

УДК 678.073.002.68

Бухкало С.И.

### **К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ**

Постоянно развивающийся и совершенствующийся рынок товаров коррелирует с динамикой роста сопутствующего рынка – рынка упаковки. Украинская индустрия упаковки – молодая, бурно развивающаяся отрасль экономики. По производству упаковки Украина пытается догнать развитые европейские страны. Большинство промышленных потребителей стремятся уменьшить долю упаковки в весовом и объемном соотношении «упаковка : товар», чтобы как можно меньше упаковки надо было утилизировать. По данным Всемирной упаковочной организации, рынок упаковки в мире оценивается примерно в 500 млрд. долл. К 2010 г. этот показатель возрастет до 760 млрд. долл.

Тенденции развития пищевого рынка вынуждают производителей упаковки выработать стратегию на дальнейшую перспективу. Острая конкурентная борьба порождает спрос на качественную, относительно недорогую и оптимальную по своим эксплуатационным и функциональным свойствам упаковку. Рост и развитие этого сегмента упаковочного рынка очевидны, и происходят они за счет структурных изменений в продовольственном рынке. Несмотря на высокие темпы роста и долю упаковываемой продукции потенциал применения упаковок в пищевой промышленности еще высок. Можно говорить о том, что «точка» насыщения рынка в упаковке еще не достигнута. В ближайшие несколько лет темпы роста упаковочной индустрии и пищевой промышленности будут несомненно высоки и взаимосвязаны между собой, что положительно повлияет на экономику в целом.

Таблица 1 – Ассортимент полимерной плёнки для упаковки

Полиэтилен	Полипропилен	Пленки для мешков и сумок (главным образом, ПП)	Термоусадочные и стретч-пленки из поливинилхлорида	Полиамидные плёнки	Полиэтилен-терефталатные пленки в ламинатах	Всего, %
75,9	10,7	9,0	2,4	1,2	0,8	100

Срок эксплуатации упаковочных материалов определяется сроком службы самих товаров, и он весьма невелик. Объемы же полимерной упаковки значительны и постоянно возрастают, что увеличивает актуальность ее переработки с момента начала ее интенсивного производства. С развитием ассортимента полимерной упаковки (таблица 1) господствующее значение на рынке упаковки стали занимать полиолефины, полиэтилен-терефталат, сополимеры и многие другие. С их появлением у переработчиков стало возникать множество проблем, начиная со сбора, сортировки, мойки и последующей утилизации. Для большей части этих отходов возможна, относительно легко реализуемая, организация сбора с целью последующей переработки.

В настоящее время уже осуществляется переработка полимерных отходов во вторичный материал, пригодный для вторичной обработки. Метод этот предусматрива-

ет следующие стадии: мокрое дробление промывку в ваннах и шнековых промывателях, отжим в центрифугах или в шнековых аппаратах, сушку, грануляцию на экструдерах.

Такая многостадийная обработка обладает существенными недостатками: сложность и многостадийность схемы переработки, дороговизна ряда аппаратов – таких как экструдер и центрифуга, несовершенство промывки и т.д. В данной работе рассматривается лишь одна стадия утилизации, а именно технология агломерирования пленочной упаковки.

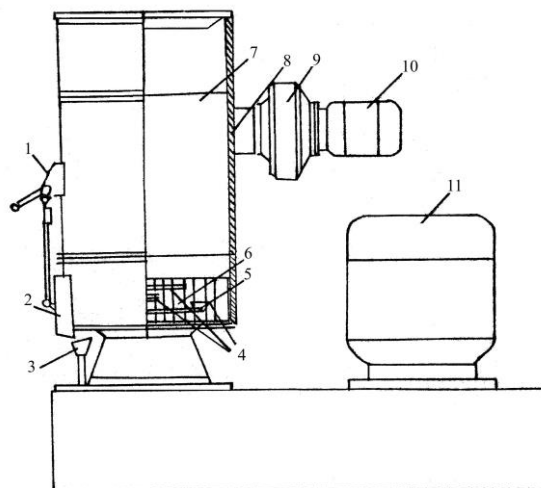


Рисунок 1 – Роторный агломератор с приводом

1 – ручка управления заслонкой; 2 – заслонка; 3 – воронка для стока промывных вод; 4 – лопасти; 5 – ножи; 6 – защитный пояс; 7 – корпус; 8 – сетка; 9 – вентилятор; 10 – электродвигатель вентилятора; 11 – электродвигатель привода

Агломератор – это аппарат, который представляет собой цилиндрическую емкость, снабженную высокоскоростной лопастной мешалкой с системой ножевых элементов. В агломераторе осуществляются следующие операции: разогрев материала до температуры пластичности; дробление и доотмывка; сушка и агломерирование (рис. 1). В этом аппарате возможно совмещать четыре операции, он удобен для переработки полимерной упаковки, так как она не имеет существенных загрязнений и не требует предварительного крупного измельчения.

