

УДК 621.798:547.458:678

В. О. Коротка, К. Ф. Базилюк, Р. С. Зацерковна

Українська академія друкарства

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДБИТКІВ ТРАФАРЕТНОГО ДРУКУ НА ОКСО-БІОДЕГРАДУЮЧИХ ПЛІВКАХ

За допомогою методів математичної статистики оцінено якість відбитків трафаретного друку на оксо-біодеградуючих плівках. Шляхом побудови математичної моделі процесу стирання фарбового шару на досліджуваних взірцях плівок оптимізовано параметри трафаретного друку.

Математична статистика, оцінка якості, відбитки, трафаретний друк, оксо-біодеградуючі плівки

Сьогодні світовий ринок полімерних пакувальних матеріалів зазнає змін. На фоні загострення проблем екології та збереження довкілля людство намагається боротися з полімерними сміттям, яке безперервно накопичується на звалищах і зберігається там століттями. Ефективним засобом боротьби із забрудненням навколишнього середовища було створення та впровадження в промислове виробництво біодеградуючих полімерів, які розкладаються під впливом атмосферних чинників і в результаті життєдіяльності мікроорганізмів перетворюються на воду, вуглекислий газ і біомасу [3, 4, 11].

Впровадження нових матеріалів у виробниче середовище не можливе без застосування процесів контролю якості продукції чи послуг, заснованих на статистичних методах. Відомо, що підвищення рівня якості продукції в умовах ринкової економіки є ефективним методом конкурентної боротьби на внутрішньому і зовнішньому ринках [1, 8].

Одним з істотних критеріїв оцінювання якості друку на пакуваннях є адгезійна міцність фарбового покриття. Адже в процесі експлуатації пакувань важлива їх інформативність. Зважаючи на це, актуальним є оцінювання результатів досліджень стійкості до стирання фарбового шару відбитків трафаретного друку на оксо-біодеградуючих плівках методами математичної статистики.

Мета даної роботи – за допомогою методів математичної статистики оцінити якість відбитків трафаретного друку, побудувати математичну модель процесу стирання фарбового шару на досліджуваних взірцях плівок для оптимізації параметрів друку на оксо-біодеградуючих плівкових матеріалах.

Для дослідження було вибрано взірці плівок на основі поліетилену, зокрема:

- 1 — на основі поліетилену високої щільності (HDPE), завтовшки 25 мкм;
- 2 — на основі поліетилену високої щільності (HDPE) та оксо-біодеградуючої домішки OX5854PE фірми Tosaf, завтовшки 25 мкм;
- 3 — на основі поліетилену високої щільності (HDPE) та оксо-біодеградуючої домішки EP OBD-1 (Eco-Protect), завтовшки 33 мкм;

4 — на основі поліетилену низької щільності (LDPE) та оксо-біодеградуючої домішки EP OBD-1 (Eco-Protect), завтовшки 95 мкм;

5 — на основі поліетилену низької щільності (LDPE), завтовшки 80 мкм.

Наносили зображення на досліджувані взірці плівок способом трафаретного друку при різних відстанях від сітки друкарської форми до задрукованого матеріалу: 2, 4 та 6 мм. Стійкість до стирання штрихів товщиною 0,5 та 2 рт характеризувалася зміною товщини штриха ($\Delta l/l$) після кожного циклу роботи приладу для випробування зносостійкості задрукованого зображення [7].

Використовуючи методики статистичного аналізу даних, вивчали вплив зміни технологічного зазору (відстані від друкарської форми до задрукованого матеріалу) на стійкість фарбового шару зображення [2, 10]. У процесі дослідів, аналізуючи криву закону нормального розподілу випадкових величин, визначали основні статистичні параметри: максимального, мінімального і середнього арифметичного значення; стандартного відхилення від середнього; дисперсії; асиметрії; ексцесу. За допомогою критерію Стьюдента встановлювали залежність між вибірками. На основі регресійного аналізу отримали аналітичний вираз зв'язку між залежними та незалежними змінними. Використовуючи кореляційний і нелінійний регресійний аналіз, побудували математичну модель стійкості до стирання фарбового шару на взірцях плівок та визначили зв'язок між досліджуваними параметрами. Достовірність апроксимації встановлювали коефіцієнтом кореляції, який характеризує зв'язок між змінними в рівнянні регресії.

