

Разработка многослойного упаковочного материала на основе полиолефиновых смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом, для хранения пищевых продуктов

И. С. Тверитникова*^{ORCID}, И. А. Кириш^{ORCID}, Д. А. Помогова^{ORCID}, О. А. Банникова^{ORCID},
О. В. Безнаева^{ORCID}, В. А. Романова^{ORCID}

ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет пищевых производств»,

125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Дата поступления в редакцию: 01.03.2019

Дата принятия в печать: 28.03.2019

*e-mail: iza-1995@bk.ru



© И. С. Тверитникова, И. А. Кириш, Д. А. Помогова, О. А. Банникова, О. В. Безнаева, В. А. Романова, 2019

Аннотация. Цель работы – провести комплексное исследование, направленное на увеличение технологической совместимости многослойных упаковочных материалов для разработки технологии их повторной переработки с перспективой возврата полученного вторичного сырья в производственный цикл. В работе были поставлены задачи: провести комплексное исследование полиолефиновых смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом; изучить влияние сополимера на реологические и физико-механические свойства полимерных композиций; предложить технологию повторной переработки вторичных полиолефиновых смесей в производственный цикл. В ходе работы были проведены следующие методы исследования: метод капиллярной вискозиметрии для определения реологических свойств полимерных композиций; метод испытания на растяжение для определения физико-механических свойств композиций; пикнометрический метод для определения плотности смесей. В качестве объектов исследования были выбраны такие полимеры, как полиэтилен, полипропилен и сополимер этилена с пропиленом (СЭП) как связующее звено между полимерами. В работе были получены полимерные композиции в различном соотношении компонентов ПЭ:ПП:СЭП (70:30:0; 68,5:28,5:3; 65:25:10; 30:70:0; 28,5:68,5:3; 25:65:10). В работе исследовался процесс модификации полиолефиновых композиций на основе полиэтилена и полипропилена СЭПом на одношнековом экструдере. Были проведены исследования реологических свойств и деформационно-прочностных характеристик полимерных смесей. На основании проведенных исследований установлено, что многократная переработка приводит к уменьшению физико-механических свойств полиолефиновых смесей. Исключение составляют композиции на основе ПЭ:ПП в соотношении 30:70, где разрушающее напряжение увеличивается. От количества циклов переработки увеличивается показатель текучести расплава смесей. Предложена технология получения многослойных упаковочных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с продуктами питания.

Ключевые слова. Многослойные полимерные материалы, сополимер, соэкструзия, реологические и физико-механические свойства

Для цитирования: Разработка многослойного упаковочного материала на основе полиолефиновых смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом, для хранения пищевых продуктов / И. С. Тверитникова, И. А. Кириш, Д. А. Помогова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 135–143. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-135-143>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

Polyolefin-Based Multilayer Packaging Material Modified by Ethylene Propylene Copolymer in Food Storage

I.S. Tveritnikova*^{ORCID}, I.A. Kirsh^{ORCID}, D.A. Pomogova^{ORCID}, O.A. Bannikova^{ORCID},
O.V. Beznaeva^{ORCID}, V.A. Romanova^{ORCID}

Moscow State University of Food Production,
11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia

Received: March 01, 2019

Accepted: March 28, 2019

*e-mail: iza-1995@bk.ru



© I.S. Tveritnikova, I.A. Kirsh, D.A. Pomogova, O.A. Bannikova, O.V. Beznaeva, V.A. Romanova, 2019

Abstract. The research features a comprehensive study aimed at increasing the technological compatibility of multilayer packaging materials. The paper describes a recycling technology with the prospect of returning the resulting secondary raw materials to the production cycle. The research included the following tasks: to conduct a comprehensive study of polyolefin

