

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

КЕРУВАННЯ ОПЕРАЦІЄЮ РЕЦИКЛІНГУ РОЗЧИННИКА ПРИ ВИМИВАННІ ФОТОПОЛІМЕРНИХ ДРУКАРСЬКИХ ФОРМ

В. Б. Репета¹, Ю. А. Кукура¹, В. Г. Слободяник¹, В. В. Кукура¹¹Українська академія друкарства, Львів, Україна

УДК 66.066+54.058+510.6

DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.5

Отримано: 25 жовтня 2022

Прийнято: 25 листопада 2022

Cite as: Repeta V., Kukura Yu., Slobodanyk V., Kukura V. (2022). Controlling of the solvent recycling operation in the washout of photopolymer printing forms. Technogenic and ecological safety, 12(2/2022), 37–42. doi: 10.52363/2522-1892.2022.2.5

Анотація

Поліграфічні виробництва, як і багато виробництв інших галузей, є джерелом відходів, які потребують уваги з точки зору впливу на навколишнє природне середовище. У першу чергу це стосується рідких відходів, як результату процесу виготовлення флексографічних фотополімерних форм, адже такі розчини являють собою суміші органічних розчинників, які відносяться до небезпечних токсичних речовин. Відповідно, розробки у напрямі рециклінгу цих розчинів дозволять мінімізувати їх шкідливий вплив на довкілля і підвищити енергоефективність технології шляхом їх повторного використання. На основі попередніх розробок гетерофазного емульсійного розчинника і вимивного пристрою з функцією розділу на фракції насиченого фотополімером розчину вертикальним сепаратором запропоновано принцип автоматичного керування операцією рециклінгу засобами нечіткої логіки.

Для таких факторів досліджуваного процесу у вигляді лінгвістичних змінних, як «Температура вимивного розчину» і «В'язкість вимивного розчину», встановлено універсальні множини, відповідні терми та сформовано нечітку базу знань з використанням умови «Якщо–Тоді». Вихідним результатом встановлено лінгвістичну змінну «Якість процесу вимивання». За допомогою системи Fuzzy Logic Toolbox середовища технологічних розрахунків MATLAB побудовано функції належності, сформовано базу знань, проведено операцію дефазифікації методом «Центр ваги» та отримано модель впливу температури і в'язкості вимивного розчину на процес вимивання фотополімерних друкарських форм. Модель вказує на адекватність заданої бази знань, яка характеризує процес вимивання фотополімерних форм. Числові значення, отримані для обробки нечітким контролером, будуть визначати керуючу дію для автоматичного розділення сепаратором відпрацьованого вимивного розчину.

Ключові слова: флексографічні форми, вимивання, гетерофазний розчинник, рециклінг, нечітка логіка, лінгвістичні змінні.

Постановка проблеми

Незважаючи на дуже складний для нас – українського народу – час, ми й надалі прагнемо дотримуватися концепції сталого розвитку. Нашим обов'язком є забезпечення виробництв екологічними, енергоефективними та ощадними технологіями. Важливо при цьому використовувати можливості правильної утилізації та рециклінгу твердих або рідких відходів. Такі підходи до виробництва є ключовими елементами циркуляційної економіки, у якій поліграфічна промисловість і дотичні до неї виробництва поліграфічних матеріалів повинні забезпечити технологічний процес виготовлення продукції з мінімальною шкодою для навколишнього середовища.

Тенденція зростання попиту на пакування для харчової продукції сприяє зростанню ринку флексографічного друку, в якому потреба у флексографічних пластинах до 2025 року щорічно зростатиме на 3,1 % [1, 2]. З кожним роком новітні розробки забезпечують одержання продукції з високою роздільною здатністю і, відповідно, високої якості. Цифрові лазерні технології виготовлення флексографічних форм набрали широкої популярності завдяки усуненню з технологічного процесу операції виготовлення фотоформ. На даний час велика увага приділена процесу вимивання

