

## Разработка многослойных упаковочных материалов с использованием полиолефиновых отходов для хранения пищевой продукции

**Тверитникова Изабелла Сергеевна**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»  
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
E-mail: iza-1995@bk.ru*

**Кириш Ирина Анатольевна**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»  
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
E-mail: irina-kirsh@yandex.ru*

**Кондратова Тамара Александровна**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»  
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
E-mail: flash\_toma@mail.ru*

**Кубышкин Андрей Игоревич**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»  
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11  
E-mail: klkub3@rambler.ru*

С каждым годом увеличивается ассортимент упаковки для сыпучих продуктов и макаронных изделий, состоящей из многослойных полимерных пленок, увеличивающих срок годности готовому продукту. Многослойную полимерную упаковку тяжело утилизировать, поскольку сложность состоит в процессе сортировки, идентификации и разделения, поэтому чаще всего полимерные отходы попадают на свалки и полигоны. Все это приводит к экологической и экономической проблеме в стране. В настоящее время используют различные приемы для переработки таких смешанных полимерных отходов для получения вторичного сырья, которые возвращаются в производственный цикл. Одним из таких способов является модификация полимерных смесей путем введения реакционно-способных добавок. Статья посвящена изучению влияния сополимера этилена с пропиленом на свойства полиолефиновых композиций для создания многослойных упаковочных материалов. Исследования проводились в лаборатории композитных материалов Московского государственного университета пищевых производств. В качестве объектов исследования были выбраны такие полимеры, как полиэтилен, полипропилен и сополимер этилена с пропиленом (СЭП), как связующее звено между полимерами. Образцы получали на лабораторной установке по типу ИИРТ с приемным устройством. Данная установка позволяет провести процесс переработки полимерных композиций без смешения расплава. В работе исследовался процесс модификации полимерных смесей на основе полиэтилена и полипропилена СЭПом в лабораторной установке; были проведены комплексные исследования реологических и физико-механических свойств полимерных композиций. На основании проведенных исследований установлено, что введение СЭП в полиолефиновую композицию приводит к стабилизации реологических и физико-механических свойств, а также предложена технология получения упаковочных многослойных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с пищевыми продуктами.

**Ключевые слова:** полимеры, сополимер, многослойные полимерные материалы, реологические свойства, физико-механические характеристики, соэкструзия, хранение пищевых продуктов

В настоящее время для упаковки пищевых продуктов все больше используются многослойные полимерные материалы. Так, например, для упаковки сыпучих продуктов (рис, гречка, просо и т.п.), макаронных изделий используют многослойные материалы на основе полиолефинов: полиэтилен (ПЭ) – полипропилен (ПП), ПЭ – ориентированный ПП (ОПП), ПП-ОПП и другие виды. Данные материалы обладают высокими барьерными свойствами: низкая газо- и паропроницаемость, высокая жиростойкость. Это позволяет обеспечивать требуемые сроки хранения пищевой продукции (Ананьев, Губанова, Кириш, Семенов, Хмелевский, 2006, с. 110; Зелке, Кутлер, Хернандес, 2011, с. 560; Кербер, Головкин, Горбаткина, 2014, с. 592; Кириш, 2008, с. 32-33; Пищулин, 2013, с. 38-44). Однако как на стадии производства упаковки, так и на стадии ее потребления образуются отходы, которые необходимо утилизировать. Сегодня большинство отходов многослойных материалов подвергаются утилизации методом захоронения на свалках и полигонах, что наносит ущерб окружающей среде (Ананьев, Губанова, Кириш, Семенов, 2008, с. 7-8; Ананьев, Губанова, Кириш, Семенов, Хмелевский, 2006, с. 110; ЛаМантиа, 2006, с. 400). В связи с этим все больше уделяется внимание вопросам разработки технологии переработки многослойных упаковочных материалов с перспективой возврата полученного вторичного сырья в производственный цикл. Большинство многослойных полимерных материалов состоят из термодинамических несовместимых полимеров, таких как полиолефины, полиамиды, полиэфир, сополимеры этилена с виниловым спиртом и другие. При переработке отходов из многослойных материалов, которые содержат в себе различные по химической природе полимеры, образуется вторичное сырье с низкими эксплуатационными и физико-механическими свойствами (Тверитникова, Банникова, 2018, с. 167-170; Тверитникова, Кириш, 2018, с. 79-82; Тверитникова, Кириш, Кондратова, Кубышкин, 2018, с. 166-180). Известно, что полимер с более низкой температурой плавления может подвергаться деструкции при температуре переработки второго (с большей температурой плавления), что в итоге приводит к снижению эксплуатационных характеристик получаемых материалов. Для увеличения технологической совместимости используют различные приемы: введение агентов совместимости, модификаторов на основе ангидридов (Кириш, 2016, с. 305; Кириш, Тверитникова, 2017, с. 143-147; Кириш, Филинская, Помонова, 2014, с. 113-116; Кириш, Чалых, Ананьев, Заиков, 2015, с. 182-186; Кириш,

Чалых, Ананьев, Согрина, Помонова, 2014, с. 45-48; Кириш, Чалых, Чалых, Алиев, Матвеев, 2016, с. 45-49). На сегодняшний день большое влияние уделяется исследованиям в области модификации полимерных смесей путем введения реакционно-способных добавок (Кириш, Чалых, Чалых, Алиев, Матвеев, 2016, с. 45-49).