mixtures modified by ethylene propylene copolymer; to study the effect of the copolymer on the rheological and physico-mechanical properties of polymer compositions; to propose a technology for the recycling of secondary polyolefin mixtures. The research involved the following methods: the capillary viscometry method was used to determine the rheological properties of polymer compositions; the tensile test method was employed to define the physico-mechanical properties of the compositions; the pycnometric method was used to assess the density of the mixtures. The study featured such polymers as polyethylene, polypropylene, and ethylene-propylene copolymer, which was chosen as a link between the polymers. The authors obtained polymer compositions in various ratios of polyethylene, polypropylene, and ethylene-propylene copolymer: 70:30:0; 68.5:28.5:3; 65:25:10; 30:70:0; 28.5: 68.5: 3; 25:65:10. The article describes the process of modifying polyolefin compositions based on polyethylene and polypropylene by ethylene-propylene copolymer on a single-screw extruder. The authors defined the rheological properties and the deformation-strength characteristics of the polymer mixtures. Repeated processing proved to lead to a decrease in the physico-mechanical properties of polyolefin mixtures, with the exception of compositions based on polyethylene and polypropylene in the ratio of 30:70, where the breaking stress increased. The number of processing cycles increased the melt flow rate of the mixtures. The proposed technology is meant for producing multilayer packaging materials using packaging waste in the middle layer for contact with food.

Keywords. Multilayer polymeric materials, copolymer, coextrusion, rheological and physico-mechanical properties

For citation: Tveritnikova IS, Kirsh IA, Pomogova DA, Bannikova OA, Beznaeva OV, Romanova VA. Polyolefin-Based Multilayer Packaging Material Modified by Ethylene Propylene Copolymer in Food Storage. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):135–143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-135-143>.

Введение

В мире на сегодняшний день одним из основных направлений использования пластических масс является упаковочная продукция. Использование полимеров в упаковке составляет 41 %, 47 % из которых расходуется на упаковку пищевых продуктов. Потребление полимеров для изготовления упаковки составляет более 38 % от всего объема потребления пластмасс в Европе и, примерно, 29 % от объема потребления термопластов в США [1]. Тенденция развития упаковочных полимерных материалов для продуктов питания имеет большую направленность на введение в сегмент рынка многослойных полимерных материалов, которые обладают высоким комплексом барьерных свойств. Так, например, для упаковки сыпучих продуктов (пшеница, рис, гречка, горох и др.) и макаронных изделий используют многослойные материалы на основе полиолефинов: полиэтилен (ПЭ) – полипропилен (ПП), ПЭ – ориентированный ПП (ОПП), ПП-ОПП и другие виды. Такие материалы обладают высокими барьерными свойствами: высокая жиростойкость, низкая паро- и газопроницаемость. Данные свойства позволяют обеспечивать требуемые сроки для хранения продуктов питания [2–5]. Например, двухслойная соэкструзионная пленка (ПП-ПЭ) удачно сочетает положительные качества полипропиленовых (блеск, прозрачность, жиростойкость и др.) и полиэтиленовых пленок (морозостойкость и пр.). Характеризуется прекрасным внешним видом, хорошей прозрачностью, блеском, стойкостью к повреждениям и отличной свариваемостью, повышенной морозостойкостью. Прочность при растяжении до 25 МПа, относительное удлинение при разрыве не менее 400 %, паропроницаемость не более 2 г/м²/24ч, газопроницаемость по кислороду не более 5×10⁻⁸ м²ПА⁻¹с⁻¹, стойкость к проколу не менее 8 Мпа [6]. Однако на стадиях производства упаковки и ее потребления образуются смешанные полимерные отходы, которые необходимо утилизировать. Большое количество таких отходов из многослойных матери-

алов утилизируются методом захоронения на свалках и полигонах или сжигаются. Это наносит ущерб окружающей среде. Поэтому все больше уделяется внимание вопросам разработки технологии переработки многослойных упаковочных материалов с перспективой возврата полученного вторичного сырья в производственный цикл [7–9]. В Европе производится 492 кг отходов на человека в год, из которых перерабатывается меньшая часть – 42 %, а оставшиеся 58 % захороняются или сжигаются. Об этом сообщил генеральный директор «PET Baltija» Каспарс Фогельманис в своем докладе, посвященном рециклингу пластмасс в Европе. Сегодня практически 50 % всего собираемого и перерабатываемого объема пластика в Европейском союзе (ЕС) приходится на Францию, Германию и Италию. К этим странам примыкают Испания и Великобритания, формируя пятерку крупнейших игроков и собирая около 71 % всего объема отходов в ЕС. Европейской Комиссией предложено увеличение процента переработки всего потока пластиковых отходов в ЕС до 55 % к 2025 г [10].

