

Рис. 5. Зависимость удельной энергоемкости измельчения пшеницы от диаметра отверстий в сите: а - молоткового и б - нового измельчителей.

модели прутеобразного измельчителя, согласно рис.3.

Результаты исследований представлены на рис. 4, 5. Здесь

можно сделать следующие выводы:

1) продукт, полученный с прутеобразного измельчителя,

характеризуется большим количеством крупнозернистой фракции, в среднем на 18 % при одновременном уменьшении запыленности (в сравнении с продуктом с молотковой мельницы)

2) преимущество прутеобразного измельчителя над молотковым выражается в меньшей энергоемкости процесса, в среднем на 32 %

3) энергетические преимущества в использовании прутеобразного измельчителя гораздо выше в связи с выполнением меньших отверстий в ситах, т.е. в области более высокой ценности степени измельчения.

РЕЦИКЛИНГ СИНТЕТИЧЕСКИХ УПАКОВОК И АСПЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МАРЕК БЕЛИНСКИ (Техническая сельскохозяйственная академия, Быдгощ, Республика Польша)

Производство упаковочных изделий в течение последних нескольких лет развивается очень интенсивно и занимает в Польше ведущую позицию. Показатель рентабельности производства большинства упаковок постоянно растет и достигает сегодня почти 9 %. По данным PAIZ (Польское агентство зарубежных инвестиций) производством упаковок в Польше занимаются более 2000 фирм, которые выпускают металлическую, стеклянную, бумажную, деревянную и синтетическую упаковки.

Важными направлениями исследовательской и перспективной деятельности в этой области в Польше, признаны:

исследование взаимодействия «продукт - упаковка»; исследование новых материалов, упаковок и их систем, а также оценка последних в технологиях упаковок; совершенствование измерительных технологий;

оценка и минимализация загрязнения окружающей среды упаковочными материалами.

Проблема охраны окружающей среды более всего заостря-

ется, когда речь идет о синтетических упаковках, отечественное производство которых, включая импорт, оценивается ежегодной реализацией в Польше более чем 2,0 млн. тонн. 10-летние наблюдения реального роста производства и переработки синтетических изделий подтверждают выражительное увеличение количества товаров из полимерных материалов (прежде всего упаковок) в общем использовании на одного жителя Польши.

Различные виды утилизации полимерных материалов и выте-

кающие отсюда ограничения называют на то, что нет единой универсальной стратегии в отношении синтетических отходов. Эти проблемы по-разному решаются в разных странах Европы, Японии или США (табл. 1).

лов также является причиной заинтересованности постоянного роста синтетических материалов, как со стороны производителей, так и потребителей.

Наиболее динамично развивающийся в последнее время ры-

ное развитие химии и физиохимии полимеров, а также возможностей широкой модификации синтетических материалов на этапе переработки является основной причиной роста использования упаковок из синтетических материалов, прежде всего в пищевой промышленности. Развитие отдельных и индивидуальных упаковок совершило революцию, переворот во многих отраслях народного хозяйства, и особенно, в химической и пищевой отраслях. Современная торговля ассоциируется у нас с самыми новыми упаковочными материалами и технологиями. Особенно важную роль в этом случае играют сложные синтетические материалы, обеспечивающие высокую функциональную сохранность и барьерность продукта (изделия) и эстетику. Однако не до конца однозначно позитивно рассматривается роль синтетических материалов в промышленности, исключительно с точки зрения охраны окружающей среды.

Из предыдущих исследований

1. Процентное участие различных форм использования синтетических отходов в мире [1]

Регион	Рециклинг	Сжигание	Складирование
Европейская Уния	15	30	55
США	10	5	85
Япония	5	70	25

Рециклинг синтетических материалов считается наиболее эффективным процессом их утилизации, он практически везде изучен и развит, особенно, когда касается обозначенных и однородных материалов. Пропорции смешивания вторичных материалов с первичными является предметом многих исследовательских и внедренческих работ [1, 2], из которых видна возможность их широкого использования в рамках ретехнологии (ре-инженерии) - при производстве синтетических элементов. Экологические и организационные проблемы появляются, прежде всего, в случае использованных (загрязненных) синтетических материалов. Поэтому сейчас развиваются технологии измельчения, разделения и смешивания различных синтетических материалов, а также способы очистки и фильтрации растопленных полимеров.