На рис. 2 представлены основные характеристики процесса агломерации вторичного полиэтилена из пленочных отходов. Основные показатели – загрязненность и влажность пленки вместе с технологическими показателями процесса – температурой и потребляемой мощностью даны в координатах времени, с разбивкой времени по стадиям. Первой стадией процесса является загрузка. Если материал дробленый, то она проводится периодически продолжительностью  $60 \pm 10$  с. В том случае, если загружается не дробленое полотно, то процесс ведется по определенному графику, предусматривающему быструю подачу на первых минутах так, чтобы на последних минутах скорость загрузки не менее, чем в два раза превосходила производительность аппарата.

Режущим рабочим органом агломератора являются ножи, установленные на лопастях мешалки. При быстром вращении ножи измельчают материал, а непрерывно подаваемая вода, одновременно, осуществляет отмывку. Такой метод совмещения дробления и отмывки снижает остаточную загрязненность материала до 0,15 %, тогда, как при других способах отмывки загрязненность была па порядок выше. Отмывка проис-

ходит в течение всего времени дробления материала. После завершения дробления и отмывки, прекращают подачу промывной воды, при этом оставшаяся промывная вода центробежной силой отжимается через специальные отверстия, прикрытые сеткой в нижней части корпуса. Остаточная влажность, в зависимости от размеров дробленых частиц составляет от 20 до 40 %.

После отмывки начинается наиболее энергоемкая стадия процесса – сушка. Длительность ее определяется влажностью материала и потребляемой мощностью. Целесообразно использовать по возможности менее влажный материал при наиболее полной загрузке аппарата. Часто энергия затрачивается на разогрев материала путем трения. Скорость разогрева и сушки зависят также от геометрии рабочих органов и степени заточки ножей.

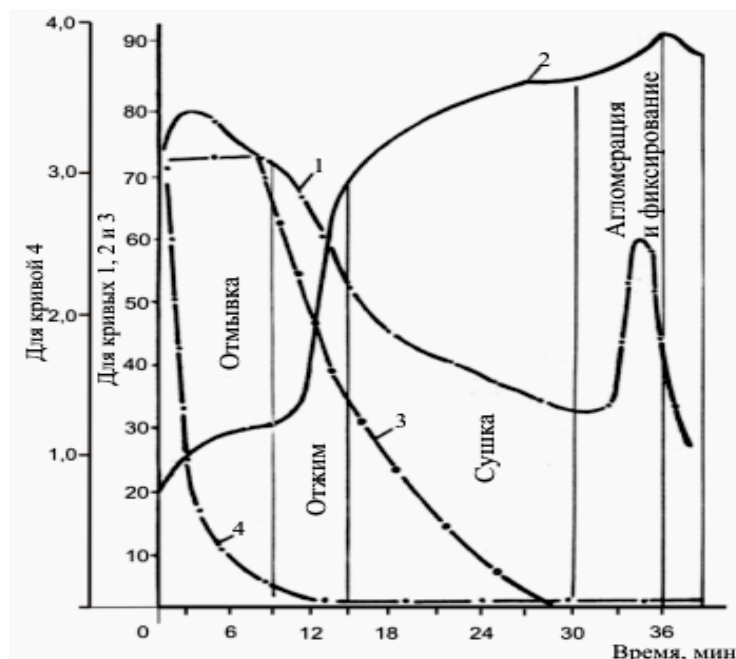


Рисунок 2 – Режимные параметры работы агломератора

1 – потребляемая мощность от номинальной, %; 2 – температура воды, С; 3 – влажность агломерата, %; 4 – загрязненность агломерата, %

Кривая потребляемой мощности агломератора (рис. 2) имеет два максимума – на стадии первичного измельчения до подъема температуры и второй максимум в области конечного дробления при нагревании до состояния вынужденной эластичности. Завершение агломерации для приведенного примера при выбранных режимных условиях происходит за 35 минут, а потребляемая мощность аппарата составляет 15,5 кВт/ч при загрузке полиэтилена 10 кг/ч и средней насыпной плотности 130 кг/дм<sup>3</sup>.

Дробление и агломерация это совмещенные операции, дробление в пластическом состоянии предполагает доразогрев после сушки. Сушка агломерата (рис. 2) заканчивается полностью на 30 минуте, после этого появляется второй пик разогрева (кривая 2) и второй максимум потребления мощности, что связано с измельчением в пластическом состоянии. Что касается отмывки, то она, в основном, завершается на 14 минуте, дальнейшая обработка, практически, не отражается на загрязненности материала. Процесс агломерации завершается впрыском небольших количеств воды для снижения температуры агломерата и фиксации размера частиц.

Агломераты из отходов полимеров можно использовать как самостоятельный

продукт при дальнейшей переработке в изделия методом литья под давлением или экструзии. В процессе агломерации возможно введение красителей, модификаторов, наполнителей и других веществ, способствующих улучшению свойств агломерата. Однако процесс агломерации не позволяет получать вторичное сырье с высокой насыпной плотностью. В этом случае агломерация – промежуточный технологический процесс для получения гранулированного вторичного сырья.