фотополімерних флексографічних друкарських форм, де відходами виробництва є насичені вимитим фотополімером розчини, які непридатні для зливання у каналізацію і потребують утилізації чи регенерації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процес виготовлення фотополімерних флексографічних друкарських форм полягає у проявленні латентного рельєфного зображення, отриманого при експонуванні УФ-випромінюванням формної пластини. Для цього потрібно провести селективне розчинення неекспонованих ділянок пластини підготовленими вимивними розчинами [3, 4]. Залежно від типу фотополімеризаційноздатної композиції, формні пластини поділяються на органовимивні і водовимивні. У першому випадку для вимивання використовуються органічні розчинники, в другому вода або вода з поверхнево-активними речовинами. Для процесу вимивання необхідний чіткий підбір розчинників, адже здатність до набухання та розчинення полімерів залежить від будови їх молекул та наявності в тому чи іншому розчиннику функціональних груп, чи атомів, які утворюють донорно-акцепторні та інші зв'язки. Наприклад, ароматичні полімери внаслідок рухомості π -електронів бензольного ядра утворюють з молекулами ароматичних або

хлоровмісних розчинників π -комплексів. Процес розчинення (набухання) відбуватиметься лише тоді, коли компоненти можуть взаємно змішуватися або взаємно розчинятися [5].

Отже, в основу вибору розчинника фотополімерних флексографічних матеріалів (ФФМ) може бути покладена концепція збігу або наближення значень параметрів розчинності плівкоутворюючого полімеру композиції і вимивного розчину. При цьому слід звернути увагу на те, що сучасні вимивні розчини є багатокомпонентними системами. Комбінуючи зміст компонентів у сумішах, можна змінювати значення параметра розчинності, оскільки ця величина має адитивне значення, тобто змінюється пропорційно вмісту того або іншого компоненту. Окрім високої швидкості проявлення, вимивні розчини повинні бути малотоксичними, вибухопожежобезпечними, недорогими, тощо. Для забезпечення високої еластичності ФФМ у композиції використовують термоеластоласти. Такі полімери добре розчиняються у низці органічних розчинників: ароматичних сполук, хлорованих вуглеводнів, деяких естерах і етерах, нітросполук і інших речовинах, які мають значення параметрів розчинності в межах $8,5 \dots 10,0$ (кал/см³)^{0,5} [6]. Здебільшого у вимивних розчинах використовують тетрахлоретилен, бутанол, фенілметанол, бензен, етилбензен, циклогексанон, тощо. Для прикладу, за класифікацією EPA (US Environmental Protection Agency), ці хімічні сполуки у відпрацьованих розчинниках як відходах виробництва, відносяться до небезпечних токсичних речовин класів F001, F002 і F003 [7].

На сьогоднішньому ринку представлені наступні органічні розчини для вимивання флексографічних пластин: Flexosolve (Flexo Supplies UK Ltd), Nylosolv (Flint Group), Flexosol PB3, Gravo-Sol 22R, Solv-Octanol (Absolute Solvents Ltd), Solvit M100 (MacDermid Inc), Cylosol (DuPont Packaging Graphics).

Більш екологічним є процес виготовлення флексографічних форм вимиванням звичайною водою або водою з розчиненими спеціальними добавками, оскільки покращуються умови вимивання, бо не потрібно видаляти з зони вимивання пари органічних розчинників. Хоча процес вимивання форм водою також важко назвати повністю безпечним для навколишнього природного середовища. Звичайно, умови праці на дільниці виготовлення форм значно покращилися за рахунок усунення з процесу шкідливих летких органічних сполук, проте розчинені у воді залишки полімерів несуть за собою значно більшу небезпеку для людини і навколишнього природного середовища, ніж леткі складові органічних розчинників. На флексографічному ринку представлено наступні марки водорозчинних пластин: Flenex FW (Fujifilm-Sericol), Cosmolight NR і QZ (Toyobo), FlatTop AWP™-CleanFlat (Asahi Kasei Corporation Photoproducts Division), Aquaflex і Rapidoflex (Dantex Group), AquaGreen (Sumitomo Riko

Company). Водовимивні полімерні пластини вирішують частину проблем, пов'язаних з розчинниками, однак перед зливом відпрацьованої води в систему каналізації необхідним є багатоступеневе очищення, що створює нові труднощі. Процес очищення води є значно складнішим і дорожчим, ніж процес регенерації сольвентних розчинів. Проблема ж утилізації полімерних залишків залишається невирішеною і досі. До безперечних переваг органічних розчинників відноситься можливість їх багаторазової регенерації. Зусилля виробників флексографічних пластин і пристроїв для їх вимивання зосереджені на трьох напрямках: максимальна автоматизація процесу, енергоощадливість і мінімальний вплив на довкілля [8].