В случае модификации полимерных смесей агентами совместимости может реализовываться механизм взаимодействия макромолекул с реакционно-способными модификаторами с образованием привитых, статистических или блок-сополимеров (Кириш, 2016, с. 305; Кочнев, Галибеев, 2002, с. 180). Такие сополимеры при добавлении в полимерные смеси увеличивают технологический интервал совместимости.

Большинство взаимонерастворимых полимеров образуют грубые смеси с доменами относительно большого размера и резкими межфазными границами, возникающими из-за сильного межфазного натяжения (Helfand, Tagami, 1971, с. 741-746; Helfand, Sapse, 1975, с. 1327-1335) между компонентами, что, в свою очередь, ведет к стабильной межфазной адгезии. Свойства смеси зависят не только от механических свойств межфазной границы, но также от размера соответствующих полимерных фаз. Во многих случаях размер дисперсной фазы должен быть ограничен величиной менее 1 мкм (Пол, Бакнелл, 2009, с. 606; Wu, 1985, с. 1855-1863). В настоящее время широко применяются добавки нескольких %вес. блок-сополимера для эмульгирования и улучшения механических свойств такой взаимонерастворимой смеси полимеров (Lindsey, Paul, Barlow, 1981, с. 1-8; Serpe, Jarrin, Dawans, 1990, с. 553-565; Willis, Favis, 1988, с. 1416-1426). Чтобы блок-сополимер был эффективен в этой роли, он должен быть активен на межфазных границах. Фактически, блок-сополимер адсорбируется на межфазной границе, если его сегменты селективно смешиваются со взаимонерастворимыми полимерами. Молекулярные характеристики каждого блока определяют структуру, состав и функциональные свойства межфазной границы (Пол, Бакнелл, 2009, с. 606). На границе двух полимерных фаз блок-сополимер может передавать через границу напряжение, тем самым предотвращая разрыв по границе (Brow, 1989, с. 2859-2860; Creton, Kramer, Hadziioannou, 1991, с. 1846-1853; Fayt, Jerome, Teyssie, 1987, с. 328-334; Fayt, Jerome, Teyssie, 1981, с. 1269-1272; Fayt, Jerome, Teyssie, 1986, с. 25-28; Fayt, Jerome, Teyssie, 1989, с. 775-793; Fayt, Jerome, Teyssie, 1988, с. 41-56; Lindsey, Paul, Barlow, 1981, с. 1-8). Нередко достигается

десятикратное увеличение работы разрушения или ударопрочности.

Как на самом деле сополимер влияет и распределяется в полимерных композициях сложно судить по работам (Пол, Бакнелл, 2009, с. 606), в которых экспериментальные образцы получали на технологических установках с процессами смешения расплавов и напряжения сдвига. Работ по изучению влияния сополимера на свойства полимерных смесей, исключая процесс смешения расплава и приближению к минимальному значению напряжения сдвига, ранее не проводилось. В связи с этим, целью работы стало изучение влияния сополимера этилена с пропиленом (СЭП) на свойства полиолефиновых композиций (ПК) для создания упаковочных многослойных материалов.

В работе были поставлены задачи:

- провести комплексное исследование полимерных композиций, модифицированных сополимером этилена с пропиленом различного соотношения;
- изучить влияние СЭП на реологические свойства ПК;
- изучить влияние физико-механических свойств ПК, модифицированных СЭП.

### Экспериментальная часть

В работе была смоделирована лабораторная установка по типу ИИРТ (капиллярная вискозиметрия) с приемным устройством. Данная установка позволяет провести процесс переработки полимерной смеси без смешения расплава и создать условия при минимальном напряжении сдвига (рисунок 1).

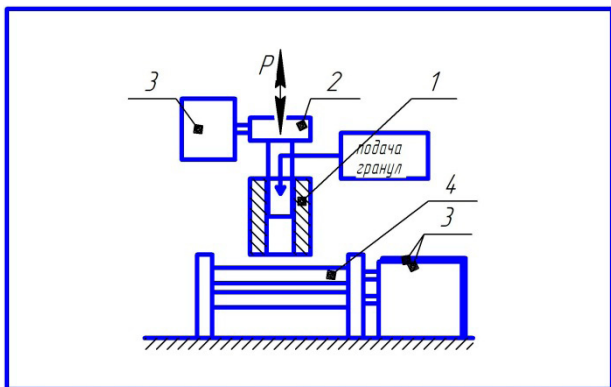


Рисунок 1. Схема смоделируемой лабораторной установки по типу ИИРТ.