У результаті проведених досліджень розраховано статистичні параметри, які дозволили передбачити, що розподіл указаних статистичних рядів близький до нормального, оскільки показники симетрії та ексцесу знаходяться в межах інтервалу $[-1, 1]$, а відношення стандартного відхилення до середнього (показник варіації) досить незначне ($< 0,33$). На рис. 1 зображена гістограма розподілу для одного із статистичних рядів.

У пакеті Statistica при побудові такої гістограми, крім частотного розподілу статистичного ряду у вигляді стовпцевої діаграми, на неї накладається крива щільності нормального розподілу. Це дозволяє візуально перевірити відповідність розподілу статистичного ряду гауссівському. Крім візуальної перевірки, у вікні гістограми подаються значення критеріїв Колмогорова-Смірнова (K-S) і Лілієфорса (Lilliefors) [5, 9, 10]. Статистика Колмогорова-Смірнова для ряду даних при технологічному зазорі 6 мм виявилася рівною 0,14778, і чим менша її величина, тим ближчий розподіл до нормального. Згідно з розрахованими критеріями Колмогорова-Смірнова і Лілієфорса вірогідність відповідності розподілу даних рядів нормальному розподілу складає 80% ($p > 0,2$). Це дає підстави для використання при обробці експериментальних даних стандартних методів кореляційного та регресійного аналізів.

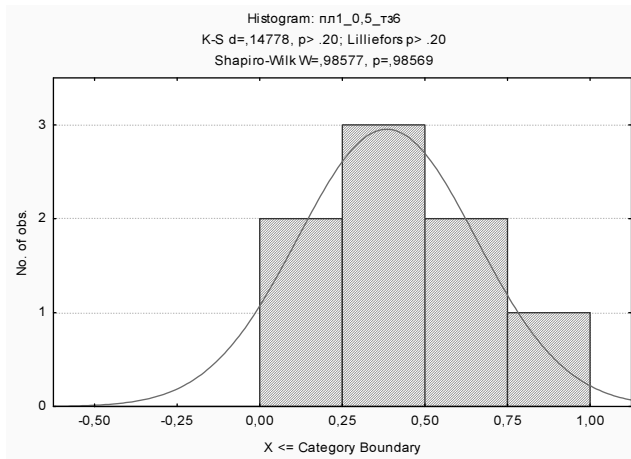


Рис. 1. Гістограма розподілу даних при технологічному зазорі 6 мм

На рис. 2 наведено результати стійкості до стирання фарбового шару штрихів товщиною 2 рт, одержаних на досліджуваних взірцях плівок при технологічному зазорі 6 мм. Оцінивши візуально криві даного рисунка, можна стверджувати, що для взірців плівок 1 і 2, 4 і 5 результати стійкості до стирання близькі за значеннями.

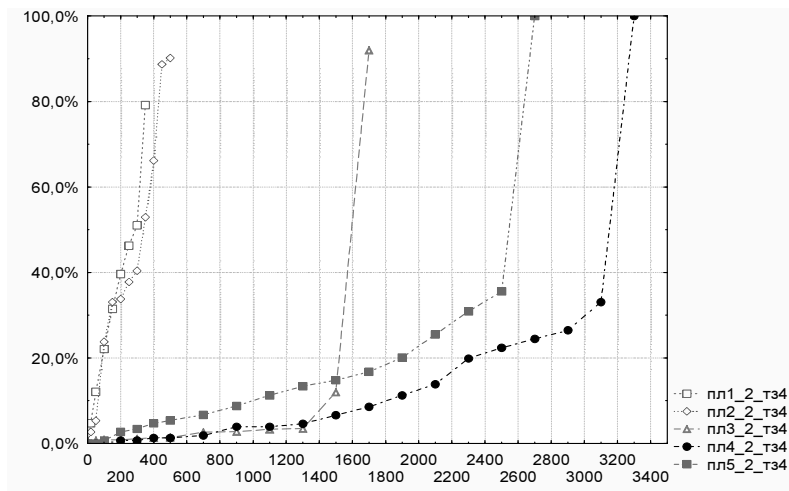


Рис. 2. Стійкість до стирання штрихів товщиною 2 рт на досліджуваних взірцях плівок, одержаних при технологічному зазорі 6 мм

