

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ПЛІВКОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

Бухкало С.І., канд. техн. наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Утилізація та переробка полімерних відходів у статті представлена як комплексне дослідження та аналіз енерго- і ресурсозберігаючих процесів переробки полімерних відходів різного походження. Дослідження спрямовані на вивчення таких питань як: класифікація полімерних відходів; вибір науково-обґрунтованих методів переробки при утилізації полімерів; розробка необхідних технологічних схем з урахуванням особливостей обладнання для переробки полімерних відходів; вибір підприємств для реалізації утилізації полімерів і виду енергетичних ресурсів для цих проектних рішень.

The problem of wastes utilization and recycling is present as complex research and analysis of energy- and resource saving processes for treatment of polymer wastes of various origin. The investigation are focused in researching such problems as organization of waste collection, identification of wastes according to adapted polymers classification; selection of scientific based methods of wastes to be utilized or recycled; the development of appropriated process flow sheets and choice equipment for polymers waste recycling. The choice of appropriate plants with selected energy resources is very important for projects realization.

Ключевые слова: полимерные отходы, энерго и ресурсосберегающие процессы, технология идентификации, утилизация, твердые бытовые отходы, комплексные инновационные проекты

Вступ. Процеси поховання твердих побутових відходів (ТПВ), протиріч безпечним процесам утилізації, незважаючи на їх значний ресурсний потенціал, становлять потенційну загрозу здоров'ю людини. Забруднення відбувається не тільки в безпосередній близькості від звалищ, у разі зараження ґрунтових вод і повітря, ураженою може виявитися величезна територія. Основне завдання, що стоїть перед системами утилізації ТПВ – це науково-обґрунтований вибір технологій для інноваційних проектів з метою забезпечення мінімуму або повної відсутності викидів, а також виробництва максимуму цільових кінцевих продуктів або сировини. Найбільш повно ці завдання можуть бути досягнуті при використанні системи сортування, ідентифікації та роздільної переробки різновидів відходів, зокрема, плівкової полімерної тари та упаковки (ППТУ) за допомогою сучасних технологій. В комплексне попереднє дослідження з метою проведення енерго- і ресурсозберігаючих процесів переробки полімерних відходів різного походження як складової частини ТПВ, необхідно включати їх фізико-хімічний і фізико-механічний аналіз, а також технологічні, технічні, екологічні та соціальні складові з урахуванням особливостей енергоефективної роботи обладнання.

Аналіз передумов розробки процесів переробки плівкових полімерних відходів. Розробка процесів переробки ППТУ нерозривно пов'язана з їх миттям і подальшим сушінням, отже, і з вивченням основних закономірностей тепло- і вологопереноса в полімерних відходах, як складової ТПВ. Сукупність зв'язів з тепло- і вологопереноса ППТУ, їх фізико-хімічних властивостей та форми зв'язку вологи з вологими матеріалами дає можливість визначити оптимальний режим переробки полімерного матеріалу отриманого з ТПВ за розробленими нами алгоритмами ідентифікації (рис. 1). Основні специфічні можливості процесів і апаратів в технології утилізації полімерних відходів як складової частини ТПВ для оптимально організованого комплексного інноваційного проекту позначені необхідними показниками [1, 2]. Слід зазначити, що в даний час існує ряд корисних способів зберігання і переробки твердих побутових відходів, але вони, строго кажучи, далекі від науково-обґрунтованих і сучасних: попереднє сортування, санітарна земляна засипка, спалювання, біотермічне компостування, низькотемпературний піроліз, високотемпературний піроліз. Відповідно з постановкою завдання досліджень пропонується новий підхід до організації технологічних процесів переробки полімерних відходів з урахуванням отриманих нами теоретичних і практичних результатів [3–5].

Матеріали і результати досліджень. Нами досліджено зміну вмісту кисневмісних, а також ненасичених груп (табл. 1) в процесі експлуатації ППТУ, яка зростає за чотири місяці в 1,7 рази в результаті дії різних факторів: ненасичені групи з'являються в результаті диспропорціонування радикалів, що утворилися в процесі деструкції. Звертає на себе увагу зменшення вмісту метильних груп в умовах експлуатації в літні місяці з 5,67 до 3,7 на 100 атомів вуглецю з місяця в місяць. Не виключена можливість відщеплення водню від метильної групи з утворенням радикала, що приймає надалі участь у процесах радикально-ланцюгової окисної деструкції. Слід зазначити, що за результатами наших досліджень, максималь-

ний сумарний вміст кисню в процесі експлуатації в літні місяці досягається за 90 діб. Можливо, що це максимальний вміст є межею. Відомо, що кисень дифундує переважно в аморфні області [2, 6], де вільний об'єм більший, ніж у кристалічних областях. Аморфні області займають від 40 до 50% об'єму зразка, вони можуть бути розподілені у всій масі, пронизуючи плівку на всю товщину.