Лабораторная установка состоит:

1. экструзионная камера;
2. поршень;
3. двигатель;
4. приемное устройство.

Порядок выполнения работы:

1. включают установку, задают температуру получения образцов в экструзионной камере;
2. после достижения заданной температуры в экструзионную камеру загружают образец (гранулы). Время прогрева образцов материала должна составлять не менее 3-4 мин. Затем включается поршень;
3. скорость движения поршня варьируется в зависимости от условий эксперимента (1 см/мин ÷ 30 см/мин). Включается приемное устройство для получения образцов в виде стренги.

В работе исследовался процесс модификации сополимером этилена с пропиленом полиолефиновых смесей в процессе многократной переработки в лабораторной установке. В качестве объектов исследования были выбраны: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки 15803-020 (ПТР =  $2 \pm 0,2$  г/10 мин), полипропилен (ПП) марки 21030 (ПТР =  $4 \pm 0,5$  г/10 мин), сополимер этилена с пропиленом (СЭП) (50:50) марки PP8300G (ПТР =  $2 \pm 0,2$  г/10 мин). В работе были получены композиции в различном соотношении компонентов ПЭ:ПП:СЭП (68,5:28,5:3; 65:25:10; 28,5:68,5:3; 25:65:10; 48,5:48,5:3; 45:45:10). В качестве контрольных образцов использовали смеси ПЭ-ПП без сополимера в соотношениях 30:70, 70:30 и 50:50. Переработку полимерных смесей осуществляли в установке при температуре  $230 \pm 30$ С с получением стренг. Переработка осуществлялась в три цикла. Каждый цикл включал процесс переработки на лабораторной установке с последующим измельчением в дробилке ножевого типа.

В работе использовали стандартные методы испытаний:

- метод капиллярной вискозиметрии (ГОСТ 11645-73 Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов);
- определение физико-механических свойств композиций (ГОСТ 14236-81 Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение);
- пикнометрический метод определения плотности полимера (ГОСТ 15139-69

«ПЛАСТМАССЫ. Методы определения циклов переработки. плотности (объемной массы)»).

## Результаты и их обсуждения

На первом этапе были получены экспериментальные образцы на основе полимерных композиций с разным содержанием СЭП.

На втором этапе проводили оценку реологических свойств экспериментальных образцов методом капиллярной вискозиметрии. Оценкой реологических свойств является показатель текучести расплава (ПТР).

На рисунке 2 представлена зависимость показателя текучести расплава полимерных композиций от количества циклов переработки.

Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП

№1 – 68,5:28,5:3; №2 – 65:25:10; №3 – 28,5:68,5:3; №4 – 25:65:10; №5 – 48,5:48,5:3; №6 – 45:45:10

Из полученных результатов видно, что многократная переработка смесей приводит к резкому увеличению показателя текучести расплава. Особенно сильно этот процесс проявляется у композиций с содержанием ПП к ПЭ (70:30). При этом введение СЭП в количестве 10% уменьшает процесс увеличения ПТР, и стабилизирует реологические свойства смесей.

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости разрушающего напряжения (рисунок 3) и относительного удлинения при разрыве (рисунок 4) от содержания сополимера этилена с пропиленом в полимерной смеси на основе ПЭ и ПП после двух

Проанализировав полученные данные, можно увидеть, что деформационно-прочностные характеристики полиолефиновых композиций при введении сополимера этилена с пропиленом изменяются не однозначно. Введение 3% СЭП в полимерные композиции с содержанием ПП к ПЭ (70:30) приводит к увеличению разрушающего напряжения на 30% (кривая 2 рисунок 3), при этом относительное удлинение при разрыве уменьшается приблизительно на 40% (кривая 2 рисунок 4) по сравнению с контрольными образцами без сополимера. Можно заметить обратную зависимость для полимерной смеси, содержащей ПЭ 70% и ПП 30%, где введение 3% сополимера приводит к уменьшению разрушающего напряжения полимерных композиций (кривая 1 рисунок 3), при этом относительное удлинение при разрыве практически не изменяется (кривая 1 рисунок 4). Не так заметно наблюдается уменьшение физико-механических свойств композиций ПЭ:ПП (30:70) с содержанием 10% СЭП. При увеличении содержания сополимера до 10% в смеси ПЭ:ПП (70:30) приводит к уменьшению относительного удлинения при разрыве. Для полимерной смеси ПЭ:ПП (50:50) введение сополимера как 3%, так и 10% не влияет большую роль на разрушающее напряжение и относительное удлинение при разрыве.

