

УДК 004.9+655.3.062

КОНТРОЛЬ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ ПОЛІПРОПІЛЕНОВИХ ПЛІВОК У ПРОЦЕСІ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

В. Б. Репета

Українська академія друкарства,
вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна

Стаття присвячена розробці системи автоматичного контролю та регулювання величини поверхневої енергії поліпропіленових плівок у процесі флексографічного друкування фарбами на спиртовій основі. Відповідно до прийнятих термів сформовано функції належності і нечітку базу знань впливу швидкості друкування і величини поверхневої енергії плівки на необхідну дозу коронного розряду. Проведено розрахунки FIS-редактором середовища MATLAB на основі алгоритму Мамдані з дефаззифікацією за методом «центру ваги». Побудовано модель системи автоматичного встановлення необхідної дози коронного розряду і розрахунку відповідної потужності генератора станції коронного розряду.

Ключові слова: *поверхнева енергія, полімерні плівки, функція належності, база знань, нечітка логіка.*

Постановка проблеми. Технологічні процеси друкування ґрунтуються на взаємодії рідин з твердими тілами. У цій взаємодії важливу роль відіграє фізико-хімічне явище змочування, завдяки якому забезпечуються фарбопередача і адгезія друкарських фарб до поверхні субстратів. Поверхні таких поліолефінів як поліетилен, поліпропілен тощо, володіють низькою поверхневою енергією, що унеможливує їх задруковування без поверхневої модифікації, адже буде спостерігатися відсутність молекулярної взаємодії між цими полімерними поверхнями і фарбами, і як наслідок у процесі друкування створюються зображення з низькими оптичними характеристиками, а в гіршому випадку шар друкарської фарби відшаровується. Для збільшення поверхневої енергії полімерних матеріалів проводять їх обробку коронним розрядом. Наданий рівень поверхневої енергії з часом починає зменшуватися, стає наближеним до початкового і вимагає повторної обробки плівки [1, с. 8]. Отже, перед друкуванням на полімерних плівках необхідне проведення операції контролю їх поверхневої енергії, встановлення її рівня і налаштування станції коронного розряду для забезпечення якості відбитків.

Аналіз досліджень та публікацій. При модифікації поверхні плівок коронним розрядом, заряджені електричні частинки утвореної плазми бомбардують поверхню й ініціюють утворення активних центрів. Процес активації характеризується первинними та вторинними реакціями. У первинних реакціях активації енергію діючого джерела поглинають окремі ланки субстрату, які, переходячи в збуджений стан, стають потенційно активними. Вторинні реакції полягають в утворенні на поверхні полярних функціональних груп – гідроксильних (–ОН), карбонільних (>C=O) і карбоксильних (–COOH), які й будуть приймати участь в адгезійному зв'язку [2, с. 120–121].

Ступінь активації залежить від отриманої дози коронного розряду і відрізняється критичним (максимальним) значенням, характерним для такого матеріалу незалежно від подальшого часу обробки.

Як комплексний критерій ефективності односторонньої обробки коронним розрядом рекомендується співвідношення [1, 3, 4]

$$Wd = \frac{P}{W \cdot S}, \quad (1)$$

де Wd – доза коронного розряду ($\text{Вт} \times \text{хв}/\text{м}^2$); P – потужність генератора (Вт); W – ширина електрода (м); S – швидкість переміщення субстрату ($\text{м}/\text{хв}$).

Величина поверхневої енергії поліпропіленової плівки при друкуванні спиртовими фарбами повинна бути не менше 38 мН/м, а у випадку з водяними і УФ-фарбами – 41 мН/м. На виробництві для контролю поверхневої енергії використовують тестові чорнила з різним поверхневим натягом (суміші формаміду і етиленгліколю синього кольору з поверхневим натягом рідин від 30 до 58 мН/м) [5]. Принцип базується на основі «критичного поверхневого натягу» [6, с. 1–51]. Такий контроль проводиться поза машиною, на якій отримують полімерні плівки, або друкарською машиною.

За останній десяток років у автоматизації технологічних процесах широкого застосування набула теорія нечіткої логіки, яка дозволяє систематизувати набуті емпіричні знання, використовувати їх для керування відповідним процесом чи операцією з забезпеченням встановленої якості продукції.