Таблиця 1 – Зміна кількості ненасичених груп та молекулярної маси в поліетиленовій плівці

Час експлуатації, діб	Вміст ненасичених груп на 100 атомів вуглецю					Молекулярна маса $\times 10^{-3}$
	Вінільна	Вініліденова	Трансвініленова	Підсумок	Метильна	
0	0,0142	0,0974	0,0113	0,1230	5,6720	46
30 літо	0,0192	0,0620	0,0125	0,0940	5,0910	44
62 літо	0,0583	0,0558	0,0290	0,1430	4,5210	43
128 літо	0,1385	0,0400	0,0300	0,2085	3,6980	18
30 осінь	0,0164	0,0769	0,0154	0,1087	4,9520	45
90 осінь	0,0111	0,0636	0,0145	0,0892	4,9630	43

Отримані дані дозволили визначити нам число кисневмісних груп, що припадають на одну ланку поліетилену: $P = 2,21 \cdot 28 / (100 \cdot 16) = 0,39$ тобто в 100 ланках міститься 3,9 кисневмісних ланки [2, 5], а на сегмент припадає близько 1,3 кисневмісних ланки. Кисневмісні ланки повинні бути переважно в аморфній частині полімеру, але цілком можливо є наявність їх в кристалічній частині, як при обриві на виході з кристалічної в аморфну частину, так і в дефектах кристалічної частини. Природно припустити, що при окисленні обрив ланцюга відбувається переважно при переході ланцюга з кристалічної в аморфну частину. Деформація виступаючої з кристалічною частини ланцюга велика і ділянка ланцюга в цій зоні подібний консольно-закріпленій балці. Обрив ланцюга може бути підтверджений помітним зниженням молекулярної маси розчинної частини поліетилену в процесі експлуатації (табл. 1).

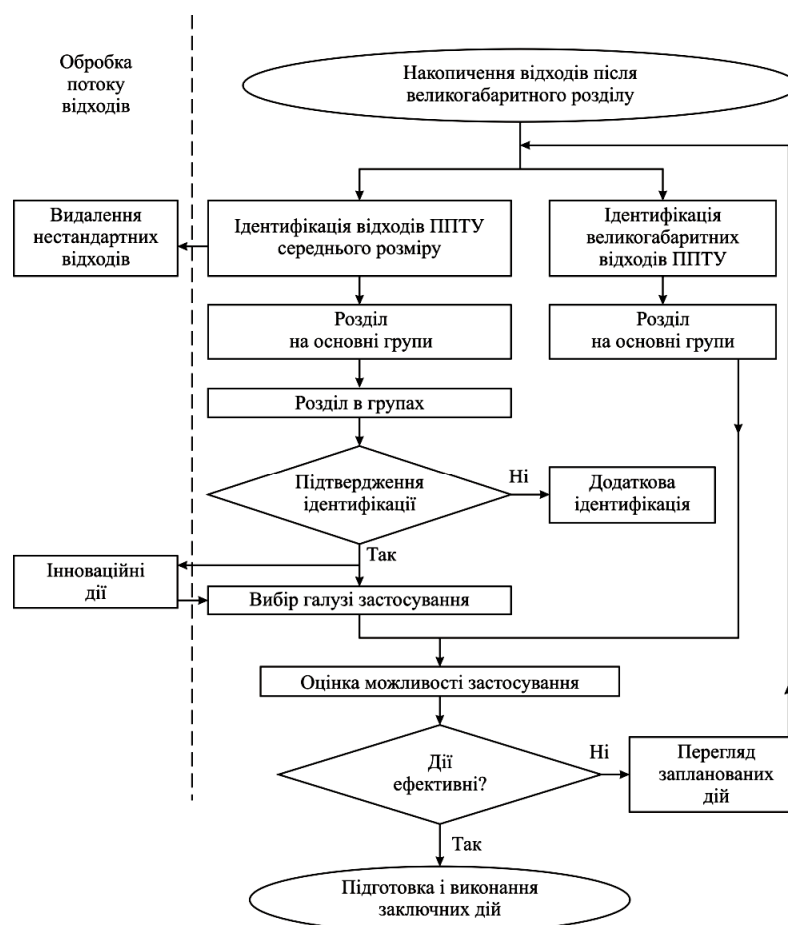


Рис. 1 – Алгоритм процесів ідентифікації ППТУ

З метою переробки ППТУ нами розглядається одностадійна утилізації, а саме технологія їх агломерування (рис. 2 та 3).