Враховуючи вище вказане, був розроблений гетерофазний вимивний розчин [9], в компонентний склад якого входить дистильована вода, сольвент нафтовий і поверхнево-активна речовина для забезпечення стабільності розчину. Сольвент нафтовий є хімічно інертним за кімнатної температури і в стандартних умовах зберігання. Наприклад, ГДК вуглеводневих розчинників марки «Нефрас АР 120/200» дорівнює 100 мг/м³, що значно менше, ніж для хлорованих вуглеводнів [10]. Такий вимивний гетерофазний розчин придатний до регенерації, що дозволяє його повторне використання. Для цього був розроблений пристрій для вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм, в якому розділення вимивного розчину на фракції проводиться вертикальним сепаратором, що дає можливість повторного використання розчинника (рециклінгу) [11]. Недоліком реалізованого процесу є складність регенерації розчинника.

Методики дослідження. Створення інтелектуальних систем, здатних адекватно взаємодіяти з людиною, вимагає застосування математичного апарату, який переводив би неоднозначні твердження в мову чітких і формальних математичних формул. Розвиток теорії нечіткої логіки, яка лежить в основі керування технологічних систем, дав поштовх у розробці таких інформаційних технологій і розширенні обчислювальних можливостей технічних пристроїв. Вперше, це було реалізовано в роботі Латфі Заде [12], який заклав основи нечіткої логіки і запропонував поняття деякої універсальної множини для проблемної області. Аналіз процесів інструментами нечіткої логіки дає можливість використовувати кількісні та якісні бази знань, отримані як експериментально, так і шляхом експертного опитування персоналу, який володіє досвідом, обслуговуючи відповідне поліграфічне обладнання. Одержана база знань складається з сукупності правил, які пов'язують між собою низку вхідних лінгвістичних змінних з вихідним результатом.

Загалом оцінювання якості засобами нечіткої логіки включає наступне:

- встановлення універсальної терм-множини значень та відповідних їй лінгвістичних термів

виокремлених факторів якості (лінгвістичних змінних);

- побудова матриць попарних порівнянь для множини лінгвістичних термів відповідного інтервалу значень універсальної множини та отримання для кожної з матриць функцій належності;

- розроблення нечіткої бази знань з використанням нечітких логічних висловлювань типу «Якщо – Тоді»;

- побудова нечітких логічних рівнянь на підставі матриці знань і функцій належності, які визначають зв'язок між функціями належності вхідних та вихідних даних;

- дефазифікація нечіткої множини, суть якої полягає в розрахунку числового показника прогнозованої якості, наприклад, за методом центра ваги плоскої фігури [13].

Постановка завдання та його вирішення

Згідно з проведеними дослідженнями [14], швидкість та якість виявлення латентного зображення залежить від ступеня насичення вимивного розчину фотополімерним матеріалом. Наприклад, якісне вимивання органічними розчинниками різних типів можливе при насиченні вимивного розчину ФПМ до п'яти відсотків, після чого необхідна операція його регенерації. У міру насичення зростає в'язкість розчину і значно зменшується швидкість і глибина вимивання. Другим параметром, що визначає якість проходження процесу вимивання, є температура розчину. Вона впливає як на дифузію розчинників у фотополімер, так і на в'язкість розчину. Аналіз рекомендацій щодо застосування різних вимивних розчинів показав, що їх температура повинна бути в межах 20...30°C, оскільки надмірне нагрівання може призвести до збільшення набухання фотополімеру.

