

Бухкало С.И.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ

Мировое сообщество более 30 лет отработывает подходящие системы утилизации упаковки, и современное регулирование этой сферы – одна из главных проблем экологической безопасности планеты. Украина ищет пути выработки собственных схем переработки полимерных отходов, имея достаточные научные разработки и обобщая успешный опыт стран, где функционируют национальные программы, в основу которых положен принцип «Платит тот, кто загрязняет». Простейшая схема образования вторичного сырья показывает возможность увеличения ресурсов сырьевой базы полимеров (рис. 1).



Рисунок 1 – Функциональная схема образования вторичного сырья

Сбор и утилизация бытовых отходов, в том числе и упаковки, за рубежом осуществляется двумя способами. Один из них (немецкая модель) – утилизация упаковочных материалов оплачивается из средств производителей товаров, использующих эту упаковку. Это одна из первых систем по сбору упаковки в мире и очень дорогая. Вторым способом (французская модель) – утилизация также субсидируется производителями товаров, но эти средства перечисляют по прямым соглашениям в городской бюджет. Города ежегодно получают средства на сбор и утилизацию отходов и заключают соглашения с соответствующими предприятиями. Эта модель успешно внедрена в ряде стран Восточной Европы.

Для Украины второй способ наиболее приемлемый, так как фактически в каждом городе есть предприятия, выпускающие и использующие полимерную упаковку, и необходимо только применить имеющиеся научные разработки[1-3], а оборудование для повторной переработки упаковки разработано и выпускается (рис. 2).

Зарубежная практика показывает, что фирмы, которые занимаются рециклингом полимерной упаковки, весьма успешны и их вклад в охрану окружающей среды несомненен, а также они повышают занятость населения.

Необходимо также учитывать материальные и энергетические ценности, заключенные в использованной упаковке, тогда относительно небольшие затраты на ее переработку, определяют существенную экономию средств. Известно, что получение пластмассового сырья чрезвычайно энергоемко (табл. 1).

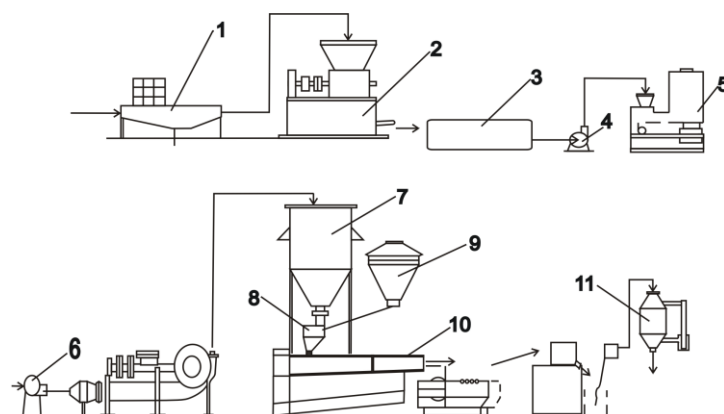


Рисунок 2 – Технологическая схема переработки полимерных отходов: 1 – стол разборки сырья; 2 – установка для предварительного измельчения пленки; 3 – ванна; 4 – пневмотранспорт; 5 – установка для непрерывной отмывки; 6 – вихревая сушилка; 7,9 – бункер; 8 – питатель дозатор; 10 – линия гранулирования вторичных термопластов; 11 – сушилка гранулята

Таблица 1 – Потребление энергии (кВтч/т) для производства пластмасс

Пластмассы	Общая энергия		Энергия для полимеризации	Энергетический эквивалент	Энтальпия горения
Полиэтилен высокой плотности	13,670	8,840	10,110	20,850	12,010
Полиэтилен низкой плотности	8,187	6,830	4,600	18,900	12,070
Полипропилен	8,240	8,070	4,700	20,020	11,950
Поливинилхлорид	9,490	9,180	2,300	14,180	5,000
Полистирол	18,905	10,840	10,500	21,960	11,120
Полиамид П-6	–	38,170	–	46,150	7,980
Полиметиленоксид	–	28,410	–	32,80	4,390

Энергетический эквивалент включает и энергию, затраченную на крекинг сырой нефти, вспомогательные технологические процессы и добавочные вещества, транспортные расходы и энергию, необходимую для вещества; энтальпия горения является выражением содержания энергии в веществе. Приведенные данные [4] являются важным основанием для принятия решения о переработке полимерной упаковки. Если полимерные материалы подвергают вторичной переработке, то энергетический эквивалент повышается приблизительно в 4-4,5 раза в зависимости от применяемого способа переработки. Вторичная переработка полимерной упаковки требует незначительного потребления энергии, если же эти материалы использовать, например, для пиролиза, то можно получить от 35 до 65 % энергетического эквивалента. Необходимо также указать на то, что в настоящее время полимерное сырье, в основном, это импортное сырье.

В настоящее время широко популяризируется производство экологически чистой биоразлагаемой упаковки. Биоразлагаемые полимеры – вещества, разложение которых происходит под воздействием бактерий, грибов и водорослей. Биоразлагаемая упаковка может быть синтезирована как из нефти, так и с применением биополимеров, а также по комбинированным технологиям. Скорость разложения такой упаковки зависит от ряда факторов: типа полимера; вида и концентрации веществ, разлагающих полимер; влажности, температуры, условий хранения и эксплуатации и других непредвиденных реакций упаковки и продуктов, хранящихся в ней. Самые распространенные биополимеры: целлюлоза, полиэфиры, полигидроаконаты, поливиниловый спирт, поликапролактан, полилактозная кислота, полиэтилен, полиуретаны и другие. Эта концепция имеет ряд серьезных вопросов для предварительного исследования:

- возможные взаимодействия упаковки и продуктов, которые в ней хранятся;
- экономическая целесообразность, так как затраты на производство полимеров не делятся на рециклы;
- экологическое воздействие разлагающейся упаковки;
- исследование конечного продукта деструкции;
- необходимость четких инструкций по условиям хранения и эксплуатации.