Мета роботи. Розробка системи автоматичного контролю та регулювання поверхневої енергії поліпропіленових плівок з застосуванням алгоритму нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу. Для контролю поверхневої енергії був розроблений спосіб [7], при якому на поверхню полімерної плівки наносяться тестові чорнила з поверхневим натягом 34 і 38 мН/м, розтікання яких реєструє цифрова камера. В залежності від поверхневої енергії полімерної плівки і поверхневого натягу тестових чорнил спостерігається різниця у їх розтіканні. Різниця у кількості пікселів на зареєстрованих зображеннях тестових ліній і характеризує поверхневу енергію полімерних плівок. При цьому у процесі аналізу можуть спостерігатися три випадки, а саме, при поверхневій енергії плівки, яка менша 34 мН/м спостерігається погане розтікання чорнил і їх товщина в обох випадках є меншою за встановлену, або присутні розриви у тест-лініях, при поверхневій енергії плівки 34 мН/м – лінія тестового чорнила з поверхневим натягом 34 мН/м не спотворюється, а при поверхневій енергії плівки 38 мН/м і більше, дві тест-лінії є приблизно однаковими.

Відповідно, виникає три випадки величин поверхневої енергії плівок, які можна оцінити сукупністю термів. Залежно від них буде формуватися сигнал для першого входу контроллера. На другий вхід – буде подаватися сигнал швидкості роботи друкарської машини, яка також буде характеризуватися відповідними нечіткими термами. Застосуємо розбивання на три терми кожної вхідної змінної з симетричною гаусівською функцією належності [8, с. 9–14]:

$$\mu(\delta) = e^{-\frac{(x-h)^2}{2c^2}}, \quad (2)$$

де x – елемент універсальної множини; h – параметр функції належності (координата максимуму); c – параметр функції належності (коефіцієнт концентрації).

Для моделювання системи автоматичного визначення відповідної дози коронного розряду і встановлення відповідної потужності генератора засобами нечіткого управління використовуються можливості системи розробки нечітких систем управління – Fuzzy Logic Toolbox середовища технологічних розрахунків MATLAB, а також системи моделювання динамічних систем – Simulink. Як метод дефазифікації будемо використовувати метод «центру ваги» [9, с. 1–13].

Залежно від рівня зниження поверхневої енергії, при друкуванні спиртовими фарбами на ВОРР-плівках доза коронного розряду повинна складати від 11 до 14 Вт×хв/м² [10]. Враховуючи дві змінні, величину виявленої поверхневої енергії і швидкість переміщення матеріалу при друкуванні, шляхом нечіткого виводу можна визначити необхідну дозу коронного розряду, а з допомогою належності (1) розрахувати необхідну потужність конкретної станції коронного розряду з постійним параметром ширини обробки матеріалу (наприклад, 0,33 м).

Побудуємо функції належності для показника «Швидкість друкування». Значення показника визначено на універсальній множині: $u_1 = 30$ м/хв; $u_2 = 40$ м/хв; $u_3 = 50$ м/хв; $u_4 = 60$ м/хв; $u_5 = 70$ м/хв; $u_6 = 80$ м/хв; $u_7 = 90$ м/хв.

Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: T(S) = <низька (low), середня (medium), висока (high)>. Відповідно, отримаємо функції належності лінгвістичної змінної «Швидкість друкування» (рис. 1) і наступні нечіткі множини:

$$\text{Швидкість друкування низька} = \left(\frac{1}{30}, \frac{0,875}{40}, \frac{0,6}{50}, \frac{0,3}{60}, \frac{0,125}{70}, \frac{0,06}{80}, \frac{0,01}{90} \right) \text{ м/хв};$$

$$\text{Швидкість друкування середня} = \left(\frac{0,01}{30}, \frac{0,3}{40}, \frac{0,6}{50}, \frac{1}{60}, \frac{0,6}{70}, \frac{0,3}{80}, \frac{0,01}{90} \right) \text{ м/хв};$$

$$\text{Швидкість друкування висока} = \left(\frac{0,01}{30}, \frac{0,06}{40}, \frac{0,125}{50}, \frac{0,3}{60}, \frac{0,6}{70}, \frac{0,875}{80}, \frac{1}{90} \right) \text{ м/хв}.$$

Аналогічно побудуємо функції належності для змінної «Поверхнева енергія». Значення показника визначено на універсальній множині: $u_1 = 32$ мН/м; $u_2 = 33$ мН/м; $u_3 = 34$ мН/м; $u_4 = 35$ мН/м; $u_5 = 36$ мН/м; $u_6 = 37$ мН/м; $u_7 = 38$ мН/м.

Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів: T(E) = <низька (low), задовільна (satisfactory), достатня (safficient)>. Відповідно, отримаємо функції належності лінгвістичної змінної «Поверхнева енергія» (рис. 2) і наступні нечіткі множини:

$$\text{Поверхнева енергія низька} = \left(\frac{1}{32}, \frac{0,8}{33}, \frac{0,4}{34}, \frac{0,125}{35}, \frac{0,1}{36}, \frac{0,01}{37}, \frac{0,01}{38} \right) \text{ мН/м}.$$

$$\text{Поверхнева енергія задовільна} = \left(\frac{0,01}{32}, \frac{0,4}{33}, \frac{1}{34}, \frac{0,4}{35}, \frac{0,125}{36}, \frac{0,01}{37}, \frac{0,01}{38} \right) \text{ мН/м.}$$

$$\text{Поверхнева енергія достатня} = \left(\frac{0,01}{32}, \frac{0,01}{33}, \frac{0,1}{34}, \frac{0,125}{35}, \frac{0,4}{36}, \frac{0,8}{37}, \frac{1}{38} \right) \text{ мН/м.}$$

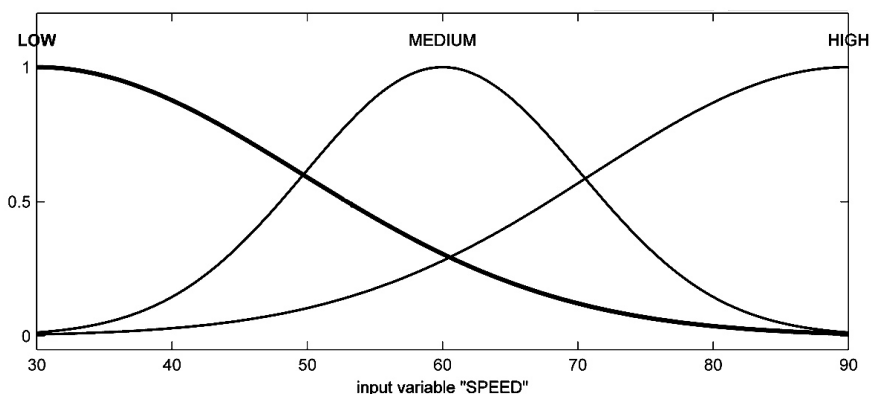


Рис. 1. Функція належності лінгвістичної змінної «Швидкість друкування»

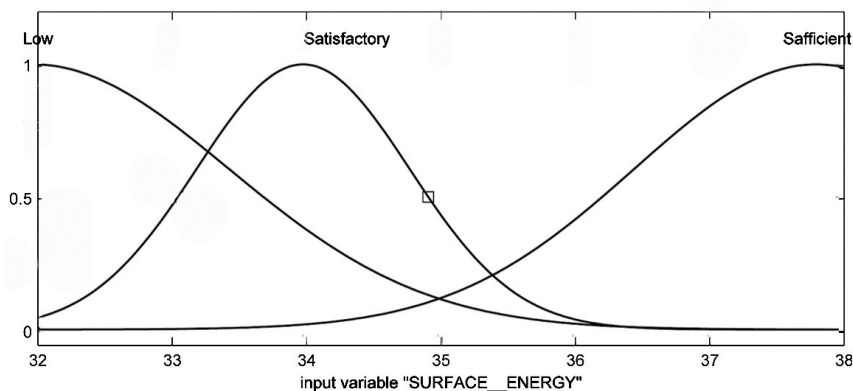


Рис. 2. Функція належності лінгвістичної змінної «Поверхнева енергія»

Значення вихідного параметра «Доза коронного розряду» визначимо за допомогою набору нечітких правил «якщо ... то»:

- якщо поверхнева енергія «низька» і швидкість друкування «висока», то доза коронного розряду «велика»;
- якщо поверхнева енергія «низька» і швидкість друкування «середня», то доза коронного розряду «середня»;
- якщо поверхнева енергія «низька» і швидкість друкування «низька», то доза коронного розряду «низька»;
- якщо поверхнева енергія «задовільна» і швидкість друкування «низька», то доза коронного розряду «середня»;
- якщо поверхнева енергія «задовільна» і швидкість друкування «середня», то доза коронного розряду «середня»;

- якщо поверхнева енергія «задовільна» і швидкість друкування «висока», то доза коронного розряду «висока»;
- якщо поверхнева енергія «достатня» і швидкість друкування «середня», то доза коронного розряду «низька»;
- якщо поверхнева енергія «достатня» і швидкість друкування «низька», то доза коронного розряду «низька».