Характеристика материалов, используемых в упаковках. Использование синтетических материалов характеризует высокая простота выполнения в одном технологическом процессе сложных форм, широкий ассортимент доступных свойств для пользователя, эстетический внешний вид, легкость изделий и выгодная цена. Относительно высокая податность на рециркуляцию синтетических материа-

лов упаковки использует около 45% всего синтетического производства. Эта тенденция стала устойчивой и отмечается 6,5% увеличением ежегодно. Особенно это заметно в производстве пластиковых бутылок, где рост измеряется 38% ежегодно (особенно в 1991 - 1996 гг.), в то время, когда за аналогичный период для иных видов упаковок из синтетических материалов рост был на уровне 20 % [2].

Сравнительная эффективность различных технологий использования отходов

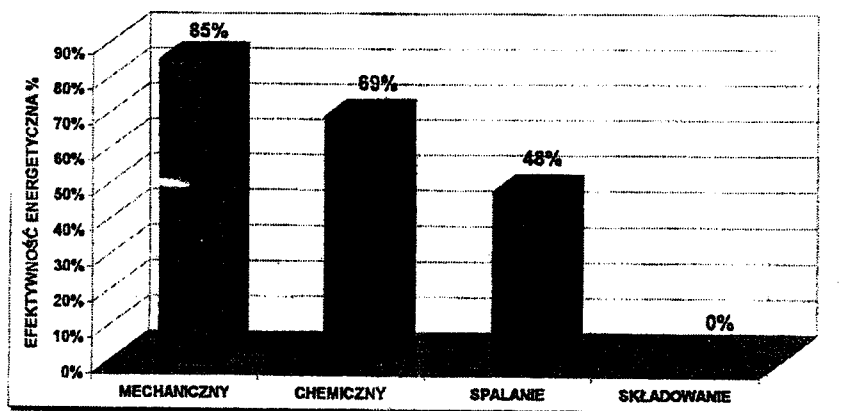


Рис. 1. Сравнение энергетических эффектов различных технологий использования отходов.

Причины роста использования синтетических материалов в упаковках связаны с их свойствами как в процессе производства, так и в использовании. Постоян-

следует, что в Польше ежегодно производится и импортируется не менее 350 тыс. т синтетических материалов, которые спустя 3 месяца (срок использования),

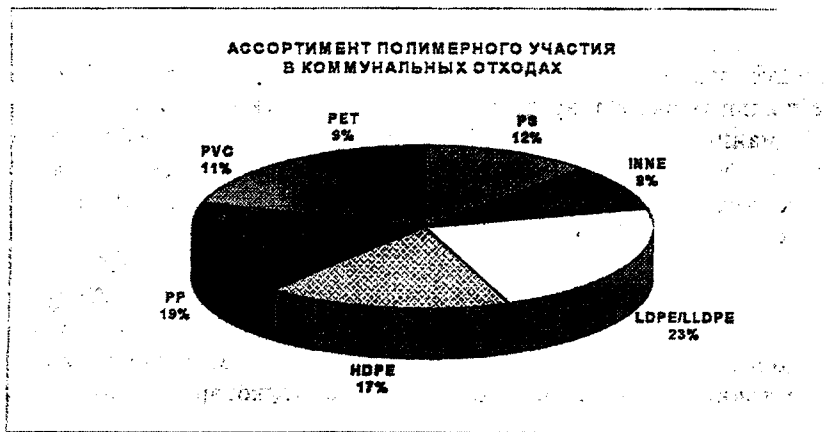


Рис. 2. Состав полимерных фракций в коммунальных отходах [5].

становятся отходами. Дополнительным загрязнением для натуральной среды является высокое отношение объема к массе, что оказывается негативным при быстром заполнении складских помещений.

В производстве упаковок в зависимости от функциональных свойств упаковок, а также свойств их переработки и реализации, используются различные технологии переработки: формование, формование с распылением, впрыскивание и термоформование [3].