Отже, якість процесу вимивання фотополімерних форм Q залежить від температури і ступеня насиченості розчину фотополімером (в'язкості розчину) та визначається за формулою:

$$Q = f(V, T) \quad (1)$$

де V – лінгвістична змінна, яка характеризує в'язкість вимивного розчину;

T – лінгвістична змінна, яка характеризує температуру розчину.

Для лінгвістичних змінних, які характеризують процес вимивання форм, наведено оціночні терми (табл. 1).

Спираючись на експертні висловлювання щодо впливу факторів на якість процесу, побудуємо функції належності. Відповідно, значення лінгвістичної змінної «В'язкість вимивного розчину» визначимо на універсальній множині:

$$u_1 = 1 \text{ мПа}\cdot\text{с}; u_2 = 6 \text{ мПа}\cdot\text{с}; u_3 = 12 \text{ мПа}\cdot\text{с}; \\ u_4 = 18 \text{ мПа}\cdot\text{с}; u_5 = 24 \text{ мПа}\cdot\text{с}.$$

Для лінгвістичної оцінки цього показника використовуємо сукупність нечітких термів:

Таблиця 1 – Фактори процесу вимивання флексографічних форм, як лінгвістичні змінні

Назва змінної	Універсальна множина	Терми оцінювання
В'язкість вимивного розчину, V	1...24 мПа·с	низька
		середня
		висока
Температура вимивного розчину, T	18...30°C	низька
		середня
		висока

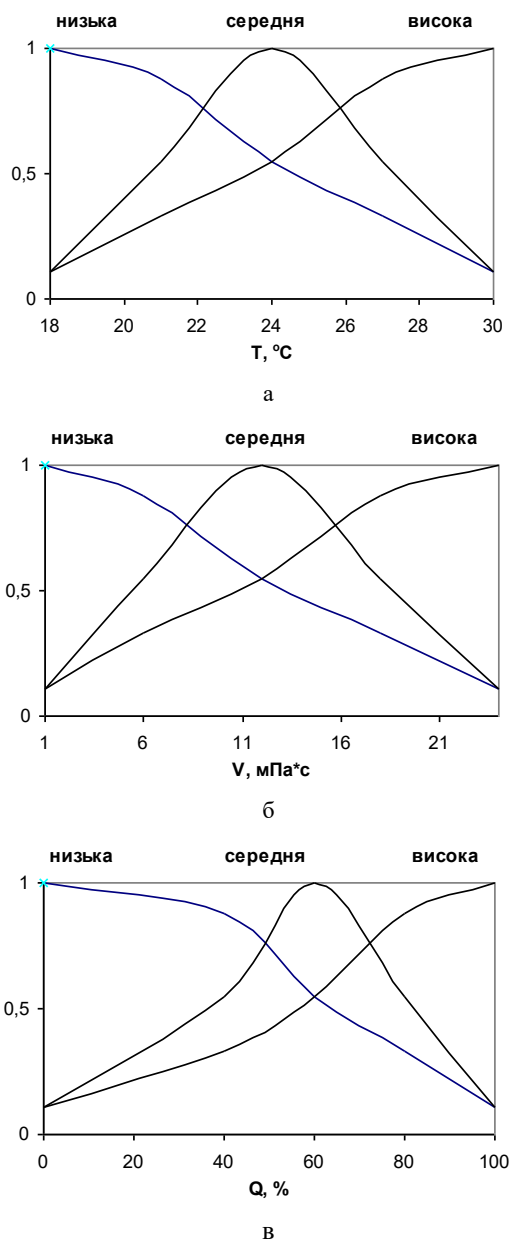


Рисунок 1 – Функції належності: а – лінгвістична змінна «Температура розчину»; б – лінгвістична змінна «В'язкість вимивного розчину»; в – лінгвістична змінна «Якість процесу вимивання»

$$V(x) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle.$$

Відповідно до вказаних термів отримаємо функції належності лінгвістичної змінної «В'язкість вимивного розчину» (рис. 1, а).