При рассмотрении зависимости разрушающего напряжения от количества циклов переработки (рисунок 5), следует отметить, что полимерные композиции ПЭ:ПП (30:70), содержащих сополимер (кривые 3, 4 рисунок 5) с увеличением кратности переработки имеют тенденцию к увеличению данного показателя примерно в 2 раза по сравнению с первым циклом переработки. Можно заметить, что показатели исследуемых образцов

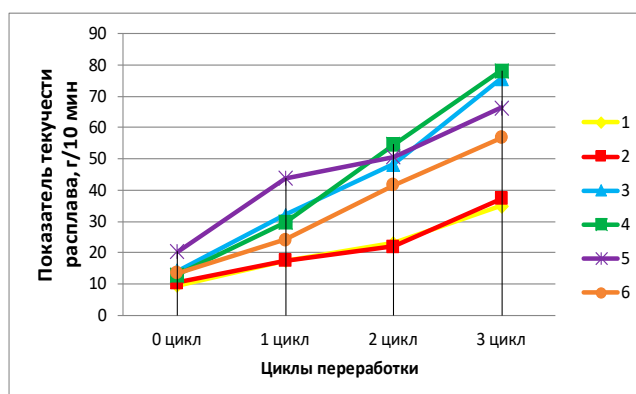


Рисунок 2. Зависимость показателя текучести расплава полимерных композиций.

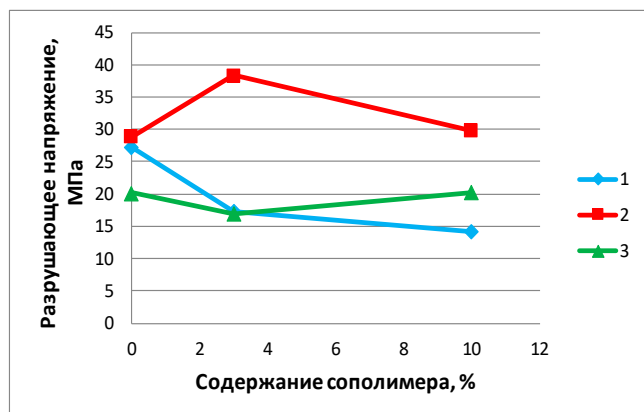


Рисунок 3. Зависимость разрушающего напряжения полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси. Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций: №1 – 70:30; №2 – 30:70; №3 – 50:50

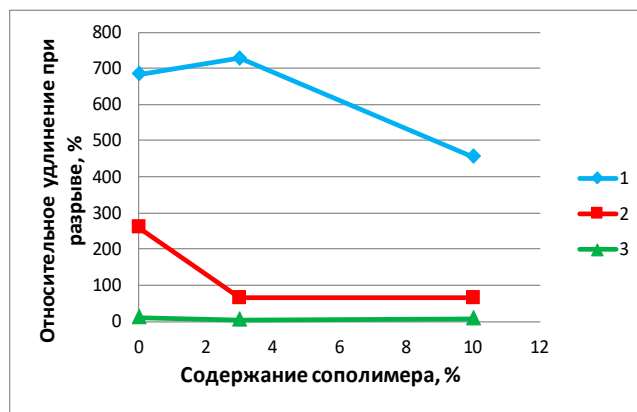


Рисунок 4. Зависимость относительного удлинения при разрыве полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси. Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций: №1 – 70:30; №2 – 30:70; №3 – 50:50

полиолефиновых смесей уменьшаются от цикла к циклу переработки в лабораторной установке, исключение составляет композиции ПЭ:ПП:СЭП, с содержанием компонентов 48,5:48,5:3 и 45:45:10. В этом случае наблюдается на втором цикле переработки уменьшение показателя разрушающего напряжения, а на третьем цикле увеличение показателя.

Увеличение показателя разрушающего напряжения в ПЭ-ПП композициях (30:70) может быть связано с введением сополимера этилена с пропиленом, поскольку контрольные образцы (кривая 8 рисунок 5) имеют значения ниже, чем у композиций, содержащие СЭП.

На основании проведенных исследований можно

рекомендовать исследуемые композиции для получения упаковочных материалов. Однако для применения упаковочных материалов для контакта с пищевыми продуктами необходимо использовать технологию соэкструзии с получением многослойных полиолефиновых материалов, в которых внутренний слой представляет собой смесь отходов ПЭ-ПП, модифицированных СЭП (рисунок 6). Внешний слой и слой, контактирующий с пищевым продуктом, изготавливается из первичных полимеров, не содержащих отходы. Данная технология направлена на получение многослойных материалов типа «сэндвич-упаковка» с использованием отходов, что является актуальным направлением при рециклинге упаковки и упаковочных материалов.