Например, пленки PS (полистирен) и PP (полипропилен) - одно- и многослойные, характеризующиеся очень низкой прозрачностью, чаще всего красятся в белый цвет, а в случае PP также наполняются мелом или тальком. Минеральные наполнители могут в таком случае выполнять роль модификатора текучести, а также модификатора свойств в использовании таких показателей, как прочность, уменьшение толщины стенок упаковки, уменьшение веса и других [4]. Пленка PVC (полихлорвинил) может выступать в двух видах - прозрачной и пигментированной. Пленка CPET в результате высокой кристалличности и пленка EPS в результате вспенивания обладают натуральным молочным цветом. Особенно важную роль выполняют здесь технологии по-

роватости с одновременным догазованием (PS, PE), что позволяет получить материал с плотностью до 15 кг/м³. И, в свою очередь, характеризующиеся великолепными оптическими свой-

2. Типичные загрязнения после использования синтетических материалов, их ориентировочное участие в массе отходов и выбранный способ переработки

Виды отходов	Вид синтетического материала	Виды основных загрязнений и их массовая доля, %	Основной способ повторной переработки ^{*, **}
Навозные мешки	PE-LD	Навозы, земля, краска, 10-50	Упаковочные и изоляционные пленки
Сельскохозяйственные пленки	PE-LD	Земля, песок, 5-10	Упаковочные, и изоляционные пленки
Косметические упаковки (флаконы)	PE-HD	Полипропилен, бумага, 10-20	Бутылки, емкости
Бутылки после масел	PE-HD	Моторные масла, песок, 50	Бутылки, емкости
Мешки	PP	Мука, зерно, джут, синтетические материалы, стержни, 5-20	Упаковочные ленты
Контейнеры	PP	Земля, жир, иные синтетические материалы, 3-5	Ведро, паллеты
Пищевые бутылки	PET	Полиэтилен, бумага, 3-5	Упаковочные ленты

ствами пленки OPS, APET и PETG используются в натуральном виде.

Характеристика синтетических материалов и способы утили-

зации, а также область их вторичного использования обуславливают уровень хозяйственного развития, а также заложенную допустимую степень загрязнения окружающей среды синтетическими отходами. На рис. 2 представлен состав полимерных фракций в коммунальных отходах. Наблюдаемый рост отходов из синтетических материалов, с экологической точки зрения, означает быстрый темп использования нефтяных запасов, а в случае неконтролируемого оборота изделий и их отходов - непредсказуемый рост загрязнения окружающей среды.

Из многих работ следует, что значительная часть синтетических материалов спустя недолгое время использования становится отходами и, тем самым, потенци-

альным исходным материалом для переработки. С другой стороны, выразительные полезные результаты экологического баланса синтетических упаковок в отно-

шении других упаковочных материалов, подтверждают правильность развития использования этих изделий. Типичные загрязнения после использования синтетических материалов, их ориентационное участие в массе отходов (%) и выбранный способ переработки представлены в табл. 2.

* - переработка, чаще всего, включает мытье, очистку, сепарирование синтетических материалов,

** - в связи с тем, что смешиваются разноцветные отходы, часто используется окраска в черный цвет.

Замена многих естественных материалов вторичными в значительной степени изменяет к лучшему материальный и энергетический баланс в промышленности. Существуют, однако, определенные ограничения экономической эффективности рециркуляции. Их вызывают сравнения энергетических расходов, связанных с производством первичных материалов и с рециркуляцией вторичных. Такие вопросы становятся предметом многих научных и технологических исследований.

Упаковки и охрана окружающей среды. Охрана окружающей среды является проблемой, которой посвящается значительное внимание во многих странах Европы и мира. Исследуется влияние синтетических материалов, в т.ч. упаковок, на окружающую среду, идет постоянный поиск их оптимального количества и технологий, которые были бы под силу природе.

В соответствии с программой EUROPA 2000 [6], принято, что:

- все использованные упаковки должны быть собраны и утилизированы;
- должны быть разработаны программы уменьшения количества использования упаковок;
- использованные упаковки будут отданы рециклингу;

- часть использованных упаковок отдается компостированию;
- предусматривается разработка специальных экобалансов.