Для змінної «Температура вимивного розчину» показник визначимо на універсальній множині:

$$u_1 = 18^\circ\text{C}; u_2 = 21^\circ\text{C}; u_3 = 24^\circ\text{C}; u_4 = 27^\circ\text{C}; u_5 = 30^\circ\text{C}.$$

Для лінгвістичної оцінки змінної використовуємо сукупність нечітких термів:

$$T(x) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle.$$

Щодо показника «Температура вимивного розчину» за відношенням до зазначених термів, отримаємо функції належності (рис. 1, б).

Функції належності вихідного параметра «Якість процесу вимивання» з відповідними термами показано на рис. 1, в.

Сформуємо нечітку базу знань щодо вибраних параметрів на якість процесу вимивання фотополімерних форм:

ЯКЩО T «низька» і V «висока» ТОДІ якість процесу Q «низька»

ЯКЩО T «висока» і V «низька» ТОДІ якість процесу Q «відмінна»

ЯКЩО T «висока» і V «висока» ТОДІ якість процесу Q «низька»

ЯКЩО T «середня» і V «висока» ТОДІ якість процесу Q «низька»

ЯКЩО T «середня» і V «висока» ТОДІ якість процесу Q «низька»

ЯКЩО T «висока» і V «середня» ТОДІ якість процесу Q «середня»

де T – температура вимивного розчину, як лінгвістична змінна на універсальній терм-множині:

$$\begin{aligned} \text{Температура низька} &= \\ &= \left(\frac{1}{18}; \frac{0,88}{21}; \frac{0,55}{24}; \frac{0,33}{27}; \frac{0,11}{30} \right), \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Температура середня} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{18}; \frac{0,55}{21}; \frac{1}{24}; \frac{0,55}{27}; \frac{0,11}{30} \right), \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Температура висока} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{18}; \frac{0,33}{21}; \frac{0,55}{24}; \frac{0,88}{27}; \frac{1}{30} \right), \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

V – в'язкість вимивного розчину, як лінгвістична змінна на універсальній терм-множині:

$$\begin{aligned} \text{В'язкість розчину низька} &= \\ &= \left(\frac{1}{1}; \frac{0,88}{6}; \frac{0,55}{12}; \frac{0,33}{18}; \frac{0,11}{24} \right), \text{ мПа}\cdot\text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{В'язкість розчину середня} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{1}; \frac{0,55}{6}; \frac{1}{12}; \frac{0,55}{18}; \frac{0,11}{24} \right), \text{ мПа}\cdot\text{с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{В'язкість розчину висока} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{1}; \frac{0,33}{6}; \frac{0,55}{12}; \frac{0,88}{18}; \frac{1}{24} \right), \text{ мПа}\cdot\text{с}; \end{aligned}$$

Q – якість процесу вимивання, як лінгвістична змінна на універсальній терм-множині:

$$\begin{aligned} \text{Якість процесу вимивання низька} &= \\ &= \left(\frac{1}{0}; \frac{0,88}{40}; \frac{0,55}{60}; \frac{0,33}{80}; \frac{0,11}{100} \right), \text{ } \%; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Якість процесу середня} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{0}; \frac{0,55}{40}; \frac{1}{60}; \frac{0,55}{80}; \frac{0,11}{100} \right), \text{ } \%; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Якість процесу висока} &= \\ &= \left(\frac{0,11}{0}; \frac{0,33}{40}; \frac{0,55}{60}; \frac{0,88}{80}; \frac{1}{100} \right), \text{ } \%. \end{aligned}$$

Скориставшись функціями належності можна розрахувати варіанти впливу на якість процесу вимивання. Сформовану базу знань було перевірено при моделюванні за допомогою системи Fuzzy Logic Toolbox середовища технологічних розрахунків MATLAB за принципом Мамдані [15]. Для проведення операції дефазифікації за методом «Центр ваги» [16] встановимо верхню і нижню межу якості процесу Q : нижня – 0 %, верхня – 100 %. Провівши дефазифікацію отриманих нечітких значень процесу одержимо модель з кількісним оцінюванням якості процесу (рис. 2).