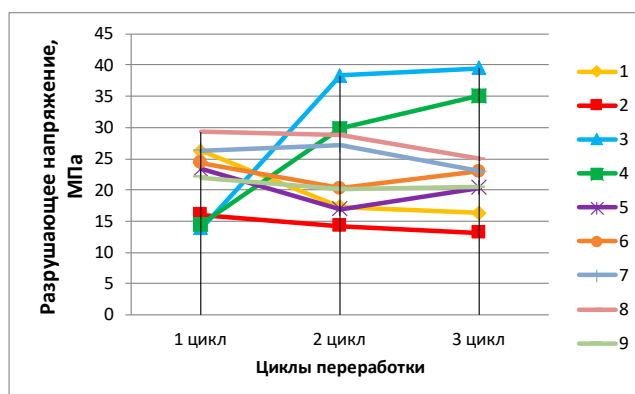


Рисунок 5. Зависимость разрушающего напряжения полимерных композиций. Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП №1 – 68,5:28,5:3; №2 – 65:25:10; №3 – 28,5:68,5:3; №4 – 25:65:10; №5 – 48,5:48,5:3; №6 – 45:45:10; №7 – 70:30:0; №8 – 30:70:0; №9 – 50:50:0

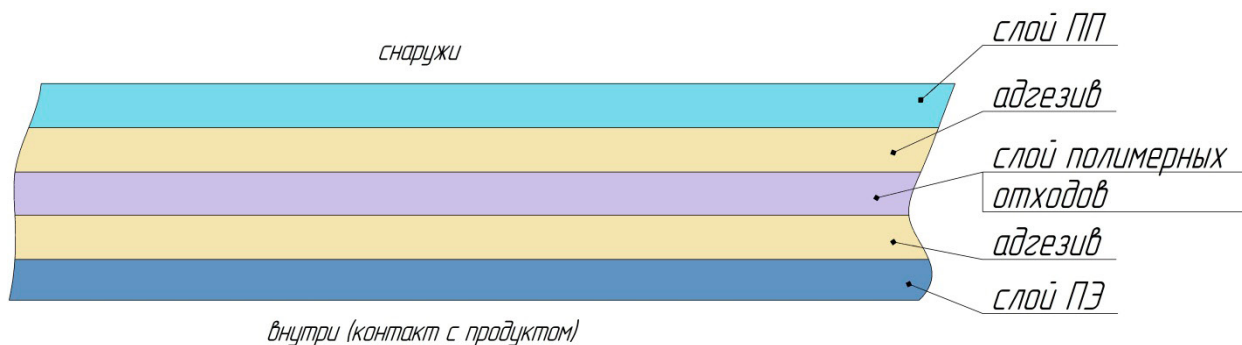


Рисунок 6. Многослойный полимерный материал типа «сэндвич-упаковка».

## Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- многократная переработка полиолефиновых композиций приводит к резкому увеличению показателя текучести расплава, что связано с деструкционными процессами;
- введение СЭП в смесь полиолефинов приводит к стабилизации реологических и физико-механических свойств композиций;
- на основании полученных результатов можно рекомендовать полиолефиновую смесь на основе ПП:ПЭ в соотношении 70:30, модифицированную 3% сополимера этилена с пропиленом, для получения многослойной упаковки;
- предложена технология получения упаковочных многослойных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с пищевыми продуктами.

## Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, уникальным идентификатором проекта является RFMEFI57418X0191.

## Литература

Ананьев В.В., Губанова М.И., Кирш И.А., Семенов Г.В. Модификация полиэтилена, инициированная ультразвуком // Пластические массы. 2008. №6. С. 7-8.

Ананьев В.В., Губанова М.И., Кирш И.А., Семенов Г.В., Хмелевский Г.К. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов. М.: МГУПБ, 2006. 110 с.

Зелке С.Е.М., Кутлер Д., Хернандес Р. Пластиковая упаковка: производство, применение, свойства. СПб.: Профессия, 2011. 560 с.

Кербер М.Л., Головкин Г.С., Горбаткина Ю.А. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. СПб.: Профессия, 2014. 592 с.

Кирш И.А. Направленная модификация полимерных отходов для повторной переработки // Международная конференция «РеПласт» Москва. 2008. С.32-33.

Кирш И.А. Установление закономерностей влияния ультразвукового поля на физико-химические свойства и структуру расплавов полимеров при их вторичной переработке: дисс. ... док.хим. наук. М., 2016. 305 с.

Кирш И.А., Тверитникова И.С. Вторичная переработка многослойных упаковочных материалов // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука. 2017. Ч. 3. С. 143-147.

Кирш И.А., Филинская Ю.А., Помохова Д.А. Изучение влияния ультразвуковой обработки на свойства смесей полиолефинов // Сборник материалов первой международной молодежной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки молодых ученых». 2014. С. 113-116.

