

УДК 678.742

Бухкало С.І., к.т.н., проф., **Іглін С.П.**, к.т.н., проф., **Ольховська О.І.**, ст. викладач
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
(НТУ «ХПІ»), м. Харків, Україна*

ДЕЯКІ МОДЕЛІ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ-МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО ПАКУВАННЯ ТА ТАРИ

Вступ. Ринок сировини великотоннажного полімерного пакування та тари (ППТ) для харчової та полімерної промисловості України є джерелом ресурсо- та енергозаощадження після закінчення першого циклу її експлуатації. Проблема стійкого росту споживання полімерних ресурсів тісно пов'язана з проблемами росту відходів ППТ після закінчення

терміну її експлуатації. Споживання полімерних матеріалів для пакування та тари пов'язано з задоволенням потреб людей, в тому числі з екологізацією утворення твердих побутових відходів (ТПВ) як кінцевої стадії циклу, встановлення відповідності між рівнем споживання та природно-ресурсного потенціалу території. Полімерна тара та пакування після циклу експлуатації при надходженні до складу ТПВ має екологічно шкідливий вплив об'єкта господарської та іншої діяльності, що приводить до значних, як правило, незворотних змін в природному середовищі і має негативний вплив на людину.

На наш погляд є можливості комплексного вирішення задач підвищення ефективності використання ППТ після закінчення терміну її експлуатації. Однією із складових комплексної хіміко-технологічної системи (ХТС) утилізації та використання ППТ після завершення циклу експлуатації є метод хімічного спінювання як складова визначення рівня наукової та професійної активності науко-педагогічного працівника вищого навчального закладу (ВНЗ), наприклад, з організації самостійної роботи студентів: організація студентської громадської (волонтерської) діяльності, яка має професійне спрямування; наявність науково-популярних та/або консультаційних (дорадчих) та/або дискусійних публікацій з наукової або професійної тематики; поєднання науково-педагогічної роботи та практичної фахової діяльності [1–3].

Актуальність. Загалом цей напрямок досліджень пов'язаний з удосконаленням технологій подовження терміну експлуатації ППТ, пошуком синергетичних процесів утилізації-модифікації з метою виробництва вторинної полімерної сировини або енергоресурсів. Такі комплексні технології забезпечують можливість використання властивостей полімерних матеріалів: тривалий термін експлуатації – для більшості полімерів це можливість переробки у виробу нового асортименту шість разів. При цьому з точки зору екологічної безпеки, наприклад, буферна здатність ґрунту підтримувати хімічний стан залишається на незмінному рівні – відсутній вплив на ґрунт потоком хімічної речовини.

Основна частина. Моделі ресурсо- та енергозощадження для ППТ потребують розробки методологічного підходу у процесах утилізації ТПВ, вони розглядаються як принципова методологічна орієнтація дослідження, яка базується на сукупності принципів, що визначають загальні цілі та стратегію відповідної діяльності. Взаємозв'язок понять «методологія» та «методологічний підхід» можна характеризувати як співвідношення основ та засобів: використання визначених методологічних підходів забезпечує реалізацію відповідних методологічних основ вивчення та перетворення явищ синергізму у технологічних процесах [4–7]. При цьому слід підкреслити, що екологічна безпека є абсолютним, вичерпним поняттям для всіх елементів системи навчання студентів ВНЗ за системою комплексних інноваційних проектів з екологічнобезпечного поводження з полімерним пакуванням та тарою після закінчення терміну їх експлуатації. Вочевидь, такий підхід можна взяти за основу розробки методологічних підходів до наукових досліджень при виявленні фундаментальних та прикладних аспектів і методів навчання теоретичної дисципліни «Загальна технологія харчових виробництв», «Математичне моделювання процесів та технології харчової технології», «Методи прийняття управлінських рішень», «Стратегічне управління організаційними змінами» «Фінансовий менеджмент», «Математична статистика» та ін. Теми комплексних інноваційних проектів «Дослідження техніко-екологічних можливостей енергетичного міксу», «Загальні методи прийняття управлінських рішень для інноваційних підприємств», «Менеджмент та маркетинг як шлях до розвитку альтернативних джерел Україні» та «Економіко-правові характеристики комплексного процесу енергетичного міксу з урахуванням альтернативних джерел енергії». Такі проекти мають статус актуальних проблем сучасності, зв'язаних, перш за все, з високими цінами на енергоносії та потребують участі студентів на усіх стадіях виконання [1–10]. Екологічна безпека визначена у цих випадках як: 1) сукупність дій, станів і процесів, які прямо або посередньо не призводять до життєвоважливих збитків у природному середовищі, для окремих людей і людства; 2) комплекс станів, явлень та дій, що забезпечує екологічний баланс на Землі та в будь-яких її регіонах на рівні, до якого фізично, соціально-економічно, технологічно та політично є готовим людство.