В Германии существует точка зрения, что вывоз мусора за городскую черту стоит 100-150 DM/т, получение материального вторичного сырья - 200-250 DM/т, сжигание - до 800 DM/т. Как видно, сжигание является достаточно дорогой операцией, особенно с точки зрения строгого выполнения экологических предписаний [6]. Важную роль играет здесь так называемая материальная рециркуляция.

Как известно, на синтетические материалы во время их переработки и использования воздействует целый ряд внешних и технических факторов. И это они обуславливают области изменения свойств вторичных материалов. Специфическим является также сам процесс переработки, где на протекание процесса, свойства изделий влияют многие факторы (подбор сырья, его подготовка, конструкционные качества узла, который выполняет пластификацию, технологические и конструкционные характеристики используемого оборудования). Кроме всего, еще и специфическая характеристика технологий и организации.

Экологический баланс.

Экологический баланс, максимально приближает и показывает нам реальное влияние синтетических материалов, их переработки и отходов на натуральную среду, в сравнении с такими материалами, как бумага и стекло.

Использование экобаланса, который основан на использовании единых критериев описания затрат, которые необходимы на производство, использование и утилизацию отдельных (различных) материалов, делает возможной объективную оценку и сравнение выбранных технологий.

Оценке подлежат, таким образом, количество энергии и использование натуральных мате-

риалов (возобновляемых и невозобновляемых), эмиссии, влекущие за собой нежелательные климатические изменения (например, CO₂ - тепличный эффект, SO₂ - кислотные дожди, озоновые дыры и т.п.), количество конечных отходов, собираемых на свалках и сопутствующие им попадания в воду, землю и воздух. Примером другого подхода является так называемая «дорога жизни» изделия, которая начинается с поиска исходного сырья, охватывает производство материала, самого изделия, его использование, утилизацию (или складирование) использованных финальных отходов, не подлежащих ни вторичному использованию, ни сжиганию с получением тепловой энергии.

Экобаланс носит гораздо более широкий характер, нежели полный анализ «дороги жизни» LCA - упаковки, потому что ограничивается только соизмеримыми показателями, возможными величинами. Здесь, однако, не учитывались такие существенные, но трудные для количественного описания факторы, как доступность сырья, их возобновляемость в природе, деградация пейзажа.

Примером использования экобаланса может служить его проведение в случае упаковки 1 л молока (рис. 3) [2, 5], разработанный Швейцарским Отделом Охраны Природы. Здесь учитывались следующие виды упаковок: пакет (мешочек) из PE (полиэтилена) массой 7 г, легкая бутылка из PE с бумажной этикеткой массой 21 г, картонный пакет с усиленной пленкой из PE массой 25 г, стеклянная многоразовая (20 - ти - и 40-разовая) бутылка с бумажной этикеткой и алюминиевой пробкой массой 401,4 г, закручивающаяся бутылка из PE с бумажной этикеткой массой 48 г.