Кирш И.А., Чалых Т.И., Ананьев В.В., Заиков Г.Е. Исследование влияние ультразвука на реологические свойства полимеров различной химической природы для создания нового способа повторной переработки полимерных композиций // Вестник казанского технологического университета. 2015. т. 18. вып. 4. С. 182-186.

Кирш И.А., Чалых Т.И., Ананьев В.В., Согрина

- Д.А., Помогова Д.А. Изучение влияния ультразвуковой обработки на реологические свойства полимеров при их многократной переработке // Пластические массы. 2014. №11-12. С. 45-48.
- Кирш И.А., Чалых Т.И., Чалых А.Е., Алиев А.Д., Матвеев В.В. Структурно-морфологические изменения композиций на основе полиэтилена и полиамида при воздействии ультразвука на расплавы полимерных смесей // Пластические массы. 2016. №1-2. С. 45-49.
- Кочнев А.М., Галибеев С.С. Модификация полимеров: конспект лекций. Казань: Казан. гос. технол. ун-та, 2002. 180 с.
- ЛаМантя Ф. Вторичная переработка пластмасс. СПб.: Профессия, 2006. 400 с.
- Пищулин И. Рециклинг сложных пленок // Пластик. 2013. №7 (125). С. 38-44.
- Пол Д.Р., Бакнелл К.Б. Полимерные смеси: пер. с англ. под ред. Кулезнева В.Н. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 606 с.
- Тверитикова И.С., Банникова О.А. Модификация смесей полиолефиновых отходов // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XIX международной научно-практической конференции (22-23 марта 2018 г.): 3 ч. / под ред. В. А. Вагнера, Е. С. Дикаловой; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. Ч. 3. С. 167-170.
- Тверитникова И.С., Кирш И.А. Изучение физико-механических свойств полиолефиновых композиций, содержащих сополимер этилена с пропиленом // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. №8. С. 79-82.
- Тверитникова И.С., Кирш И.А., Кондратова Т.А., Кубышкин А.И. Разработка технологии получения полиолефиновых композиций // Новые решения в упаковке пищевой продукции I научно-практическая конференция с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста», Секция: Новые решения в упаковке пищевой продукции. 2018. С. 166-180.
- Brow H.R. Effect of a diblock copolymer on the adhesion between incompatible polymers // *Macromolecules*. 1989. Vol. 22 (6). P. 2859-2860.
- Creton C., Kramer E.J., Hadziioannou G. Critical molecular weight for block copolymer reinforcement of interfaces in a two-phase polymer blend // *Macromolecules*. 1991. Vol. 24 (8). P. 1846-1853.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Characterization and control of interfaces in emulsified incompatible polymer blends // *Polymer engineering and science*. 1987. Vol. 27. P. 328-334.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. II. Emulsifying effect of a poly(hydrogenated butadiene-b-styrene) copolymer in high-density polyethylene/polystyrene blends // *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physic*. 1981. Vol. 19. P. 1269-1272.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. XII. Direct observation of the location of a block copolymer in low-density polyethylene-polystyrene blends // *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters banner*. 1986. Vol. 24. P. 25-28.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. XIV. Control of the mechanical properties of polyethylene-polystyrene blends by block copolymers // *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physic*. 1989. Vol. 27. P. 775-793.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Study and control of polymer blends morphology and related properties // *Macromolecular Chemistry*. 1988. Vol. 16. P. 41-56.
- Helfand E., Tagami Y. Theory of the interface between immiscible polymers // *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters banner*. 1971. Vol. 9. P. 741-746.
- Helfand E., Sapse A.M. Theory of unsymmetric polymer-polymer interfaces // *The Journal of chemical physics*. 1975. № 62. P. 1327-1335.
- Lindsey C.P., Paul D.R., Barlow J.W. Mechanical Properties of HDPE-PS-SEBS Blends // *Journal of Applied Polymer Science*. 1981. № 26. P. 1-8.
- Serpe G., Jarrin J., Dawans F. Morphology-processing relationships in polyethylene-polyamide blends // *Polymer engineering and science*. 1990. Vol. 30. P. 553-565.
- Willis J.M., Favis B.D. Processing-morphology relationships of compatibilized polyolefin/polyamide blends. Part I: The effect of anlonomercompatibilizer on blend morphology // *Polymer engineering and science*. 1988. Vol. 28. P. 1416-1426.
- Wu S. Phase structure and adhesion in polymer blends: A criterion for rubber toughening // *J. Polymer*. 1985. Vol. 26. P. 1855-1863.