До комплексної технології синергетичних процесів ресурсо- та енергозощадження полімерної тари та пакування після циклу експлуатації входять як фізико-механічні так і фізико-хімічні механізми та процеси утилізації-модифікації хіміко-технологічної системи (ХТС). Формально технологічну структуру комплексної ХТС (G_k) утилізації полімерної частки ТПВ можна означити числом елементів визначеного конструкційного або технологічного типу (n_e), у яких проходять хіміко-технологічні процеси (g_e) за визначеними закономірностями взаємозв'язків між окремими елементами (Р) та числом технологічних потоків (n_p): $G_k = G_k \{n_e(g_e), P, n_p\}$. Після проведення стадії ідентифікації-класифікації необхідним процесом є наукове обґрунтування комплексної ХТС з метою визначення джерел утворення відходів за галузями первинного використання ППТ, при чому об'єм ППТ не перевищує можливість об'єму їх переробки, наприклад: 1) багаторазовий рециклінг ППТ у якості вторинних матеріальних ресурсів для фізико-механічної переробки-утилізації або для синергетичної фізико-хімічної утилізації-модифікації; 2) кінцевий рециклінг ППТ для вторинних матеріальних ресурсів кінцевої стадії у зв'язку з безоборотною зміною властивостей первинного полімеру і т. ін. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як організація збирання і транспортування відходів, їх класифікація-ідентифікація та методи контролю якості за розробленими нами методиками, вибір науково-обґрунтованих методів переробки та утилізації ППТ після циклу експлуатації; розробка необхідних параметрів технологічних схем хімічного спінування і т. і. Контроль синергетичних процесів ми проводили за основними фізико-хімічними показниками властивостей ППТ (поліолефінової складової) – зміна кількості киснеутримуючих в натурних умовах поліетиленової плівки (карбокислих; складноєфірних), ненасичених та метильних груп, а також за структурно-механічними та фізико-механічними показниками, кількості гельфракції, реологічних характеристик, молекулярної маси та ін. Відповідно до зміни властивостей ППТ при експлуатації, процеси зміни її якості підрозділяють на агрегативні, пов'язані із процесами зшивки, і деструктивні, пов'язані з розпадом макромолекул на більше дрібні фрагменти [5–7]. Вже після першого місяця експлуатації утворюється значна кількість гельфракції, висока швидкість утворення зшитою частини підтверджується різким зниженням плинності розплаву. Порівняння даних по експлуатації поліетиленової плівки в літні та осінні місяці дозволяє зробити висновок, що в процесі експлуатації сонячна радіація має велике значення. Властивості спінених вторинних полімерів, фізико-механічні, фізико-хімічні, теплофізичні і т.д., здебільшого залежать від способів первинної експлуатації виробів, і визначаються, в основному, утворенням газової фази в пінопласті при наявності структурних змін. Тому однією з найважливіших характеристик спінених пластмас є уявна густина та розміри комірчастої структури. Для забезпечення якісних властивостей, наприклад, вторинного поліетилену (ВВПЕ) та з метою розширення асортименту виробів з нього при максимальному економічному ефекті спінений матеріал повинен мати комірчасту структуру з рівномірно розподіленими сферичними порами. Для дослідження використовували розроблений нами напрямок одержання й переробки вторинних полімерів з урахуванням можливостей синергетичних хімічно-структурних процесів – підсумковим ефектом взаємодії, як мінімум двох факторів, які характеризується тим, що їх дія істотно перевершує ефект кожного окремого [8–10]. Для розробки процесу спінування вторинного поліетилену, отриманого на основі об'єкта дослідження – поліетиленової плівки (табл. 1) тривалої експлуатації, використовували методи повного факторного експерименту (ПФЕ). Досліджували **середній діаметр комірок (см) ВВПЕ**, прийняте в якості вихідного параметра Y (%). ВВПЕ (ОСТ 63–786–72) додатково контролювали за кількістю гельфракції, карбонильних, карбокислих і складноєфірних груп. У якості ГР використовували азодикарбонамід (ЧХЗ-21), до складу комплексу з активації процесу спінування входить оксид цинку, стеаринова кислота та стеарату кальцію.

