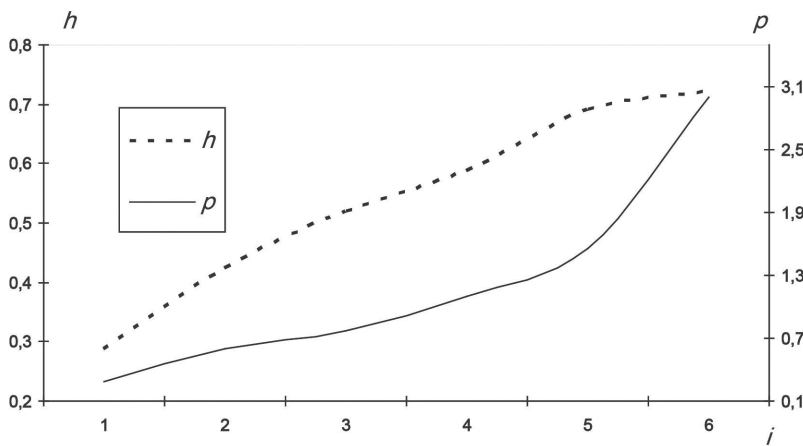


Рис. 5. Залежності висоти  $h = h(i)$ , тиску  $p = p(i)$ , де  $i$  — номер зразка (картони НМ, поверхнева маса  $m_s = 0,175$  кг/м<sup>2</sup>)

**Побудова квадратичної емпіричної залежності.** Нехай функціональна залежність між  $y$  та  $x$  квадратична. Шукатимемо емпіричну формулу у вигляді:

$$y = ax^2 + bx + c. \quad (1)$$

Тобто у нашому випадку:

$$p = ah^2 + bh + c. \quad (2)$$

Тоді формулу (1) запишемо у такий спосіб

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2. \quad (3)$$

Для знаходження коефіцієнтів  $a, b, c$ , за яких функція  $S(a, b, c)$  мінімальна, об-

числимо частинні похідні  $\frac{\partial S}{\partial a}$ ,  $\frac{\partial S}{\partial b}$ ,  $\frac{\partial S}{\partial c}$  і прирівняємо їх до нуля. У результаті дістанемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) \cdot x_i^2 = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) \cdot x_i = 0, \\ \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Після рівносильних перетворень маємо систему

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + nc = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (5)$$

Розв'язок цієї системи (5) і визначає єдину параболу, яка краще, ніж інші, параболи (1) подає на розглядуваному проміжку задану таблично функціональну залежність типу  $y=y(x)$  (тобто  $p=p(h)$ ) для таблиць 2, 3, 4, 5, 6 з відповідним індексом.

$$p_6 = 39,14h^2 - 37,53h + 9,577, (m_s = 0,175 \text{ кг/м}^2). \quad (6)$$

$$P_6(0,5\text{мм}) = 0,595 \text{ МПа}; P_{14}(0,6\text{мм}) = 1,147 \text{ МПа};$$

$$P_6(0,65\text{мм}) = 1,717 \text{ МПа}; P_{14}(0,7\text{мм}) = 2,481 \text{ МПа}; \Delta_{\text{nel}} = -0,045.$$

$$p_{45} = -2,814 + 7,266h, (m_s = 0,175 \text{ кг/м}^2); \quad (6L)$$

$$P_6(0,5\text{мм}) = 0,819 \text{ МПа}; P_6(0,6\text{мм}) = 1,546 \text{ МПа}; P_6(0,65\text{мм}) = 1,909 \text{ МПа};$$

$$P_6(0,7\text{мм}) = 2,272 \text{ МПа}; \Delta_{\text{lin}} = -0,21. (\text{MNZ/MN14}).$$

$$p_5 = 10,03h^2 - 6,197h + 1,484, (m_s = 0,215 \text{ кг/м}^2); \quad (7)$$

$$P_5(0,5\text{мм}) = 0,893 \text{ МПа}; P_5(0,6\text{мм}) = 1,377 \text{ МПа};$$