Агломератор – аппарат периодического действия, производительность которого является функцией ряда параметров: величина загрузки ( $B$ ); температура процесса ( $T$ ); средняя насыпная плотность ( $P$ ); число оборотов ротора ( $n$ ); время процесса ( $t$ ); средняя величина размера агломерата ( $l$ ); потребляемая мощность ( $N$ ). В свою очередь, следует отметить, что эти параметры взаимосвязаны, например,  $T = \gamma(B; P; N; n)$  и  $B = \gamma_1(P)$ , что усложняет функциональную зависимость. В связи с этим существует возможность рассмотреть частные функциональные зависимости и на их основании определить возможную производительность.

Работа измельчения всех стадий агломерации пропорциональна приросту поверхности, который можно определить как разность между удельной поверхностью измельченного материала и удельной поверхностью исходного материала. Гранулометрический состав агломерата следующий, %: до 3 мм – 51,7; 3-5 мм – 25,5; 5-7 мм – 18,3; 7-10 мм – 4,5. Следовательно, средний размер агломерата 4,55 мм, а средний радиус – 2,28 мм; удельная поверхность измельченного материала составляет 1450 м<sup>2</sup>/кг. С достаточной степенью приближения можно считать, что исходный материал с поверхностью 1 м<sup>2</sup> и плотностью 920 кг/м<sup>3</sup> имеет прирост поверхности около 1444 м<sup>2</sup>/кг. При производительности  $\Pi$  кг/ч затраты энергии на измельчение составят:

$$W = \dot{V} \cdot 1444 \cdot A,$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности, который зависит от свойств материала.

Поступление энергии, как на разогрев системы, так и на измельчение материала происходит от электродвигателя агломератора и электродвигателя вентилятора. Исследовав зависимость расхода энергии от производительности за 35 минут агломерации, установлено: часовой производительности 17 кг/ч соответствует расход энергии 27 кВт, что соответствует 1,6 кВт/ч.

При увеличении размеров агломератора расход мощности будет несколько снижаться, так как при увеличении размеров будут снижаться удельные теплотери вследствие уменьшения удельной боковой поверхности аппарата. Изменение мощности в зависимости от числа оборотов ( $n$ ) и размеров лопасти ( $d$ ) растёт пропорционально произведению  $d^5$  и  $n^3$ . Но, наряду с этим, производительность растёт пропорционально  $d^3$ , а число оборотов ротора должно снижаться пропорционально  $d$  для сохранения постоянной окружной скорости. Поэтому, рассчитанные значения удельного расхода энергии на дробление не зависят от размеров аппарата, а зависят только от изменения удельной поверхности материала.

Следует отметить, что при хранении и транспортировании отходов упаковки к месту их переработки, как правило, происходит загрязнение материала. Поэтому в технологическом цикле перед агломерацией необходимы процессы удаления примесей. Наиболее распространена мойка загрязненных отходов. У переработчиков отходов существуют различные мнения по поводу целесообразности сушки измельченных и вымытых отходов упаковки перед агломерацией. Качество агломерата, полученного из высушенных отходов, выше по сравнению с агломератом из мокрых отходов

(таблица 2). Причем наиболее существенно это проявляется для полиэтилена.

Таблица 2 – Изменения физико-механических и химических свойств для различных видов полимерной упаковки

Материал	Количество сложноэфирных групп, %	Относительное удлинение при разрыве, %	ПТР вторичного сырья, г/10 мин	Насыпная плотность г/см <sup>3</sup>
Полиэтилен первичный	0	600	1,8-2,0	0,50
Агломерат из влажной пленки	0,52	310,6	0,92	0,36
Агломерат из сухой пленки	0,45	352,0	0,77	0,38
Полипропилен первичный	0	200	2,4-5,0	0,48-0,5
Агломерат из влажной пленки	0,32	98,9	4,33	0,38
Агломерат из сухой пленки	0,29	105,0	3,76	0,42

При испытании образцов, изготовленных из агломерата, полученного агломерацией пленочных отходов, с влажностью до 5 % снижения прочностных характеристик не выявлено. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что совмещать процессы агломерации с сушкой (при влажности выше 5 %) нецелесообразно из-за возможного снижения качества получаемого вторичного сырья, или необходимо проводить этот процесс с введением антиоксидантов, которые способствуют сохранению качества полимерных отходов упаковки.

Литература

1. Бухкало С.И. Исследование методов переработки отходов термопластов и композиционных материалов на их основе. Отчет о НИР, НТУ «ХПИ», Харьков, № ГР 01850021487, 1990.
2. Л. Штарке. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. – Л.: Химия, 1987– С. 176.

УДК 678.073.002.68

Бухкало С.И.

**ДО ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АГЛОМЕРУВАННЯ ПОЛІМЕРНОЇ УПАКОВКИ**

У роботі запропоновані напрямки енергозбереження процесу агломерування різноманітних видів полімерної упаковки на основі аналізу роботи агломератора залежно від його розмірів. Наведено результати властивостей отриманої плівкової сировини з поліетилену та поліпропілену.