Многослойные полимерные материалы имеют в своем составе полимеры различной химической природы, а также разное количество полимерных слоев. Большинство полимеров термодинамически несовместимы и, в связи с этим, имеют разные технологические показатели по реологическим свойствам, а также разные температурные режимы переработки [7, 11]. При совместной переработке таких отходов образуются технологически несовместимые системы, которые приводят не только к уменьшению эксплуатационных характеристик вторичного сырья, но и снижают качество изделия, что не удовлетворяет спросу на рынке сбыта. Это понижает эффективность совместной переработки полимерных отходов. Для устранения таких недостатков целесообразно использовать модификацию полимерных композиций [12–16]. Для увеличения технологической совместимости в полимерных смесях используют различные приемы: введение агентов совместимости, модификаторов на осно-

ве ангидридов [17]. На сегодняшний день большое влияние уделяется исследованиям в области модификации полимерных смесей путем введения реакционно-способных добавок (малеиновые ангидриды и диангидриды привитого типа). В случае модификации полимерных смесей агентами совместимости может реализовываться механизм взаимодействия макромолекул с реакционно-способными модификаторами с образованием привитых, статистических или блок-сополимеров [7, 17]. Необходимым условием модификатора является создание макромолекулярных центров, способных инициировать рост привитых ветвей. Основным способом активации полимеров является окисление с образованием гидроперекисных групп при последующем разложении которых образуются свободные радикалы как инициаторы роста привитых цепей. Основными параметрами скорости реакции сополимеризации является степень окисления полимера, температура и продолжительность процесса. Такие сополимеры при добавлении в полимерные смеси увеличивают технологический интервал совместимости [7, 17].

Большинство взаимонерастворимых смесей имеют худшие механические свойства, по сравнению с исходными компонентами, а их фазовая морфология сильно зависит от предыстории переработки. Первой причиной этого является неблагоприятное взаимодействие между молекулами сегментами компонентов, которое определяет их взаимную растворимость [18]. Неблагоприятное взаимодействие ведет: к большому межфазному натяжению в расплаве, что тормозит тонкое диспергирование компонентов при смешении и вызывает перестройку частиц фазы (например, коалесценцию) при слабом напряжении или в стационарном состоянии; к слабой межфазной адгезии в твердом состоянии, что влечет механическое разрушение из-за наличия «слабых мест» между фазами. Устранение этих проблем (компатибилизация) может осуществляться путем добавления блок- или привитых сополимеров, которые работают как межфазные модификаторы [18].

Образование группировок сополимера на межфазной границе уменьшает межфазное натяжение, ведет к стерической стабилизации, которая задерживает коалесценцию дисперсной фазы [18], и усиливает межфазную границу в твердом состоянии. Главный выигрыш состоит в значительном уменьшении размеров доменов фаз, что критично для достижения хороших физических свойств смеси. Кроме того, получаемая морфология более стабильна и предсказуема. Это расширяет диапазон условий переработки и производства.

Формирование морфологии при участии химических реакций в многофазных полимерных системах – это динамический процесс: чем создается большая поверхность при разрушении дисперсной фазы вследствие реакций на межфазной границе, тем больше вероятность того, что функциональные группы найдут друг друга и прореагируют с образованием большего количества сополимера, что приведет еще к более мелкой дисперсности частиц. Однако имеются как химические, так и физические

ограничения на протекание процесса [18]. Ограничения по кинетике реакций могут быть жесткими, поскольку время выдержки в промышленных смесительных устройствах (экструдер) составляет примерно одну минуту, и реакция может произойти только на поверхности межфазной границы.

Целью данной работы является проведение комплексного исследования, которое направлено на увеличение технологической совместимости многослойных упаковочных материалов для разработки технологии их повторной переработки с перспективой возврата полученного вторичного сырья в производственный цикл.

В работе были поставлены задачи:

- провести комплексное исследование полиолефиновых смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом в различном соотношении компонентов;
- изучить влияние СЭП на деформационно-прочностные характеристики полимерных композиций;
- изучить влияние реологических свойств смесей, модифицированных сополимером этилена с пропиленом;
- предложить технологию повторной переработки вторичных полиолефиновых смесей в производственный цикл.