$$P_5(0,65\text{мм}) = 1,694 \text{ МПа}; P_5(0,7\text{мм}) = 2,062 \text{ МПа}; \Delta_{\text{nel}} = -0,042.$$

$$p_5 = -1,463 + 5,0h, (m_s = 0,215 \text{ кг/м}^2); \quad (7L)$$



$$P_5(0,5\text{мм}) = 1,037 \text{ МПа}; P_5(0,6\text{мм}) = 1,537 \text{ МПа}; P_5(0,65\text{мм}) = 1,787 \text{ МПа};$$

$$P_5(0,7\text{мм}) = 2,037 \text{ МПа}; \Delta_{\text{lin}} = -0,042. \text{ (MNZ/MN15).}$$

$$p = 26,004h^2 - 23,15h + 5,862, (m_s = 0,235 \text{ кг/м}^2); \quad (8)$$

$$P_4(0,5\text{мм}) = 0,787 \text{ МПа}; P_4(0,6\text{мм}) = 1,332 \text{ МПа};$$

$$P_4(0,65\text{мм}) = 1,799 \text{ МПа}; P_4(0,7\text{мм}) = 2,397 \text{ МПа}; \Delta_{\text{nel}} = -0,05.$$

$$p_5 = -2,338 + 6,597h, (m_s = 0,235 \text{ кг/м}^2); \quad (8L)$$

$$P_4(0,5\text{мм}) = 0,86 \text{ МПа}; P_4(0,6\text{мм}) = 1,62 \text{ МПа}; P_4(0,65\text{мм}) = 1,95 \text{ МПа};$$

$$P_4(0,7\text{мм}) = 2,279 \text{ МПа}; \Delta_{\text{lin}} = -0,168. \text{ (MNZ/MN16).}$$

$$p_3 = 20,36h^2 - 15,82h + 3,636, (m_s = 0,260 \text{ кг/м}^2); \quad (9)$$

$$P_3(0,5\text{мм}) = 0,814 \text{ МПа}; P_3(0,6\text{мм}) = 1,470 \text{ МПа};$$

$$P_3(0,65\text{мм}) = 1,951 \text{ МПа}; P_3(0,7\text{мм}) = 2,534 \text{ МПа}; \Delta_{\text{nel}} = -0,014.$$

$$p_3 = -3,883 + 9,181h, (m_s = 0,260 \text{ кг/м}^2); \quad (9L)$$

$$P_3(0,5\text{мм}) = 0,708 \text{ МПа}; P_3(0,6\text{мм}) = 1,626 \text{ МПа}; P_3(0,65\text{мм}) = 2,085 \text{ МПа};$$

$$P_3(0,7\text{мм}) = 2,544 \text{ МПа}; \Delta_{\text{lin}} = -0,069 \text{ (MNZ/MN17).}$$

$$p_2 = -3,132h^2 + 11,53h - 4,009, (m_s = 0,290 \text{ кг/м}^2); \quad (10)$$

$$P_2(0,5\text{мм}) = 0,973 \text{ МПа}; P_2(0,6\text{мм}) = 1,781 \text{ МПа};$$

$$P_2(0,65\text{мм}) = 2,162 \text{ МПа}; P_2(0,7\text{мм}) = 2,527 \text{ МПа}; \Delta_{\text{nel}} = -0,050.$$

$$p_{18} = -2,876 + 7,699h, (m_s = 0,290 \text{ кг/м}^2); \quad (10L)$$

$$P_2(0,5\text{мм}) = 0,973 \text{ МПа}; P_2(0,6\text{мм}) = 1,743 \text{ МПа}; P_2(0,65\text{мм}) = 2,128 \text{ МПа};$$

$$P_2(0,7\text{мм}) = 2,513 \text{ МПа}; \Delta_{\text{lin}} = -0,038. \text{ (MNZ/MN18).}$$

За даними співвідношень (6)–(10) визначимо тиски для 4 значень висоти 0,5 мм, 0,6 мм, 0,65 мм, 0,7 мм і подамо в табл. 7.