Застосувавши критерій Стюдента для залежних вибірок, наприклад до даних плівок 1 та 2, отримали довірчий рівень $p=0,0479$ ($<0,05$) для штриха товщиною 0,5 рт і $p=0,01504$ ($<0,05$) для штриха товщиною 2 рт, що з вірогідністю 95% свідчить про підтвердження гіпотези щодо залежності показників стирання для першої та другої плівок.

Слід зауважити, що згруповані взірці плівок 1 та 2 виготовлені на основі HDPE, 3 і 4 — на основі LDPE. Тобто, структурні особливості матеріалу впливають на адгезійну міцність фарбового шару. Крім того, наявність у структурі плівок 2 та 4 біодомішки створює додаткову мікронерівність, що в свою чергу дозволяє частково підвищити стійкість до стирання фарбового шару.

Проведено кореляційний аналіз експериментальних даних процесу стирання штрихів товщиною 0,5 і 2 pt. Одержані кореляції свідчать про зв'язок між відсотком стирання штриха (відс) і кількістю циклів. Він є лінійним, прямо пропорційним, оскільки кореляційний коефіцієнт становить 0,6400 у разі стирання штриха товщиною 0,5 pt та 0,6402 – при стиранні штриха товщиною 2 pt. Такий зв'язок характерний для досліджуваних плівок усіх типів (пл) і розмірів технологічного зазору (тз).

У результаті проведеного множинного лінійного регресійного аналізу лінійні математичні моделі процесу стирання штрихів товщиною 0,5 та 2 pt містять недостовірні регресійні коефіцієнти, а тому не можуть бути трактовані як адекватні.

Побудовано нелінійну математичну модель процесу стирання штриха товщиною 0,5 pt :

$$\begin{aligned} \text{відс}_{0,5} = & 16,0985 + 41,7560 \cdot \text{пл}_{0,5} - 26,0662 \cdot \text{пл}_{0,5}^2 + \\ & + 3,4552 \cdot \text{пл}_{0,5}^3 - 0,595 \cdot \text{тз}_{0,5} + 0,0544 \cdot \text{цикл}_{0,5}. \end{aligned}$$

Про адекватність її свідчать високий коефіцієнт множинної кореляції ($R = 0,83226$) і значення довірчих рівнів ($p\text{-level} < 0,05$).

Аналогічно для стирання штриха товщиною 2 pt побудовано нелінійну математичну модель з коефіцієнтом множинної кореляції $R = 0,7014$ і достовірними регресійними коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} \text{відс}_{2} = & -20,0162 + 81,5001 \cdot \text{пл}_{2} - 37,668 \cdot \text{пл}_{2}^2 + \\ & + 4,4219 \cdot \text{пл}_{23} - 0,5695 \cdot \text{тз}_{2} + 0,0331 \cdot \text{цикл}_{2}. \end{aligned}$$

Побудовані математичні моделі можуть бути використані для знаходження оптимальних параметрів процесу стирання.

Оптимізаційна задача полягає в пошуку значень параметрів (виду плівки і величини технологічного зазору), які зумовлять повне стирання штриха (100%) при найбільшій кількості циклів: цикл (пл, тз, відс) \rightarrow max. Задача вирішена засобами Mathcad'у. Отримані результати свідчать, що і для штриха 0,5 pt і для штриха 2 pt взірець плівки №4 ($p_l=4,03$ і $p_l=4,225$ відповідно) при технологічному зазорі 6 мм ($t_z=6$) демонструє стирання ($v=100\%$) при максимальній кількості циклів: 2080 – для штриха товщиною 0,5 pt і 3565 – для штриха товщиною 2 pt. Максимальні значення стійкості до стирання отримано й щодо інших взірців плівок при технологічному зазорі 6 мм.