В агломераторі здійснюються наступні операції: розігрів матеріалу до температури пластичності; дроблення і довідмивка; сушка і агломерація (рис. 1), він зручний для переробки полімерної упаковки, так як вона не має суттєвих забруднень і не вимагає попереднього великого подрібнення. Основні показники процесу агломерації (рис. 2) – забрудненість (крива 4, %) і вологість плівки (крива 3, %) разом з технологічними показниками процесу – температурою води (крива 2, °C) і споживаної потужністю (крива 1, %) дані в координатах часу, з розбивкою часу за стадіями. Ріжучим робочим органом агломератора є ножі, встановлені на лопатях мішалки. При швидкому обертанні ножі подрібнюють матеріал, а безперервна подача води, одночасно, здійснює відмивання. Такий метод поєднання дроблення і відмивання знижує залишкову забрудненість матеріалу до 0,15 %, тоді, як при інших способах відмивання забрудненість була на порядок вищою. Відмивання проходить протягом усього часу дроблення матеріалу. Після завершення дроблення і відмивання, припиняють подачу промивної води, при цьому промивна вода, що залишилася, відцентровою силою віджимається через спеціальні отвори, прикриті сіткою в нижній частині корпусу. Залишкова вологість, залежно від розмірів подрібнених частинок становить від 20 до 40 %. Після відмивання починається найбільш енергоємна стадія процесу – сушка. Тривалість її визначається вологістю матеріалу і потребами потужності. Доцільно використовувати по можливості менш вологий матеріал при найбільш повному завантаженні апарату. Часто енергія витрачається на розігрів матеріалу шляхом тертя. Швидкість розігрівання і сушки залежать також від геометрії робочих органів і ступеня заточки ножів.

Дроблення і агломерація це поєднані операції, дроблення в пластичному стані припускає дорозігрів після сушіння. Сушка агломерату (рис. 2) закінчується повністю на 30 хвилині, після цього з'являється другий пік розігріву (крива 2) і другий максимум споживання потужності, що пов'язано з подрібненням в пластичному стані. Що стосується відмивання, то воно, в основному, завершується на 14 хвилині, подальша обробка, практично, не відбивається на забрудненості матеріалу. Процес агломерації завершується уприскуванням невеликих кількостей води для зниження температури агломерату та фіксації розміру часток.