Таблиця 7

**Результати визначення тиску  $p$  (МПа)  
(технологічних зусиль для картонів НМ)**

		Висота зразка $h$ , мм					Поверхнева маса $m_s$ , кг/м <sup>2</sup>
	Номер таблиці	$h =$ 0,5 мм	$h =$ 0,55 мм	$h =$ 0,6 мм	$h =$ 0,65 мм	$h =$ 0,7 мм	
Тиск $p$ , МПа	6	0,595	0,792	1,147	1,717	2,481	0,175
	5	0,893	1,110	1,377	1,694	2,062	0,215
	4	0,787	0,996	1,332	1,799	2,397	0,235
	3	0,814	1,094	1,470	1,951	2,534	0,260
	2	0,973	1,386	1,781	2,162	2,527	0,290

У кожній з таблиць (2–6) є дані для: а) поверхневої маси  $m_s$ , кг/м<sup>2</sup>; б) товщини  $z$ , мм; с) об'ємної густини матеріалу картону  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>.

За даними табл. 2–6, для картонів НМ отримаємо апроксимаційні співвідношення для тиску  $p$  (що відповідає певній висоті  $h$ , мм) залежно від параметрів  $m_s$ ,  $z$ ,  $\rho$ :

$$p(h = 0,5) = -14,18m_s^2 + 9,24m_s - 0,5544,$$

$$(\Delta(h = 0,5 \text{ мм}; m_s = 0,29 \text{ кг/м}^2) = 0,042;$$

$$p(h = 0,5 \text{ мм}; m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) = 0,87 \text{ МПа}).$$

$$p(h = 0,55) = 12,04m_s^2 - 1,166m_s + 0,6664,$$

$$(\Delta(h = 0,55 \text{ мм}; m_s = 0,29 \text{ кг/м}^2) = 0,033;$$

$$p(h = 0,55 \text{ мм}; m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) = 1,127 \text{ МПа}).$$

$$p(h = 0,6) = 30,12m_s^2 - 8,977m_s + 1,822,$$

$$(\Delta(h = 0,6 \text{ мм}; m_s = 0,29 \text{ кг/м}^2) = 0,017;$$

$$p(h = 0,6 \text{ мм}; m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) = 1,460 \text{ МПа}).$$

$$p(h = 0,65) = 48,76m_s^2 - 18,62m_s + 3,474,$$

$$(\Delta(h = 0,65 \text{ мм}; m_s = 0,29 \text{ кг/м}^2) = 0,0053;$$

$$p(h = 0,65 \text{ мм}; m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) = 1,865 \text{ МПа}).$$

$$p(h = 0,7) = 64,32m_s^2 - 28,28m_s + 5,395,$$

$$(\Delta(h = 0,7 \text{ мм}; m_s = 0,29 \text{ кг/м}^2) = 0,03;$$

$$p(h = 0,7 \text{ мм}; m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) = 2,346 \text{ МПа}). \quad (11)$$

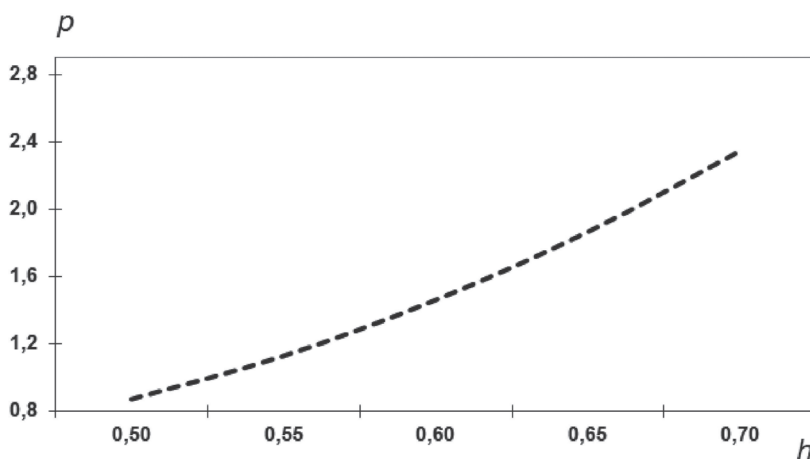


Рис. 6. Залежності тиску  $p = p_m = p(h)$  для поверхневої маси  $m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2$  для картону НМ