# Development of Multilayered Packaging Materials Using Polyolephin Wastes for Storing Food Products

**Izabella S. Tveritnikova**

*Moscow State University of Food Production  
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation  
E-mail: iza-1995@bk.ru*

**Irina A. Kirsh**

*Moscow State University of Food Production  
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation  
E-mail: irina-kirsh@yandex.ru*

**Tamara A. Kondratova**

*Moscow State University of Food Production  
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation  
E-mail: flash\_toma@mail.ru*

**Andrew I. Kubyshkin**

*Moscow State University of Food Production  
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation  
E-mail: klkub3@rambler.ru*

Every year the range of packaging for bulk products and pasta, consisting of multi-layer polymer films, increases, increasing the shelf life of the finished product. Multi-layer polymer packaging is difficult to dispose of, because the complexity lies in the process of sorting, identification and separation, therefore, most often polymeric waste goes to landfills and landfills. All this leads to an environmental and economic problem in the country. Currently, various techniques are used to process such mixed polymer waste for the production of secondary raw materials, which are returned to the production cycle. One of such methods is the modification of polymer blends by the introduction of reactive additives. The article is devoted to the study of the effect of ethylene-propylene copolymer on the properties of polyolefin compositions for creating multilayer packaging materials. The studies were conducted in the laboratory of composite materials of the Moscow State University of Food Production. The objects of study were selected polymers such as polyethylene, polypropylene and a copolymer of ethylene and propylene (CEP), as a link between the polymers. Images were obtained in a laboratory setup of an MFMT type with a receiver. This installation allows you to process the polymer compositions without melt mixing. In this paper, we studied the process of modifying polymer mixtures based on polyethylene and polypropylene by CEP in a laboratory setup; complex studies of the rheological and physicochemical properties of polymer compositions were carried out. On the basis of the conducted research, it was established that the introduction of a CEP in a polyolefin composition leads to stabilization of rheological and physicochemical properties, and a technology is proposed for producing packaging multilayer materials using packaging waste in the middle layer for contact with food.

**Keywords:** polymers, copolymer, multilayer polymeric materials, rheological properties, physicochemical characteristics, coextrusion, food storage

## Acknowledgements

The research was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the unique identifier of the project is RFMEFI57418X0191.

## References

Ananiev V.V., Gubanova M.I., Kirsh I.A., Semenov G.V. Modification of polyethylene, initiated by ultrasound. *Plasticheskiye massy [Plastics]*, 2008,



- №6, pp. 7-8.
- Ananiev V.V., Gubanov M.I., Kirsh I.A., Semenov G.V., Khmelevsky G.K. Utilizatsiya i vtorichnaya pererabotka polimernykh materialov [Recycling and recycling of polymeric materials]. M.: MGUPB, 2006. 110 p.
- Zelke S.E.M., Kutler D., Hernandez R. Plastikovaya upakovka: proizvodstvo, primeneniye, svoystva [Plastic packaging: production, application, properties]. St. Petersburg: Profession Publ., 2011. 560 p.
- Kerber M.L., Golovkin G.S., Gorbatkina Yu.A. Polimernyye kompozitsionnyye materialy. Struktura. Svoystva. Tekhnologii [Polymer composite materials. Structure. Properties Technology]. St. Petersburg: Profession Publ., 2014. 592 p.
- Kirsh I.A. Directional modification of polymeric wastes for reprocessing. Mezhdunarodnaya konferentsiya "RePlast" Moskva [International Conference "Replast" Moscow], 2008. pp.32-33.
- Kirsh I.A. Ustanovleniye zakonmernostey vliyaniya ul'trazvukovogo polya na fiziko-khimicheskiye svoystva i strukturu rasplavov polimerov pri ikh vtorichnoy pererabotke. Diss. dok. khim. nauk. [Establishing patterns of influence of the ultrasonic field on the physicochemical properties and structure of polymer melts during their recycling. Dr. chem. sci. diss.], Moscow, 2016. 305 p.
- Kirsh I.A., Tveritnikova I.S. Recycling of multilayer packaging materials. Razvitiye pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and science], 2017, Part 3, pp. 143-147.
- Kirsh I.A., Filinskaya Yu.A., Pomogova D.A. Study of the effect of ultrasonic processing on the properties of polyolefin blends. Sbornik materialov pervoy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchnyye issledovaniya i razrabotki molodykh uchennykh" [Collection of materials of the first international youth scientific-practical conference "Scientific research and development of young scientists"], 2014, pp. 113-116.
- Kirsh I.A., Chalykh T.I., Ananyev V.V., Zaikov G.E. Study of the effect of ultrasound on the rheological properties of polymers of various chemical nature to create a new method of recycling polymer compositions. Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Vestnik Kazan technological university], 2015, vol. 4, iss. 18, pp. 182-186.
- Kirsh I.A., Chalykh T.I., Ananyev V.V., Sogrina D.A., Pomogova D.A. Study of the effect of ultrasonic treatment on the rheological properties of polymers during their multiple processing. Plasticheskiye massy [Plastics], 2014, no. 11-12, pp. 45-48.
- Kirsh I.A., Chalykh T.I., Chalykh A.E., Aliyev A.D., Matveyev V.V. Structural-morphological changes of compositions based on polyethylene and polyamide when ultrasound affects melts of polymer blends. Plasticheskiye massy [Plastics], 2016, no. 1-2, pp. 45-49.
- Kochnev A.M., Galibeev S.S. Modifikatsiya polimerov: konspekt lektsiy [Polymer modification: lecture notes]. Kazan: Kazan. state tehnol. University, 2002. 180 p.
- LaMantia F. Vtorichnaya pererabotka plastmass [Recycling plastics]. St. Petersburg: Profession Publ., 2006. 400 p.
- Pishchulin I. Recycling of complex films. Plastiks [Plastics], 2013, no. 7 (125), pp. 38-44.
- Paul D.R., Bucknell K.B. Polimernyye smesi: per. s angl. pod red. Kulezneva V.N. [Polymer blends: trans. from English by ed. Kulezneva V.N.], St. Petersburg: Scientific fundamentals and technologies, 2009. 606 p.
- Tveritnikova I.S., Bannikova O.A. Modification of polyolefin waste mixtures. Sovremennyye problemy tekhniki i tekhnologii pishchevykh proizvodstv: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (22-23 marta 2018 g.): 3 ch. / pod red. V. A. Vagnera, Ye. S. Dikalovoy; Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova [Modern problems of food technology and technology: materials of the XIX International Scientific and Practical Conference (March 22-23, 2018): Part 3 / ed. V.A. Wagner, E.S. Dikalova; Alt. state tech. un-t them. I.I. Polzunov], Barnaul: Publishing house AltGTU, 2018. Part 3. p. 167-170.
- Tveritnikova I.S., Kirsh I.A. Study of the physicomechanical properties of polyolefin compositions containing a copolymer of ethylene and propylene. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University], 2018, no. 8, iss. 21, pp. 79-82.
- Tveritnikova I.S., Kirsh I.A., Kondratova T.A., Kubyshekin A.I. Development of technology for the production of polyolefin compositions. Novyye resheniya v upakovke pishchevoy produktsii I nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem «Peredovyye pishchevyye tekhnologii: sostoyaniye, trendy, tochki rosta», Sektsiya: Novyye resheniya v upakovke pishchevoy produktsii [New solutions in food packaging I Scientific and Practical Conference with international participation "Advanced food technologies: state, trends, points of growth", Section: New solutions in food packaging], 2018, pp. 166-180.
- Brow H.R. Effect of a diblock copolymer on the adhesion