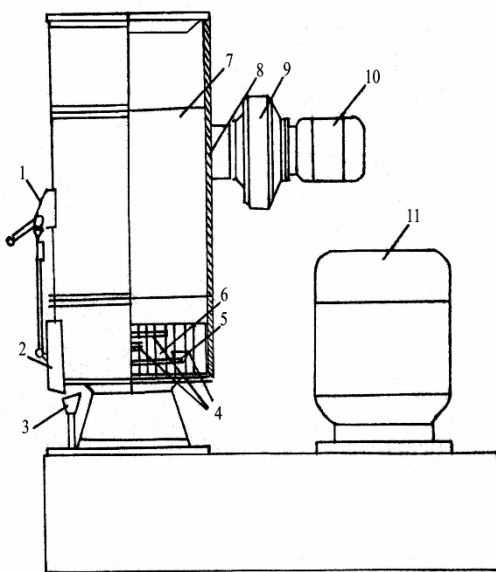


Рис. 2 – Роторний агломератор з приводом

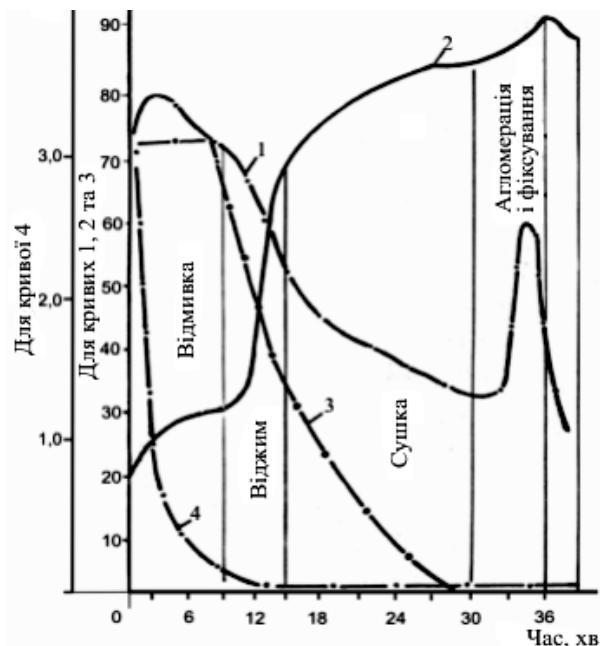


Рис. 3 – Параметри режимів роботи агломератора

При збільшенні розмірів агломератора витрата потужності буде трохи знижуватися, тому що при збільшенні розмірів будуть знижуватися питомі тепловтрати внаслідок зменшення питомої бічної поверхні апарату. Зміна потужності в залежності від числа обертів (n) і розмірів лопаті (d) росте пропорційно добутку d^5 і n^3 . Але, поряд з цим, продуктивність зростає пропорційно d^3 , а число обертів ротора має знижуватися пропорційно d для збереження постійної окружної швидкості. Тому, розраховані значення питомої витрати енергії на подрібнення не залежать від розміру апарату, а залежать тільки від зміни питомої поверхні матеріалу.

Слід зазначити, що при зберіганні і транспортуванні відходів ППТУ до місця їх переробки, як прави-

ло, відбувається забруднення матеріалу. Тому в технологічному циклі перед агломерацією необхідні процеси видалення домішок. Якість агломерату, отриманого з висушених відходів, вище в порівнянні з агломератом з мокрих відходів (табл. 2). Причому найбільше це можна відзначити для поліетилену ніж для поліпропілену.

Таблиця 2 – Зміни фізико-механічних та хімічних властивостей ППТУ

Матеріал	Кількість складно-ефірних груп, %	Відносне подовження при розриві, %	ПТР вторинної сировини, г/10 хв	Насипна щільність, г/см ³
Поліетилен первинний	0	600	1,8–2,0	0,50
Агломерат з вологої плівки	0,52	310,6	0,92	0,36
Агломерат з сухої плівки	0,45	352,0	0,77	0,38
Поліпропілен первинний	0	200	2,4–5,0	0,48–0,5
Агломерат з вологої плівки	0,32	98,9	4,33	0,38
Агломерат з сухої плівки	0,29	105,0	3,76	0,42

При дослідженні зразків, виготовлених з агломерату, отриманого агломерацією плівкових відходів, з вологістю до 5 % зниження міцнісних характеристик не виявлено. Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що поєднувати процеси агломерації з сушкою (при вологості вище 5%), недоцільно через можливість зниження якості отриманої вторинної сировини, або необхідно проводити цей процес з введенням антиоксидантів, які сприяють збереженню якості полімерних відходів упаковки.

Висновки. Таким чином, особливості процесів утилізації ППТУ для оптимально організованого комплексного інноваційного проекту зв'язані з наступними питаннями:

1) високий ступінь компетентності в процесах ТПВ ще на початкових стадіях виготовлення виробів і, як правило, достатній практичний і теоретичний досвід з питань вирішення нестандартних рішень утилізації полімерних відходів;

2) напрямком отримання вторинних полімерів на комплексних підприємствах із залученням методів математичного моделювання для оптимізації процесів є найбільш перспективним з точки зору ресурсозбереження, що дозволить розширити сировинну базу для виробництва виробів і підвищить ефективність використання сировини на основі вивчення властивостей відходів різного походження, їх складу, можливості організованого збору і спрямованої модифікації;

3) у запропонованих комплексних системах можливе створення безвідходних оптимальних технологічних процесів на існуючих підприємствах хімічної промисловості, які в даний час завантажені не на 100 %;

4) систему утилізації ТПВ і, зокрема, полімерних відходів, не можна розглядати як чисто технологічну, намагаючись аналізувати і враховувати в еволюції її розвитку логіку, яка підпорядковується міркуванням виключно технологічної або техніко-економічної доцільності;

5) необхідно зазначити, що система утилізації полімерних відходів і вибір промислових об'єктів для реалізації цих процесів є найважливішим важелем соціальної політики в руках регіональних органів влади, які формують якість життя населення і зобов'язані займатися екологічними питаннями в тому чи іншому регіоні.

Література

1. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник / С.І. Бухкало. – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 456 с.
2. Бухкало С.И. Исследование методов переработки отходов термопластов и композиционных материалов на их основе. Отчет о НИР, НТУ «ХПИ», Харьков, № ГР 01850021487, 1990.
3. Л. Штарке. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. – Л.: Химия, 1987. – С. 176.
4. Бухкало С.И. Изменение свойств в процессе эксплуатации пленки и направленная модификация вторичного полиэтилена ; дис. ... канд. техн. наук. М., 1988.
5. Бухкало С.И. Деякі аспекти екологічної безпеки полімерної тари та пакування харчової промисловості / Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2014. Вип. 45. Т. 3. – С. 76–79.
6. Полиэтилен и другие полиолефины / Под ред. Козлова П.В. и Платэ Н.А. – М. : Мир, 1964. – С. 322, 366.