На рис. 6 подана плавна залежність тиску  $p = p(h)$

$$p_m = 14,86h^2 - 10,45h + 2,380; (m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2) - \text{НМ}. \quad (12)$$

для поверхневої маси  $m_s = 0,25 \text{ кг/м}^2$ , для картонів НМ. Ці результати отримано на основі даних (залежностей) (11). Для  $p = p(h)$  відповідна абсолютна середня похибка на рис. 6  $\Delta_c = 0,035$ , середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{p0} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_p^2} = 0,037, \quad \sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta_p^2} = 0,041. \quad (13)$$

Аналогічно до залежності (11) отримано низку залежностей типу  $p = p(z)$  і  $p = p(\rho)$ :

$$\begin{aligned} p(h=0,6) &= 18,18z^2 - 8,549z + 2,143, \\ p(h=0,65) &= 7,937z^2 - 2,538z + 1,713, \\ p(h=0,7) &= -4,556z^2 + 4,644z + 1,260, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} p(h=0,6) &= 0,8518\rho^2 - 0,6213\rho + 1,2416, \\ p(h=0,65) &= 0,3712\rho^2 - 0,00007\rho + 1,4897, \\ p(h=0,7) &= -0,1973\rho^2 + 0,6917\rho + 1,8560. \end{aligned} \quad (15)$$

Між залежностями типу (11), (14), (15) для поверхневої маси  $m_s$ , товщини  $z$ , об'ємної густини матеріалу картону  $\gamma$  оцінимо кореляційний зв'язок. Лінійний кореляційний зв'язок для емпіричних даних, виміряних за шкалою інтервалів або відношень, оцінюється за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона  $K_{xy} = r_{xy}$  [1]:

$$K_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (16)$$

де  $x_i$  і  $y_i$  — значення змінних  $x, y$ ;  $\bar{x}$  і  $\bar{y}$  — середні значення  $x, y$ ;  $n$  — обсяг вибірки;  $\text{cov}(x, y)$  — коваріація  $x$  та  $y$ ;  $s_x, s_y$  — середні квадратичні відхилення для вибірок  $x$  та  $y$  відповідно.

В результаті для картону НМ на основі даних таблиць (2–6), зокрема співвідношень (11), (14), (15), отримаємо:

$$K_{m_s, z} = 0,987; \quad K_{m_s, \gamma} = 0,987; \quad K_{\gamma, z} = 0,9995. \quad (17)$$

Оскільки коефіцієнти кореляції (17) близькі до 1, то залежності між тиском  $p$  і кожним із трьох параметрів, тобто поверхневою масою  $m_s$  (11),  $p$  і товщиною  $z$  (14),  $p$  і об'ємною густиною матеріалу картону  $\rho$  типу (14) еквівалентні. Тому достатньо, наприклад, вибрати залежність між тиском і  $m_s$  ( $p = p(m_s)$ ). Наступні залежності  $p = p(z)$ ,  $p = p(\rho)$  можна отримати на основі  $p = p(m_s)$ .

**Висновки.** Основні параметри, від яких залежать технологічні зусилля в картонах (тобто тиски  $p$ ), — це висота  $h$  і маса картону  $m_s$ .

Щоб порівнювати технологічні зусилля в картонах, тобто тиски  $p$ , необхідно  $p$  порівнювати для однакових значень висоти  $h$  і для поверхневої маси  $m_s$ .

Для порівняння аналітичних залежностей типу  $p = p(m_s)$ ,  $p = p(h)$  для картону було використано графічний метод, оскільки залежності на графіках наочні і дають змогу робити аналіз і встановлювати локальні висновки про хід залежностей, тобто висновки про більші чи менші значення тисків та нахил кривих або прямих відповідних відрізків.