Градація лінгвістичної змінної «Доза коронного розряду» визначена у величинах:

$$\text{Велика} - 11 \frac{Вт \cdot хв}{м^2}; \text{Середня} - 12,5 \frac{Вт \cdot хв}{м^2}; \text{Низька} - 14 \frac{Вт \cdot хв}{м^2}.$$

На основі алгоритму Мамдані [9, с. 9–14] було розраховано залежність вихідного параметру «Доза коронного розряду» від величин поверхневої енергії і швидкості друкування. Результат обробки внесеної бази нечітких правил FIS-редактором показано на рис. 3.

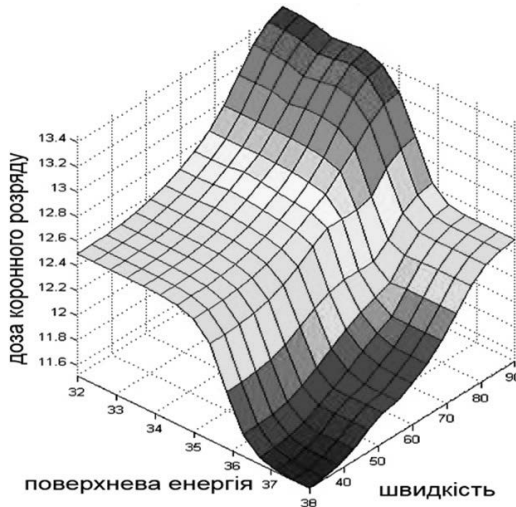


Рис. 3. Залежність вихідного параметру «Доза коронного розряду» від значення двох функцій належності на основі системи Мамдані

З допомогою програми Simulink побудуємо модель системи автоматичного визначення необхідної дози коронного розряду з використанням контролера нечіткої логіки (Fuzzy Logic Controller) і розрахунку для неї відповідної потужності генератора (рис. 4). Відповідно, після аналізу поверхневої енергії тестовими чорнилами за стандартом, результат вноситься вручну або автоматично згідно розробленого способу контролю. Контроллер з врахуванням функцій належності вхідних змінних визначає необхідну дозу коронного розряду для розрахунку потужності коронного розряду. У нашому випадку ширина обробки полімерної плівки становить 0,33 м, як у більшості вузькорулонних флексографічних машин.

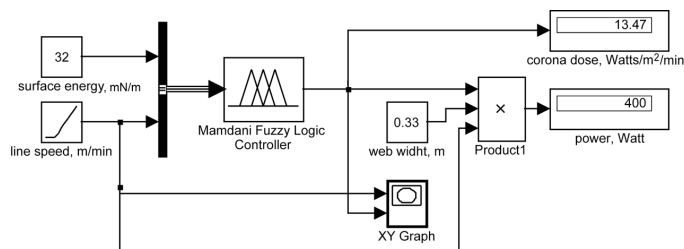


Рис. 4. Модель системи автоматичного визначення необхідної дози коронного розряду

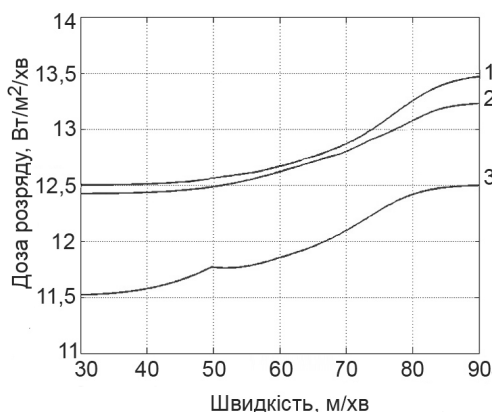


Рис. 5. Величина дози коронного розряду, залежно від швидкості переміщення плівки: 1 – при поверхневій енергії 32 мН/м; 2 – при поверхневій енергії 35 мН/м ; 3 – при поверхневій енергії 38 мН/м

На рис. 5 показано результати роботи моделі системи визначення дози коронного розряду. Рисунок демонструє відповідність розробленої моделі і відображає апріорні уявлення оператора машини щодо забезпечення відповідної дози коронного розряду залежно від рівня поверхневої енергії поліпропіленових плівок і швидкості друкування.

Висновок. Застосування нечіткої логіки дозволило, спираючись на лінгвістичні змінні та емпіричні знання, розробити систему контролю та регулювання поверхневої енергії поліпропіленових плівок. Відповідність системи перевірено з допомогою програми Simulink, що уможлиблює практичну реалізацію системи на основі нечіткого мікроконтролера. Розроблений принцип можна використати при обробці низки полімерних матеріалів, чим забезпечити гнучкість друкарського процесу і якість друкарських відбитків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Corona Treatment in Practice // Report. №125e, Softal Electronic. — 8 p.
2. Sina Ebnesajjad. Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding // Elsevier inc. 2006–2014. — P. 120–121.
3. The Corona Treatment of PP Polymer Films in Practice [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.afs.biz/common/uploads/infomaterial/Corona%20Treatment%20of%20PP%20Cast%20films.pdf>.