Объекты и методы исследования

В работе исследовался процесс модификации полиолефиновых смесей сополимером этилена с пропиленом в процессе многократной переработки на одношнековом лабораторном экструдере (рис. 1). Образцы получали в виде стренги при температуре 230 ± 3 °С. Переработка осуществлялась в три цикла. Каждый цикл включал процесс переработки на лабораторном оборудовании с последующим измельчением в дробилке ножевого типа. Температура переработки полимерных смесей выбиралась с учетом переработки полимера. На основании ранее проведенных работ и дальнейших сравнений исследований в работе использовали три цикла переработки полиолефиновых смесей. Данная

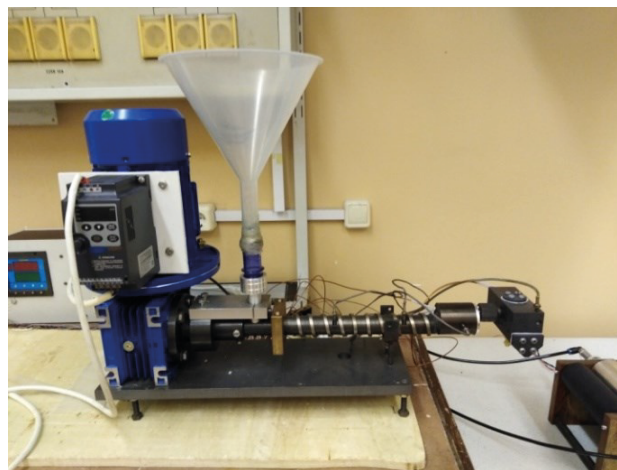


Рисунок 1 – Лабораторная экструзионная установка

Figure 1 – Laboratory extrusion unit

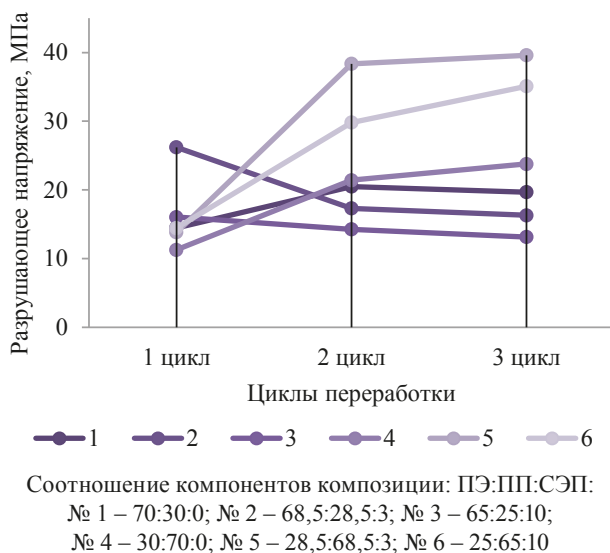


Рисунок 2 – Зависимость разрушающего напряжения от количества циклов переработки

Figure 2 – Effect of the number of processing cycles on the destructive voltage

экструзионная линия была разработана в лаборатории композитных материалов Московского государственного университета пищевых производств.

Стренги – это нити, которые образуются из жидкой полимерной массы. Они формируются через стренговую головку и охлаждаются на валковом каландре. Далее, нож разрезает их на гранулы [9].

В качестве объектов исследования были выбраны смеси на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 15813-020, производитель ПАО «Казаньоргсинтез» (показатель текучести расплава (ПТР) – 2 г/10 мин); ПП марки 2120-16, производитель ПАО «Казаньоргсинтез» (ПТР – 4 г/10 мин); сополимер этилена с пропиленом (СЭП) (50:50) марки PP8300G, производитель ОАО «Нижнекамскнефтехим» (ПТР – 2 г/10 мин). В работе были получены полимерные композиции в различном соотношении компонентов ПЭ:ПП:СЭП (68,5:28,5:3; 65:25:10; 28,5:68,5:3; 25:65:10). В качестве контрольных образцов использовали полимерные смеси на основе ПЭ-ПП без сополимера в соотношениях 70:30 и 30:70.