Таблиця 1 – ПФЕ для функцій відклика

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
1	+	+	+	+	+	+	+	+	0,0173
2	+	-	+	+	-	-	+	-	0,0179
3	+	+	-	+	-	+	-	-	0,0184
4	+	-	-	+	+	-	-	+	0,0158
5	+	+	+	-	+	-	-	-	0,0180
6	+	-	+	-	-	+	-	+	0,0155
7	+	+	-	-	-	-	+	+	0,0138
8	+	-	-	-	+	+	+	-	0,0153

Фактори (табл. 1) були параметри проведення процесу спінювання: X_1 – кількість комплексу для активації, %; X_2 – температура спінювання, °C; X_3 – час витримки при температурі спінювання, хв. Вихідні дані: $X_{10}=3$; $X_{20}=170$; $X_{30}=15$; $\Delta X_1=1$; $\Delta X_2=10$; $\Delta X_3=5$.

Для першої функції відгук описує лінійна модель (1.1):

$$Y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (1.1)$$

Параметри лінійної моделі та їх довірчі інтервали представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри лінійної моделі та їх довірчі інтервали

Параметр	Нижня границя	Значення	Верхня границя
b_0	0,01510054	0,0165	0,01789946
b_1	-0,00102446	0,000375	0,00177446
b_2	-0,00072446	0,000675	0,00207446
b_3	-0,00054946	0,00085	0,00224946

З довірною ймовірністю 95% довірні інтервали для b_1 , b_2 , b_3 охоплюють нуль. Уточнена математична модель (1.2) має вигляд:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3, \quad (1.2)$$

має такі параметри та довірні інтервали (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри уточненої моделі та довірні інтервали для них

Параметр	Нижня границя	Значення	Верхня границя
b_0	0,00506442	0,0165	0,02793558
b_1	-0,01106058	0,000375	0,01181058
b_2	-0,01076058	0,000675	0,01211058
b_3	-0,01058558	0,00085	0,01228558
b_4	-0,01133558	0,0001	0,01153558
b_5	-0,01131058	0,000125	0,01156058
b_6	-0,01186058	-0,000425	0,01101058

Долучення для дослідження ще однієї, восьмої базисної функції $x_1x_2x_3$, перетворює задачу на інтерполяційну: функція відгуку Y буде точним аналітичним виразом (1.3):

$$Y = 0,165 + 0,000375x_1 + 0,000675x_2 + 0,00085x_3 + 0,0001x_1x_2 + 0,000125x_1x_3 - 0,000425x_2x_3 - 0,0009x_1x_2x_3, \quad (1.3)$$

Слід відмітити відсутність довірних інтервалів у цьому випадку розрахунків.

На рисунках 1–3 показані досліджені нами двовимірні перерізи функції відгуку при сталому (мінімальному або максимальному) значенні однієї якоїсь змінної.