4. Rory A. Wolf. Promoting Adhesion — Corona, Flame, Ozone and Plasma Surface Treatment [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.tappi.org/content/events/10place/papers/wolf.pdf>.
5. Plastics – Film and sheeting – Determination of wetting tension: ISO 8296:2003. — [Чинний від 2008–03–01].
6. Zisman W. A. In Contact Angle, Wettability and Adhesion / W. A. Zisman // *Advances in Chemistry Series*, American Chemical Society. — 1964. — Vol. 43. — P. 1–51.
7. Пат. 52966 Україна. МПК G 01 N 19/00. Спосіб контролю поверхневої енергії полімерних плівок при обробці коронним розрядом / В. Репета. — № а201001921; заявл. 22.00.2010; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18.
8. Штовба С. Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С. Д. Штовба // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. — 2003. — №2 (2). — С. 9–14.
9. Mamdani E. H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / E. H. Mamdani, S. Assilian // *International Journal of Man-Machine Studies*. — 1975. — Vol. 7. — № 1. — P. 1–13.
10. Gilbertson T. Using Watt Density to predict increased dyne levels is not as simple as it appears / Tom Gilbertson // *ENEWS: Surface Treating technology. Enercon*. — P. 2.

REFERENCES

1. *Corona Treatment in Practice*, Report №125e, Softal Electronic. 8 p.
2. Sina Ebnesajjad (2006-2014). *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding* // Elsevier inc. pp. 120-121.
3. *The Corona Treatment of PP Polymer Films in Practice*, available at: <http://www.afs.biz/common/uploads/infomaterial/Corona%20Treatment%20of%20PP%20Cast%20films.pdf>. (Accessed 20th May 2015).
4. Rory A. Wolf. *Promoting Adhesion – Corona, Flame, Ozone and Plasma Surface Treatment*, available at: <http://www.tappi.org/content /events/10place/papers/wolf.pdf>. (Accessed 20th May 2015).
5. International Standard ISO 8296:2003 (2003), *Plastics – Film and sheeting – Determination of wetting tension*. Geneva.
6. Zisman W. A. (1964), *In Contact Angle, Wettability and Adhesion* // *Advances in Chemistry Series*, American Chemical Society. Vol. 43, pp. 1–51.
7. Repeta V. (2010) Pat. 52966 Ukraina. МПК G 01 N 19/00. *Sposib kontroliu poverkhnevoi enerhii polimernykh plivok pry obrobsi koronnym rozriadom* / V. Repeta. № а201001921; zaiavl. 22.00.2010; opubl. 27.09.2010, Biul. № 18. (in Ukrainian).
8. Shtovba S. D. (2003), *Ydentyfikatsiya nelyneinykh zavysymostei s pomoshchyu nechetkoho lohycheskoho vvoda v systeme MATLAB* / S. D. Shtovba // *Exponenta Pro. Matematyka v prylozheniyakh*. № 2 (2). Moscow. S. 9–14. (in Russian).
9. Mamdani, E. H. and S. Assilian (1975), *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–13.
10. Gilbertson T. «*Using Watt Density to predict increased dyne levels is not as simple as it appears*» // *ENEWS: Surface Treating technology. Enercon*. P. 2.

**CONTROL AND REGULATION OF THE SURFACE ENERGY
ON THE POLYPROPYLENE FILMS IN THE FLEXO PRINTING
PROCESS BY THE MEANS OF FUZZY LOGIC**

V. B. Repeta

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine
vreneta@yandex.ua*

This article is devoted to the development of the system of automatic control and to the adjustment of the size of the surface energy of polypropylene films in the flexographic solvent printing inks. According to the accepted term a membership function and fuzzy knowledge base of the printing speed impact and the surface energy of the film on a needed dose of corona discharge are formed. Basing on the algorithm of Mamdani with the help of the defuzzification method «the center of gravity», the calculations have been conducted using MATLAB FIS-editor. A model of the automatic system of the determining of the corona dose and the calculation of the corresponding power generator of the corona station have been built.

Keywords: *surface energy, polymer films, membership function, knowledge base, fuzzy logic.*

Стаття надійшла до редакції 23.06.2015.

Received 23.06.2015.