З огляду на вищевикладене доцільно зробити наступні висновки. У результаті кореляційного аналізу експериментальних даних встановлено прямо пропорційну залежність між зміною товщини штриха та кількістю циклів стирання фарбового шару. Розроблено математичну модель процесу стирання фарбового шару на досліджуваних взірцях плівок для оптимізації параметрів трафаретного друку (відстані від сітки друкарської форми до задрукованого

матеріалу), що забезпечить одержання якісного зображення, стійкого до стирання. Встановлено, що максимально стійке зображення трафаретного друку на досліджуваних взірцях плівок можна одержати при технологічному зазорі 6 мм. Найкращі результати стійкості до стирання отримано для взірця плівки 4 на основі LDPE та оксо-біодеградуючої домішки (2080 циклів – для штриха товщиною 0,5 pt і 3565 – для штриха товщиною 2 pt).

1. Величко О. М. Видавничо-поліграфічна справа: Практикум з проектування і розрахунку технологічних і виробничих процесів: навч. посіб. / Величко О. М. — К.: Вид.-полігр. центр “Київський університет”, 2009. — 520 с. 2. Гавенко С. Ф. Оцінка якості поліграфічної продукції / С. Ф. Гавенко, О. В. Мельников. — Львів: Афіша, 2000. — 120 с. 3. Коротка В. О. Спектроскопічні дослідження оксо-біодеградуючих плівкових матеріалів для виготовлення паковань / В. О. Коротка, Р. С. Зацерковна // Квалілогія книги: зб. наук. пр. — Л.: Укр. акад. друкарства, 2013. — №1 (23). — С.69–72. 4. Короткая В. О. Исследование способности к разложению биоразлагаемых пленочных материалов для изготовления упаковки / Р. С. Зацерковная, В. О. Короткая : материалы 78-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и асп. «Издательское дело и полиграфия» (с международным участием), 3–13 февр. 2014 г.: тезисы докл. — Минск: БГТУ, 2014. — С. 47–48. 5. Майборода Р. Є. Статистичний аналіз даних за допомогою пакета STATISTICA: навч. посіб. / Р. Є. Майборода, О. В. Сугакова — К.: Вид. лаб. радіофіз. ф-ту Київ. нац. ун-ту імені Т. Шевченка, 2012. — 65 с. 6. Статистичний аналіз даних з пакетом STATISTICA [Мамчич Т., Оленко А., Осипчук М., Шпортюк В.]. — Дрогобич: Відродження, 2006. — 208 с. 7. Пат. на корисну модель № 90456 Україна, МПК G07C 3/14 (2006.01). Прилад для випробування зносостійкості задрукованого та оздобленого зображення / Гавенко С. Ф., Зацерковна Р. С., Коротка В. О., Петрик П. Б.; заявник та патентовласник Українська академія друкарства; заявл. 31.12.2013; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. 8. Пашуля П. Л. Основи метрології, стандартизації і сертифікації. Якість у поліграфії: навч. посіб. / Пашуля П. Л. — К.: ІЗМН, 1997. — 288 с. 9. Руденко В. М. Математична статистика: навч. посіб. / Руденко В. М. — К.: Центр учб. л-ри, 2012. — 304 с. 10. Штангрет А. Статистика: навч. посіб. / А. Штангрет, О. Копилюк. — К.: Центр навч. л-ри, 2005. — 232 с. 11. Korotka V. Badania wpływu temperatury na degradację chemiczną foliowych materiałów stosowanych do produkcji opakowań / V. Korotka, V. Kochubei, R. Zatserkovna // Opakowanie. — 2014. — №7. — S. 53–56.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОТТИСКОВ ТРАФАРЕТНОЙ ПЕЧАТИ НА ОКСО-БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНКАХ

С помощью методов математической статистики оценено качество оттисков трафаретной печати на оксо-биоразлагаемых пленках. Путем построения математической модели процесса стирания красочного слоя на исследуемых образцах пленок оптимизировано параметры трафаретной печати.

QUALITY ASSESSMENT OF SCREEN PRINTING PRINTS ON OXO-BIODEGRADABLE FILMS BY THE METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS

The quality of the screen printing prints on oxo-biodegradable films have been estimated by the methods of mathematical statistic. The settings of screen printing have been optimized by the construction of the mathematical model of the erasing studied films paint layer process.

Стаття надійшла 24.09.2014