Вызывает много вопросов и разработка нового типа упаковки из водорастворимой поливинилового пленки.

Рациональная организация заготовки полимерной упаковки из термопластов должна отвечать следующим требованиям:

- четкие ограничения по ассортименту заготавливаемых отходов;
- отсутствие загрязненности и инородных веществ;
- соблюдение требований экологической и пожарной безопасности, охраны труда;
- регламентация прав и обязанностей всех участников подготовки и переработки полимерных отходов;
- минимизация экономических и материальных затрат;
- стабильность работы всех звеньев цепи переработки.

Быстрое окисление пленок из полипропилена связано с наличием хромофорных групп, образующихся во время процессов полимеризации или при переработке полимера. Оставшиеся в полимере примеси, например соединения титана и алюминия, вводимые при синтезе полимера, могут также давать аналогичные эффекты.

Конкуренция реакций деструкции и сшивания в процессе эксплуатации полимеров зависит от температуры, наличия кислорода, скорости зарождения радикалов, степени окисления и других факторов. Поэтому один и тот же полимер в зависимости от условий эксплуатации или переработки может либо сшиваться, либо деструктурировать, либо незначительно изменять свои свойства. Большинство полимеров (полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиизобутилен, полиамид, их сополимеры и др.) в условиях термоокислительного старения деструктурируют. Однако, при высоких температурах, в условиях недостатка кислорода или в диффузионном режиме эти полимеры могут сшиваться благодаря тому, что изменяется состав радикалов и возрастает вклад алкильных или аллильных макрорадикалов в реакции рекомбинации.

Если в полимере имеются (или образуются при старении) спиртовые и кислотные функциональные группы, то реакции этерификации сшивают полимер сложноэфирными связями. По этой причине на глубоких стадиях окисления во многих полиолефинах начинают преобладать процессы сшивания.

Экспериментально наблюдается и сужение молекулярно-массового распределения в зависимости от полимера и условий его эксплуатации. При окислении полипропилена функция молекулярно-массового распределения сужается и смещается в сторону меньших молекулярных масс. В полиэтилене ширина изменяется мало, но распределение также смещается к малым молекулярным массам. Напротив, например, при термическом старении (в атмосфере аргона) поливинилхлорида ширина функции молекулярно-массового распределения увеличивается, и распределение смещается в сторону высоких молекулярных масс. В некоторых случаях в процессе окислительного старения появляется бимодальное или даже мультимодальное молекулярно-массовое распределение.

Облучение полиолефинов ультрафиолетовым светом на воздухе приводит к быстрому фотоокислению с заметным ухудшением механических и физических свойств полимера. Процессы фотодеструкции и фотоокисления приводят к образованию кислородсодержащих групп. При этом быстро снижается молекулярная масса, косвенной характеристикой изменения которой является характеристическая вязкость.

Для характеристики степени окисления полипропиленовых отходов были выбраны методы количественного определения кислородсодержащих групп: карбоксильных, сложноэфирных и гидроксильных, а также изменение характеристической вязкости растворов полимера в декалине при температуре 135 °С (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение количества кислородсодержащих групп и молекулярных характеристик

Материал	Количество групп, мг КОН/г			Характеристическая вязкость
	карбоксильных	сложноэфирных	гидроксильных	
Полипропилен, жгут	нет	нет	нет	1,6657
Полипропилен, регенерат	8,2	22,3	10,8	1,4264
Полипропилен, упаковка	нет	18,2	нет	1,8082
Полипропилен-новый воск	72,9	62,0	нет	1,2513

Проведенные исследования показали, что полипропиленовая упаковка после эксплуатации меняет лишь незначительно свои свойства и может быть переработана в изделия.

Необходимо отметить, что нет четкой классификации полимерной упаковки для пищевых продуктов с учетом ее нового, быстро развивающегося рынка. Следовательно, нужно разработать классификацию и методы контроля свойств различных видов полимерной упаковки. Это позволит разработать технологические регламенты для многократного использования полимерной упаковки, так как сейчас самое популярное решение – на свалку, количество которых вокруг украинских городов неуклонно растет.

Таким образом, только комбинация нескольких взаимосвязанных мероприятий и технологий может способствовать эффективному решению проблемы утилизации отходов. Необходима четкая классификация видов отходов и рекомендации по утилизации каждой группы отходов.

#### Литература

1. Ренби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. – М.: Химия, 1978. – С. 65.
2. Бухкало С.И. Ресурсосберегающие технологии использования полимерных отходов. Інтегровані технології та енергозбереження, Харків: НТУ „ХПІ”, №2, 2001.
3. Бухкало С.И. Исследование методов переработки отходов термопластов и композиционных материалов на их основе. Отчет о НИР, НТУ «ХПИ», Харьков, №ГР 01850021487, 1990.
4. Л. Штарке. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. – Л.: Химия, 1987 – С. 176.

УДК 678.073.002.68

Бухкало С.І.

### **ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПОЛІМЕРНОЇ УПАКОВКИ**

У роботі запропоновано напрямки використання різноманітних видів полімерної упаковки харчових продуктів на основі аналізу змін властивостей у процесі переробки та експлуатації. Наведено результати фізико-хімічних та молекулярних досліджень виробів, з поліпропілену, які мають різний строк експлуатації, зроблено висновки про механізми зміни властивостей виробів та запропоновано методи їх переробки.