В результате проведенных экобалансов оказалось, что наи-

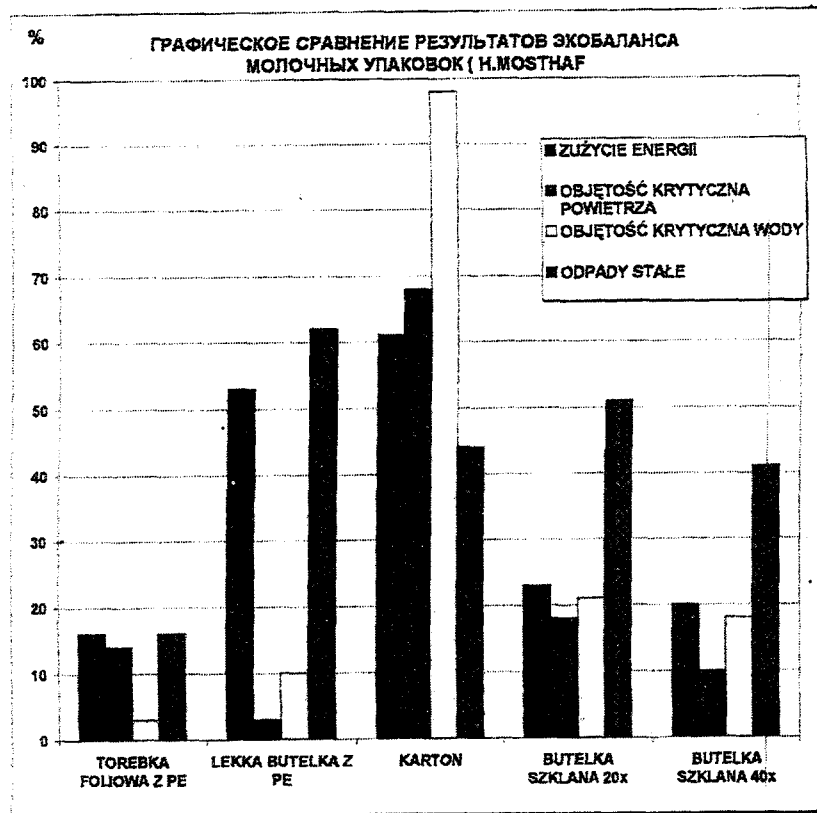


Рис. 3. Графическое сравнение результатов экобаланса молочных упаковок.

более выгодной, с экологической точки зрения, была молочная упаковка в мешочки из пленки PE, далее расположились: стеклянные бутылки (с принятой 40-разовой ротацией), легкие бутылки из PE. К сожалению, реальное распространение молочных упаковок не соответствует их экологической оценке. Экологически более приемлемые пленочные упаковки из PE в большинстве случаев были вытеснены более простыми в использовании картонными. Здесь решающее слово имели производители и потребители.

Выгодными для синтетических материалов оказались также результаты экобалансов в случаях: пластиковые стаканчики на молочные продукты; пищевые бутылки с питьем; профильных изделий из твердого PVC.

Начинает свое существование понятие «экопрофиля», которым описывается экологическая характеристика материала, выража-

емая с помощью четырех принятых величин:

энергетический эквивалент, Eeq, критическое количество воздуха, KIP, критическое количество воды, KIW, объем постоянных отходов.

По мнению авторов [6], величины KIP и KIW носят условный характер и могут служить единственно для сравнения между собой того урона природе, который совершается при производстве анализируемых материалов. Эти величины, естественно, нельзя воспринимать как информацию о количестве воздуха и воды, необходимых для производства 1 кг материала.

Свойства материалов и технологические аспекты в процессах рециркуляции синтетических материалов. Область изменений свойств синтетических материалов должна быть определена в начальных исследованиях и окончательно оценена в процессах очередной переработки и

регенерации [1]. Именно поэтому в процессах вторичного производства, особенно регенерации, идет речь о таких исследовательских методах, которые гибко отобразили бы качественные изменения синтетических материалов на очередных этапах переработки. Здесь также существует необходимость снижения деградирующего влияния способов измельчения на свойства регенерированных изделий. Область изменения выбранных факторов, характеризующих вторичные синтетические материалы в зависимости от времени и условий использования, представлена в [1].

Математические описания, связанные с рециркуляцией вторичных материалов, касаются, чаще всего: материального баланса, энергетического баланса, изменения свойств синтетических материалов, а также выбранных элементов мониторинга области отходов и условий их возникновения.

Моделирование изменения свойств синтетических материалов при многократном рециклинге и использовании дает возможность более легкого предвидения свойств этих материалов; здесь можно установить зависимость от степени смешивания с первичными синтетическими материалами, зависимость от повторного цикла переработки. В модельной части стремимся оптимально описать кривую, в соответствии с которой наступают качественные изменения, в другой ситуации - ищем совокупность факторов (свойств), оказывающих влияние на изменения. Отдельную группу образуют здесь модели циклов, где выступают только вторичные синтетические материалы. Здесь известна модель полной рециркуляции, охватывающие изменения выбранного свойства в зависимости от кратности циклов переработки. Эта модель уже разработана для термопластичных синтетических