#### СПИСКИ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стандарти для маркування упаковки (шрифт Брайля) / Майк В., Голоб Г., Брацко С., Дудок Т. Упаковка. 2014. № 1. С. 35–38.

2. Проблеми стандартизації шрифту Брайля при виготовленні видань для незрячих / Маїк В. З., Дурняк Б. В., Голоб Г., Брацко С., Дудок Т. Г. Поліграфія і видавнича справа. 2013. № 3–4 (63–64). С. 68–77.
3. Charakterystyka użytkowa znaków alfabetu Braille’a tłoczonych na gorąco folią / Vakulich D., Maik V., Rymarzewska V., Yarka N. Opakowanie. 2015. № 3. S.72–74.
4. Investigation of geometrical and physical – mechanical parameters of Braille by assessing the different types of cardboard materials / Kibirštis E., Venytė I., Mayik V., Vakulich D. МЕХАНІКА. 2011. № 17 (6). С. 656–660.
5. Golob G., Rotar B. Braille Legibility on the Pharmaceutical Packaging. VIII<sup>th</sup>SeminarIn Graphic Arts. 2007. Pp. 98–104.
6. Вакуліч Д. А., Маїк В. З., Мотика М. Т., Вакуліч Д. А. Дослідження впливу технологічних факторів на висоту елементів шрифту Брайля. Технологія і техніка друкарства. Київ : НТУУ «КПІ», 2009. № 3. С. 48–51.
7. Гавенко С. Ф., Лабецька М. Т. Поліграфічні технології маркування продукції шрифтом Брайля : монографія. Львів : Ліга-Прес, 2014. 140 с.
8. Graeme D., Weston A., Whittaker J. Braille dot height research: Investigation of braille dot elevation on pharmaceutical products: finel report 31 january 2008. Birmingham : University of Birmingham, 2007. URL: <http://www.education.bham.ac.uk/research/victar/research.shtml>.
9. Kubera H., Sierzptowska J. Wymagania stawiane pudelkom tekturowym do pakowania wyrobów przemsly farmaceutycznego. Przegląd papierniczy. 2008. Sierpień (64). С. 437–439.
10. Stępień K. Drukowanie pisma Braille’a na opakowaniach (Printing Braille on packaging. Przegląd papierniczy. 2013. № 8. S. 412–418.
11. Fajdetic A. Standardisation of Braille in the EU and other European Countries / Faculty of Special Education and Rehabilitation Sciences University of Zagreb. URL: [http://bib.irb.hr/datoteka/551906.Standardization\\_of\\_Braille\\_in\\_EU\\_and\\_other\\_European\\_Countries.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/551906.Standardization_of_Braille_in_EU_and_other_European_Countries.pdf).
12. Руденко В. М. Математична статистика: навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2012. 304 с.

#### REFERENCES

1. Maik, V., Golob, H., Bratsko, S., & Dudok, T. (2014). Standarty dlia markuvannia upakovky (shryft Brailia): Upakovka, 1, 35–38 (in Ukrainian).
2. Maik, V. Z., Durniak, B. V., Golob, H., Bratsko, S., & Dudok, T. H. (2013). Problemy standartyzatsii shryftu Brailia pry vyhotovlenni vydan dlia nezriachykh: Polihrafia i vydavnycha sprava, 3–4 (63–64), 68–77 (in Ukrainian).
3. Vakulich, D., Maik, V., Rymarzewska, V., & Yarka, N. (2015). Charakterystyka uzytkowa znakow alfabetu Braille’a tloczonych na goraco folia: Opakowanie, 3, 72–74 (in Polish).
4. Kibirštis, E., Venytė, I., Mayik, V., & Vakulich, D. (2011). Investigation of geometrical and physical – mechanical parameters of Braille by assessing the different types of cardboard materials: МЕХАНІКА, 17 (6), 656–660 (in English).
5. Golob, G., & Rotar, B. (2007). Braille Legibility on the Pharmaceutical Packaging. VIII<sup>th</sup>SeminarIn Graphic Arts, 98–104 (in English).
6. Vakulich, D. A., Maik, V. Z., Motyka, M. T., & Vakulich, D. A. (2009). Doslidzhennia vplyvu tekhnolohichnykh faktoriv na vysotu elementiv shryftu Brailia: Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. Kyiv : NTUU «KPI», 3, 48–51 (in Ukrainian).