В ходе работы были проведены исследования:

- на реологические свойства полимеров и композиций методом капиллярной вискозиметрии. Эксперимент проводился на приборе типа ИИРТ (ГОСТ 1145-73. «Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов»);
- на физико-механические свойства полимерных материалов. Испытания проводились на разрывной машине РМ-10 (ГОСТ 14236-81. «Пленки полимерные. Методы испытания на растяжение»);
- на определение плотности пикнометрическим методом. Данный метод заключается в определении плотности образцов при помощи ареометра в момент перехода образца во взвешенное состояние (ГОСТ 15139-69. «Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы)»).

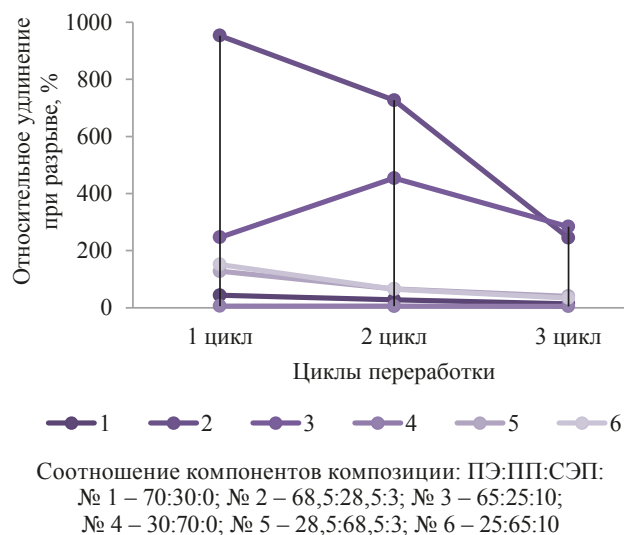


Рисунок 3 – Зависимость относительного удлинения при разрыве от количества циклов переработки

Figure 3 – Effect of the number of processing cycles on the relative elongation at the break

Результаты и их обсуждение

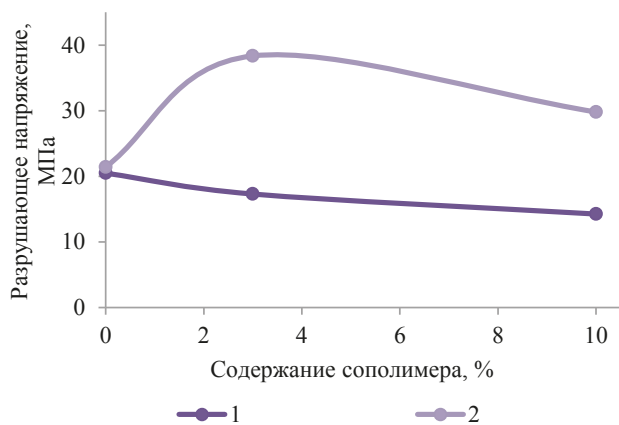
На лабораторном оборудовании вовремя первого этапа получили экспериментальные образцы на основе полимерных композиций ПЭ-ПП с разным содержанием СЭП.

На следующем этапе были проведены физико-механические исследования полученных полимерных смесей.

На рисунках 2, 3 представлены зависимости разрушающего напряжения (рис. 2) и относительное удлинение при разрыве (рис. 3) от количества циклов переработки.

Проанализировав данные, следует отметить, что разрушающее напряжение в полимерных композициях ПЭ:ПП (30:70), содержащих СЭП (рис. 2, кривые 5, 6), с увеличением кратности переработки увеличивается, примерно, в 2 раза по сравнению с первым циклом переработки. Увеличение показателя разрушающего напряжения в данных композициях, возможно, связано с введением сополимера этилена с пропиленом, поскольку контрольные образцы имеют значения ниже, чем у полимерных смесей, которые содержат в себе сополимер. В полимерных композициях на основе ПЭ и ПП в соотношении 70 % и 30 % показатель разрушающего напряжения уменьшается от цикла к циклу переработки в экструдере.