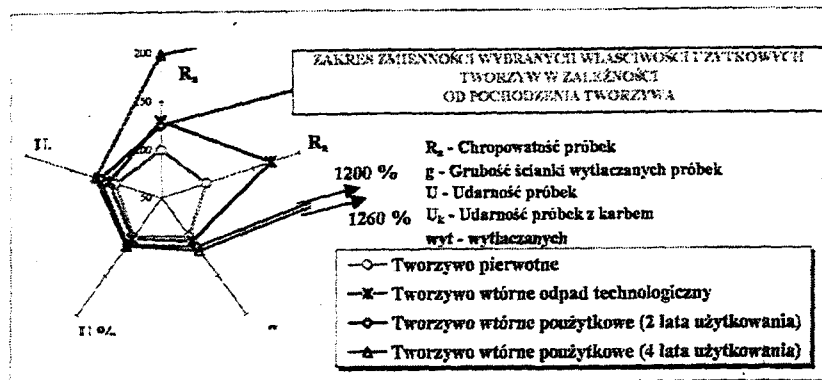


Рис. 4. Область изменения выбранных свойств синтетических продуктов в зависимости от происхождения материала [1].

материалов с условием, что время использования продукта не значительно и практически не влияет на изменение свойств. Это оправдывает себя в случае технологических отходов либо изделий короткого периода использования. Если в процессе рециркуляции выступают использованные либо технологические отходы, время эксплуатации (хранения, старения) которых значительно, тогда наши допущения становятся весьма упрощенными. Известно, что время использования

для 60 % - более 8 лет. В табл. 3 представлены основные параметры для выбранных моделей и область ограничения их использования.

В предлагаемой модели рециркуляции допущена интерпретация коэффициента, описывающего изменение свойств. Как показали изучения процессов старения, выполненные автором в реальных условиях, время использования (эксплуатации) в случае исследуемых вторичных синтетических материалов имело

3. Основные модели изменений свойств вторичных синтетических материалов в процессах рециркуляции

Модель	Основные параметры условия	Область использования и ограничения
J. Karpo	k, ϕ, n, R_i ухудшения свойств; - условие постоянного участия вторичного синтетического материала в цикле очередной переработки,	- условие постоянного уровня
R. Sikora A. Kuczma-szewska	условие изменчивости фактора ухудшения свойств, например, в функции циклов, n	
R. Sikora	касается переработки со 100 % участием вторичного синтетического сырья	
M. Bielinski	касается переработки, когда время эксплуатации между отдельными циклами переработки значительно	

где: k - коэффициент ухудшения свойств синтетических материалов;
 ϕ - степень возврата синтетического материала (степень участия вторичного синтетического материала в переработке); n - количество циклов;
 t - время эксплуатации на отдельных этапах; R_i - выбранное свойство в i -ом цикле вторичной переработки.

(службы, эксплуатации) для 20 % отходов является более 1 года, а влияние на величину принятых к оценке показателей. Предложен-

ный в модели коэффициент k является функцией двух изменяющихся величин: кратности циклов n и времени эксплуатации изделия t .

Методы рециркуляции упаковок. Рациональное использование вторичных изделий, выбор соответствующего метода регенерации в случае использованных отходов, связаны с необходимостью селекции их от бумаги, металлических включений, стекла и органических отходов. Решение этой проблемы тесно связано с техническими и экономическими возможностями определенного региона. Примером могут быть страны Европейской Унии, где уже несколько лет назад введены и строго выполняются предписания об упаковочных отходах, способах их утилизации. Так, в Польше существует ряд законов и постановлений, которые четко нормализуют решение проблем, связанных с синтетическими изделиями. Многие работы этой области стали основными тематическими разделами 11-ти Международных конференций «Рециркуляция в строительстве машин», организованных на механическом факультете технической сельскохозяйственной академии в Быдгощи (Республика Польша). Генеральной тенденцией утилизации является уменьшающаяся доля синтетических материалов и отходов в складах (приготовленных к сжиганию с высвобождением энергии) и рост значения материальной рециркуляции, с маргинализацией (отодвигание на второй план) так называемого химического рециклинга.