- between incompatible polymers, *Macromolecules*, 1989, Vol. 22 (6), pp. 2859–2860.
- Creton C., Kramer E.J., Hadziioannou G. Critical molecular weight for block copolymer reinforcement of interfaces in a two-phase polymer blend, *Macromolecules*, 1991, Vol. 24 (8), pp. 1846–1853.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Characterization and control of interfaces in emulsified incompatible polymer blends, *Polymer engineering and science*, 1987, Vol. 27, pp. 328-334.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. II. Emulsifying effect of a poly(hydrogenated butadiene-*b*-styrene) copolymer in high-density polyethylene/polystyrene blends, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 1981, Vol. 19, pp. 1269-1272.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. XII. Direct observation of the location of a block copolymer in low-density polyethylene-polystyrene blends, *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters*, 1986, Vol. 24, pp. 25-28.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Molecular design of multicomponent polymer systems. XIV. Control of the mechanical properties of polyethylene-polystyrene blends by block copolymers, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 1989, Vol. 27, pp. 775-793.
- Fayt R., Jerome R., Teyssie Ph. Study and control of polymer blends morphology and related properties, *Macromolecular Chemistry*, 1988, Vol. 16, pp. 41-56.
- Helfand E., Tagami Y. Theory of the interface between immiscible polymers, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters*, 1971, Vol. 9, pp. 741-746.
- Helfand E., Sapse A.M. Theory of unsymmetric polymer-polymer interfaces, *The Journal of chemical physics*, 1975, no. 62, pp. 1327-1335.
- Lindsey C.P., Paul D.R., Barlow J.W. Mechanical Properties of HDPE-PS-SEBS Blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 1981, no. 26, pp. 1-8.
- Serpe G., Jarrin J., Dawans F. Morphology-processing relationships in polyethylene-polyamide blends, *Polymer engineering and science*, 1990, Vol. 30, pp. 553-565.
- Willis J.M., Favis B.D. Processing-morphology relationships of compatibilized polyolefin/polyamide blends. Part I: The effect of anlonomercompatibilizer on blend morphology, *Polymer engineering and science*, 1988, Vol. 28, pp. 1416-1426.
- Wu S. Phase structure and adhesion in polymer blends: A criterion for rubber toughening, *J. Polymer*, 1985, Vol. 26, pp. 1855-1863.