Використання вікна візуалізації нечіткого логічного виведення GUI-модуля Rule Viewer дозволило проілюструвати хід логічного виведення за кожним правилом і одержання результуючої нечіткої множини з виконанням процедури дефазифікації. Деякі варіанти цієї візуалізації подано у таблиці 2.

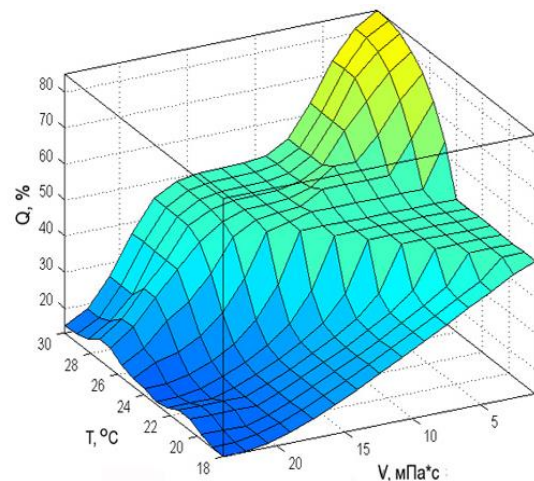


Рисунок 2 – Модель впливу температури і в'язкості розчину на якість процесу вимивання фотополімерних форм

Таблиця 2 – Результати візуального аналізу впливу температури і в'язкості вимивного розчину

№	Температура, °C	В'язкість, мПа·с	Якість процесу, %
1	19	5	43
2	23	13	31
3	28	3	77
4	29	21	26
5	28	1	84

Процес контролю температури і в'язкості розчину здійснюється відповідними датчиками. Числові значення, отримані з датчиків температури і в'язкості розчину, обробляються нечітким мікроконтролером із заданою нечіткою базою, який при досягненні встановленого мінімального значення показника якості і формує керуючу дію для запуску операції розділення сепаратором відпрацьованого вимивного розчину на фракції з наступним його рециклінгом.

Висновки

Отже, у результаті дослідження сформовано нечітку базу знань, що містить терми оцінювання лінгвістичних змінних, як факторів впливу на якість