7. Havenko, S. F., & Labetska, M. T. (2014). Polihrafichni tekhnolohii markuvannia produktsii shryftom Brailia. Lviv : Liha-Pres (in Ukrainian).
8. Graeme, D., Weston, A., & Whittaker, J. (2007). Braille dot height research: Investigation of braille dot elevation on pharmaceutical products: finel report 31 january 2008. Birmingham : University of Birmingham. Retrived from <http://www.education.bham.ac.uk/research/victar/research.shtml> (in English).
9. Kubera, H., & Sierztowska, J. (2008). Wymagania stawiane pudelkom tekturowym do pakowania wyrobow przemsly farmaceutycznego: Przegląd papierniczy, Sierpień (64), 437–439 (in Polish).
10. Stępień, K. (2013). Drukowanie pisma Braille'a na opakowaniach (Printing Braille on packaging): Przegląd papierniczy, 8, 412–418 (in Polish).
11. Fajdetic, A. Standardisation of Braille in the EU and other European Countries / Faculty of Special Education and Rehabilitation Sciences University of Zagreb. Retrived from [http://bib.irb.hr/datoteka/551906.Standardization\\_of\\_Braille\\_in\\_EU\\_and\\_other\\_European\\_Countries.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/551906.Standardization_of_Braille_in_EU_and_other_European_Countries.pdf) (in English).
12. Rudenko, V. M. (2012). Matematychna statystyka. Kyiv : Tsentr navchalnoi literatury (in Ukrainian).

doi: 10.32403/0554-4866-2019-1-77-49-62

## STUDYING THE FORMATION OF BRAILLE ELEMENT HEIGHT ON WASTEPAPER CARDBOARD OF HM TYPE

V. Z. Mayik

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
vol\_maik@meta.ua*

*Nowadays, the information space of Braille typeface is being developed to provide equal opportunities for people with special needs. This is largely due to Braille typeface application on various types of products in the pharmaceutical, food and other industries that complies with the European Union's regulations on the mandatory application of the information in the Braille format on packaging of medicines and other products. Accordingly, there is a growing need for a qualitative and affordable way of Braille text application on the packaging. And the ability of accurate reproduction of Braille elements on a cardboard packaging for reliable reading of the information by people with visual impairment is of particular importance. The correct and accurate perception of the information by people with visual impairments is particularly dependent on the height of Braille typeface. The article is devoted to the study of the dependency of Braille element height on a low-volume wastepaper of HM type, which is intended for the production of consumer packaging for industrial products from its technological parameters and pressure forces. A study of technological forces at a different height of Braille element has been done with the use of a device, which allows the simultaneous registration of the stamping force and the counter-stamp movement with a given cyclicality of the device. The*

*study of the height of Braille element is an important task, since the reliability of reading the information by people with visual impairment depends on its height. The dependency of the pressure  $p$  from the height  $h$  has been determined as a result of the experimental studies. The transition from uneven intervals in  $h$  and  $ms$  has been made to even ones in order to clarify the analytical relations between the pressure  $p$  and the parameters ( $h$ ,  $ms$ ). In this case, the method of interpolation as well as the method of least squares have been used for the construction of nonlinear and linear dependencies of the type  $p = p(ms)$ ,  $p = p(h)$ .*

**Keywords:** *Braille typeface, element height, pressure force, cardboard, analytic dependencies, method of least squares.*

*Стаття надійшла до редакції 29.03.2019.*

*Received 29.03.2019.*