Химический рециклинг сводится к деградации полимеров, которая имеет своей целью получение мелкочастичных химических соединений - идентичных с сырьем, служащим для продукции полимеров или иных химических продуктов. Материальный рециклинг в принципе сводится к повторной переработке

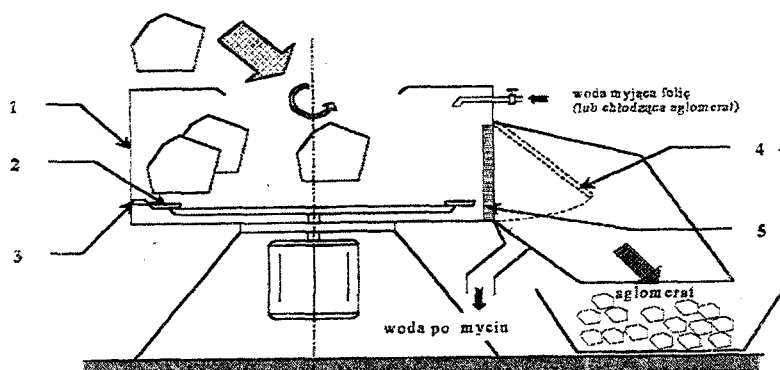


Рис. 5. Технологическая схема устройства для агломерации использованных термопластичных пленок: 1-сборник агломератора; 2-вращающиеся ножи; 3 - стационарные ножи; 4 -выход материала; 5 - сито.

отходов синтетических материалов при использовании широко известных перерабатывающих технологий.

На рис. 5 представлена схема приспособления для утилизации отходов использованной пленки, с возможностью мытья (ликвидация загрязнений от упакованного продукта в случае переработки упаковок).

Основные выводы.

1. Возрастающий уровень упаковок из синтетических материалов, особенно в условиях поставки пищевых продуктов и промышленных товаров потребителю через сеть супермаркетов, влечет за собой необходимость решения юридических, организационных и технических условий обеспечивающих экологическую чистоту.

2. В представленной работе выделены основные аспекты, ка-

сающиеся окружающей среды, материалов и технологий, которые необходимы для выработки стратегии поведения, в отношении отходов упаковки из искусственных синтетических материалов, в том числе, основы экобалансирования.

3. Область изменения свойств синтетических материалов описана в основных исследованиях и окончательно оценена в процессах очередной переработки и регенерации. Исходя из этого, в процессах вторичной переработки, особенно регенерации (измельчения, очистки, мытья), идет поиск таких исследовательских решений, которые показали бы высокую приспособленность к изменяющимся технологическим свойствам материалов на очередных этапах переработки.

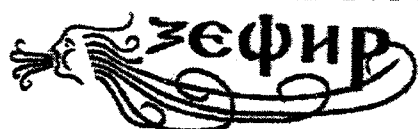
4. Выбор наилучших в данных условиях технологий обез-

реживания или получения нового изделия возможен при использовании накопленных знаний, лучшего отечественного и зарубежного опыта в выборе варианта рециркуляции. Следует учесть, что при успешно функционирующем способе возврата отработанных технологических синтетических материалов для целей упаковки значительно снижает загрязнения окружающей нас природы от избытка не утилизируемых отходов.

Литература

1. Bielinski M. Materialowa i przetworcza charakterystyka wybranych termoplastycznych tworzyw wtornych. Rozprawy 90, ATR, Bydgoszcz 1998.
2. Kozłowski M: Recycling materialowy tworzyw sztucznych - mozliwosci i ograniczenia. Recycling tworzyw sztucznych. Wroclaw, 1998.
3. Sikora R. : Przetworstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne Zak, Warszawa 1993.
4. Opakowania żywności. Praca zbiorowa. AGRO FOOD TECHNOLOGY. Czeladź 1998.
5. Błędzki A i inni: Recykling materiałów polarnych. WNT, Warszawa 1997.
6. Jakowski S.: Metody oceny ekologicznej materiałów opakowaniowych. Opakowania 1997.

ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОР



ЗАО "БелТЭН"

Минский р-он, пос. Кунцевщина,
Т/ф (017) 286-77-67, 286-77-53.
E-mail: belten@open.by