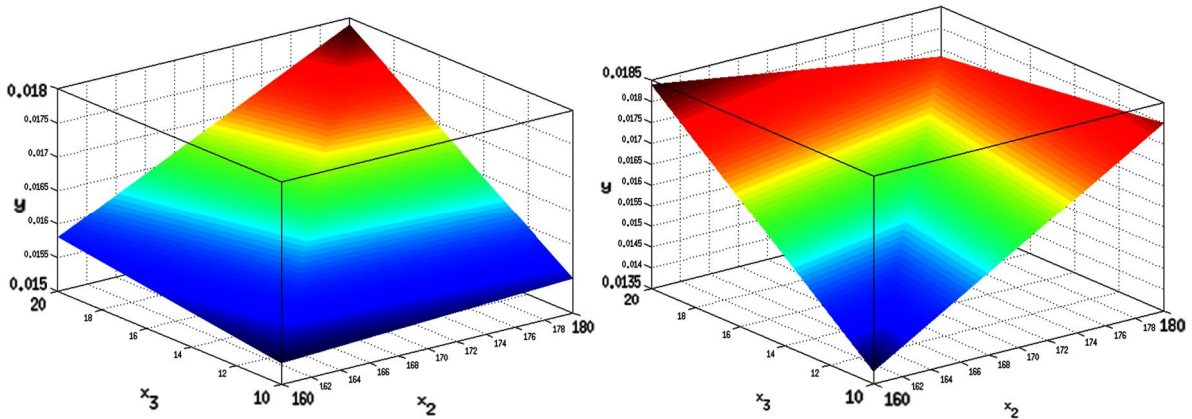


Рисунок 1 – Моделі впливу параметрів спіювання X_1 для функції відгуку Y

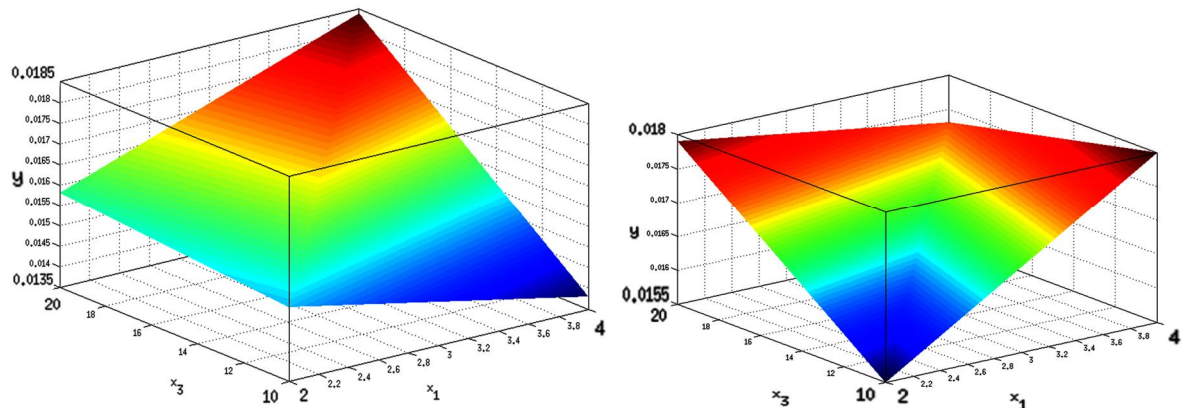


Рисунок 2 – Моделі впливу параметрів спіювання X_2 для функції відгуку Y

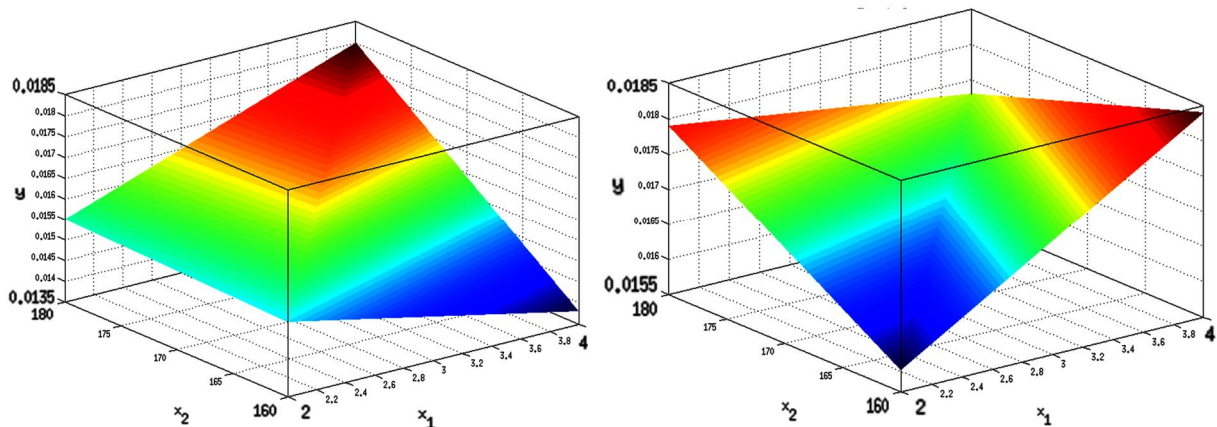


Рисунок 3 – Моделі впливу параметрів спіювання X_3 для функції відгуку Y

При цьому оптимальний набір параметрів переробки (спіювання) ВПЕ буде обумовлений координатами площини для різновидів дослідження:

$Y = f(X_2 X_3)$ (рис. 1), відповідно праворуч при $X_1 = 2$ і ліворуч – $X_1 = 4$;

$Y = f(X_1 X_3)$ (рис. 2), відповідно праворуч при $X_2 = 160$ і ліворуч – $X_2 = 180$;

$Y = f(X_1 X_2)$ (рис. 3), відповідно праворуч при $X_3 = 10$ і ліворуч – $X_3 = 20$.

Висновки. Проведений нами аналіз складових розробки моделей ресурсо- та енергозаощадження для полімерної тари та пакування з метою пошуку оптимальних варіантів комплексних безвідходних технологій утилізації-модифікації та переробки дозволяє запропонувати наступну послідовність науково-обґрунтованих синергетичних процесів ХТС:

- розробка способів та методів утилізації великотоннажних різновидів ППТ – їх попередня класифікація-ідентифікація [2, 3];

- виявлення науково-обґрунтованих показників якості ППТ та залежність їх зміни у процесі експлуатації у натурних умовах [1–3, 5];
- виявлення принципових можливостей та недоліків існуючих технологій з обліком всіх розглянутих принципів, визначення вихідних потоків системи, які мають потребу в очищенні або мають продукти для синергетичних процесів утилізації-модифікації [5, 7];
- визначення основних причин, що перешкоджають модернізації існуючих виробництв із метою створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів [1–10];
- розробка нових методів одержання цільового продукту або вдосконалення одного з існуючих, що задовольняє принципам створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів;
- розробка декількох варіантів безвідхідних технологій з обліком обраного нового методу – рециклінг-повторна переробка або кінцева утилізація-енергоресурси; вибір пріоритетної технології для кожного різновиду ППТ з погляду основних економічних показників і мети – створення безвідхідних технологічних процесів і комплексів.

Література

1. *Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Ведь В.Є., Бухкало С.І.* Напрямки розвитку Української асоціації хімічної і харчової інженерії // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2017. – № 18 (1240). – с. 3–8.
2. *Бухкало С.І.* Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ «ХПІ». 2014. – № 4. – с. 29–33.
3. *Бухкало С.І.* Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – Київ «Центр учбової літератури». 2014, – 456 с.
4. *Бухкало С.І.* Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – Київ «Центр учбової літератури». 2014, – 412 с.
5. *Бухкало С.І.* Моделі енергетичного міксу для утилізації полімерної частки ТПВ // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2016. – № 19 (1191). – с. 23–32.
6. *Бухкало С.І., Іглін С.П., Ольховська О.І., Соловей В.Н.* Комплексні методи навчання як основа розвитку фахових компетентностей ВНЗ в НТУ «ХПІ» // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2017. – № 18 (1240). – с. 9–19.
7. *Бухкало С.І.* Особливості моделей утилізації різновидів полімерних відходів. Вісник НТУ «ХПІ». Х. : НТУ «ХПІ», 2016. № 19(1191). – С. 11–17.
8. *Бухкало С.І.* Складові екологічно-інформаційної безпеки комплексних проектів // Міжн. н-практ. конф. «Хімічна технологія та інженерія», – Львів, 2017. – С. 332–333.
9. *Бухкало С.І.* Технології ресурсо- та енергозбереження для полімерної тари та пакування. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності. Матеріали У Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції. 14 вересня 2016 р., Київ. - К. НУХТ, 2016. – с. 21-23
10. *Бухкало С.І.* Деякі моделі процесів хімічного спінювання вторинного поліетилену // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». 2017. – № 18 (1240). – с. 35–45.