процесу вимивання фотополімерних форм. Здійснено дефазифікацію нечітких множин за принципом «Центра ваги» та отримано числове значення показника якості процесу вимивання. Застосування засобів нечіткої логіки дозволило, спираючись результати попередніх досліджень, емпіричні знання та лінгвістичні змінні, розробити систему аналізу процесу вимивання фотополімерних форм з автоматичним керуванням операцією рециклінгу вимивного розчину. Відповідність реалізованої нечіткої бази знань перевірено побудовою моделі впливу температури і в'язкості вимивного розчину на процес вимивання форм, що й уможливило практичну реалізацію системи на основі нечіткого мікроконтролера.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Future of Flexographic Printing to 2025. SMITHERS, 2020. URL: <https://www.smithers.com/Services/market-reports/Printing/The-Future-of-Flexographic-Printing-to-2023> (дата звернення: 12.10.2022).
2. A New Flexographic Printing Plate Market Size 2022 Reports On Companies That Seek Out New High-Growth Sectors in the Markets to 2028. MarketWatch, 2022. URL: <https://www.marketwatch.com/press-release/a-new-flexographic-printing-plate-market-size-2022-reports-on-companies-that-look-for-new-high-growth-sectors-in-the-markets-to-2028-new-report-with-95-pages-2022-10-25> (дата звернення: 25.10.2022).
3. Kipphan H. Handbook of Print Media: 1st edition. Springer, 2001. 1247 p.
4. Gilbert E., Lee F. Flexographic Plate Technology: Conventional Solvent Plates versus Digital Solvent Plates. *Journal of Industrial Technology*. 2008. Vol. 24. No. 3. URL: <https://www.iastatedigitalpress.com/jtmae/article/14202/galley/12966/view> (дата звернення: 12.10.2022).
5. Шибанов В. Минимумы или очерки о фотополимеризующихся материалах. Киев: ООО «Украинская Флексографская Техническая Ассоциация», 2002. 126 с.
6. Шибанов В. РАС-творитель или СО-творитель? *Флексо Плюс*. 2002. № 1. С. 40–43.
7. Defining Hazardous Waste: Listed, Characteristic and Mixed Radiological Wastes. US Environmental Protection Agency, 2022. URL: <https://www.epa.gov/hw/defining-hazardous-waste-listed-characteristic-and-mixed-radiological-wastes#FandK> (дата звернення: 11.10.2022).
8. Wnuk P. The future of platemaking. *Labels & Labeling*. 2020. URL: <https://www.labelsandlabeling.com/features/future-platemaking> (дата звернення: 1.10.2022).
9. Пат. на винахід 71762 А, Україна, МПК G03 F7/32. Проявник для вимивання зображень фотополімерних друкарських форм / Шибанов В. В., Слободяник В. Г.; заявник та патентовласник Українська академія друкарства. – № 20031211255; заявл. 09.12.2003; опубл. 15.12.2004, бюл. № 12.
10. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць: наказ М-ва охорони здоров'я України від 14 січ. 2020 р. № 52. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 1.10.2022).
11. Пат. на корисну модель №73008, Україна, МПК B41F 21/00. Пристрій для вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм / Слободяник В. Г., Репета В. Б., Шибанов В. В.; заявник та патентовласник Українська академія друкарства. – № u201201317; заявл. 8.02.2012; опубл. 10.09.2012, бюл. №17.
12. Bellman R., Zadeh L. Decision-Making in Fuzzy Environment. *Management Science*. 1970. Vol. 17. № 4. P. 141–160.
13. Дурняк Б. В., Сеньківський В. М., Піх І. В. Інформаційні технології прогнозування та забезпечення якості видавничо-поліграфічних процесів (методологія вирішення проблеми). *Технологічні комплекси*. 2014. №1. С. 21–24. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tehkom_2014_1_5 (дата звернення: 2.10.2022).
14. Слободяник В. Г., Шибанов В. В. Зміна в'язкості емульсійного проявника в процесі вимивання фотополімерних флексографічних друкарських форм. *Наукові записки (Українська академія друкарства)*. 2011. № 4. С. 312–317.
15. Mamdani, E., Assilian, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7. No. 1. P. 1–13.
16. Ротштейн О. П., Ларушкін Є. П., Мітюшкін Ю. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 144 с.

Repeta V., Kukura Yu., Slobodanyk V., Kukura V.

CONTROLLING OF THE SOLVENT RECYCLING OPERATION IN THE WASHOUT OF PHOTOPOLYMER PRINTING FORMS

Printing production, like many other industries, is a source of waste that requires attention in terms of environmental impact. First of all, this applies to liquid waste as a result of the process of manufacturing flexographic photopolymer forms, because such solutions are mixtures of organic solvents that are hazardous toxic substances. Accordingly, developments in the direction of recycling such solutions will minimize their harmful effects on the environment and increase the technology's energy efficiency through their reuse. Based on previous developments of a heterophase emulsion solvent and a washing device with the function of separation into fractions of a solution saturated with photopolymer by a ventilated separator, the principle of automatic control of the recycling operation using fuzzy logic is proposed.

For such factors of the studied process in the form of linguistic variables as "Temperature of the leaching solution" and "Viscosity of the leaching solution" universal sets, corresponding terms are established and a fuzzy knowledge base is formed using the condition "If-Then". The output result is the linguistic variable "Quality of the leaching process". Using the Fuzzy Logic Toolbox system of the MATLAB technological calculation environment, membership functions were built, a knowledge base was formed, the diffusion operation was carried out using the "centre of gravity" method and a model of the influence of temperature and viscosity of the washing solution on the process of washout photopolymer printing plates was obtained. The model indicates the adequacy of the given knowledge base, which characterizes the process of leaching photopolymer forms. The numerical values obtained for processing by the fuzzy controller will determine the control action for the separator's automatic separation of the spent leachate.

Key words: flexographic forms, washout, heterophase solvent, recycling, fuzzy logic, linguistic variables.

REFERENCES

1. SMITHERS. (2020). The Future of Flexographic Printing to 2025. URL: <https://www.smithers.com/Services/market-reports/Printing/The-Future-of-Flexographic-Printing-to-2023> (accessed 12 October 2022).
2. MarketWatch. (2022). A New Flexographic Printing Plate Market Size 2022 Reports On Companies That Seek Out New High-Growth Sectors in the Markets to 2028. URL: <https://www.marketwatch.com/press-release/a-new-flexographic-printing-plate-market-size-2022-reports-on-companies-that-seek-out-new-high-growth-sectors-in-the-markets-to-2028-new-report-with-95-pages-2022-10-25> (accessed 25 October 2022).
3. Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media: 1st edition. Springer, 1247 p.
4. Gilbert, E., & Lee, F. (2008). Flexographic Plate Technology: Conventional Solvent Plates versus Digital Solvent Plates. *Journal of Industrial Technology*, 24(3). URL: <https://www.iastatedigitalpress.com/jtmae/article/14202/galley/12966/view> (accessed 12 October 2022).
5. Shibanov, V. (2002). *Minimumy ili ocherki o fotopolimerizujushhihsja materialah* [Minimums or essays on photopolymerizable materials]. Kyiv. Ukrainian Flexographic Technical Association, 126 p. [in Russian].
6. Shibanov, V. (2002). RAS-tvoritel' ili SO-tvoritel'? [SOL-creator or CO-creator?]. *Flexo Plus*, 1, 40–43. [in Russian].
7. US Environmental Protection Agency. (2022). Defining Hazardous Waste: Listed, Characteristic and Mixed Radiological Wastes. URL: <https://www.epa.gov/hw/defining-hazardous-waste-listed-characteristic-and-mixed-radiological-wastes#FandK> (accessed 11 October 2022).
8. Wnuk, P. (2020). The future of platemaking. *Labels & Labeling*. URL: <https://www.labelsandlabeling.com/features/future-platemaking> (accessed 1 October 2022).
9. *Projavnyk dlja vymyvannja zobrazhen' fotopolimernih drukars'kyh form* [Developer for erasing images of photopolymer printing forms] (UA Patent 71762 A). (15.12.2004). UA Patent. [in Ukrainian].
10. *Pro zatverdzhennja Gigijenichnyh reglamentiv dopustymogo vmistu himichnyh rehovyn u g'runti* [On approval of Hygienic regulations on the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas], 52 Order of the Ministry of Health of Ukraine (2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (accessed 1 October 2022). [in Ukrainian].
11. *Prystrij dlja vymyvannja fotopolimernih fleksografichnyh drukars'kyh form* [Device for washing photopolymer flexographic printing forms] (UA Patent 73008). (10.09.2012). UA Patent. [in Ukrainian].
12. Bellman, R., & Zadeh, L. (1970). Decision-Making in Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), 141–160.
13. Durnyak, B., Senkivskyi, V., & Pih, I. (2014). Informacijni tehnologii' prognozuvannja ta zabezpechennja jakosti vydavnycho-poligrafichnyh procesiv (metodologija vyrishennja problemy) [Information technologies prognostication and providing of quality publishing-polydiene processes (methodology of decision of problem)]. *Technological complexes*, 1(9), 21–24 [in Ukrainian].
14. Slobodianyuk, V. H., & Shibanov, V. V. (2011). Zmina v'jazkosti emul'sijnogo projavnyka v procesi vymyvannja fotopolimernih fleksografichnyh drukars'kyh form [The change in the viscosity of the emulsion developer in the process of washing out photopolymer flexographic printing forms]. *Scientific notes (Ukrainian Academy of Printing)*, 4, 312–317. [in Ukrainian].
15. Mamdani, E., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13.
16. Rothstein, O., Lariushkin, Ye., & Mityushkin, Yu. (2008). *Soft Computing v biotehnologii': bagatofaktornyj analiz i diagnostyka: monografija* [Soft Computing in biotechnology: multifactorial analysis and diagnostic: monograph]. Vinnytsia, Universum-Vinnytsia, 144 p. [in Ukrainian].