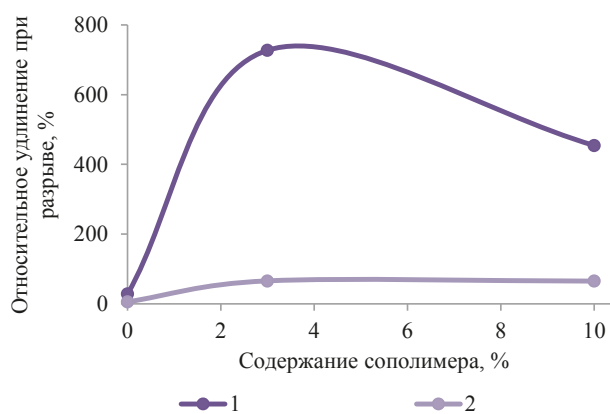
При рассмотрении данных относительного удлинения при разрыве полимерных смесей можно увидеть, что с увеличением количества циклов переработки на лабораторном оборудовании наблюдается уменьшение данного показателя (рис. 3). В случае композиций на основе ПЭ и ПП в соотношении 30:70 с содержанием сополимера как 3 %, так и 10 % наблюдается наименьшее изменение данного показателя. Необходимо отметить, что относительное удлинение при разрыве полимерных компози-



Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций: № 1 – 70:30; № 2 – 30:70

Рисунок 4 – Зависимость разрушающего напряжения полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси

Figure 4 – Effect of the copolymer content in the polyolefin mixture on the breaking stress of the polymer compositions



Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций: № 1 – 70:30; № 2 – 30:70

Рисунок 5 – Зависимость относительного удлинения при разрыве полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси

Figure 5 – Effect of the content of the copolymer in the polyolefin mixture on the relative elongation at the break of the polymer compositions

ций ПЭ:ПП в соотношении 70:30 и 30:70 с введением любого количества сополимера этилена с пропиленом имеют большие значения, чем у композиций, не содержащих СЭП.

На рисунках 4, 5 представлены зависимости разрушающего напряжения (рис. 4) и относительного удлинения при разрыве (рис. 5) от содержания сополимера этилена с пропиленом в полимерной смеси на основе ПЭ и ПП после двух циклов переработки.

Из полученных результатов видно, что при введении сополимера этилена с пропиленом в полимерные смеси деформационно-прочностные характеристики изменяются неоднозначно. При введении сополимера в количестве 3 % в полимерную

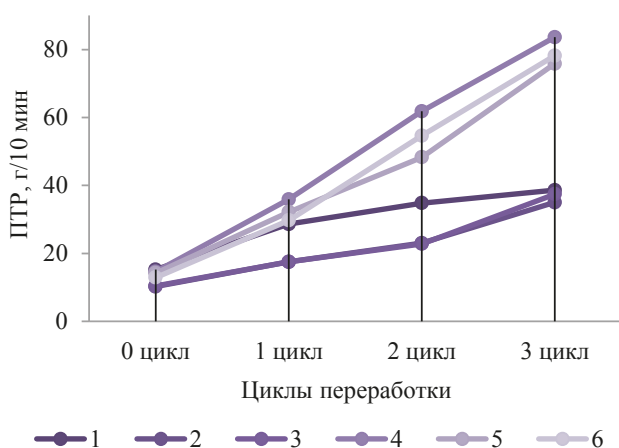
смесь на основе ПЭ и ПП в соотношении 30:70 приводит к увеличению разрушающего напряжения в 1,5 раза (рис. 4, кривая 2), а также к возрастанию относительного удлинения при разрыве от 6 % до 66 % (рис. 5, кривая 2). Можно отметить обратную зависимость в полимерных композициях, содержащих ПЭ 70 % и ПП 30 %, где введение СЭП приводит к уменьшению показателя разрушающего напряжения (рис. 4, кривая 1). Относительное разрушение при разрыве сильно возрастает с 30 % до 730 %.

При введении 10 % сополимера наблюдается увеличение относительного удлинения при разрыве и разрушающего напряжения в композиции ПЭ:ПП (30:70), а в полимерных смесях с содержанием ПЭ 70 % и ПП 30 % разрушающее напряжение уменьшается, но относительное удлинение при разрыве увеличивается с 30 % до 450 %.

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

На рисунке 6 представлена зависимость показателя текучести расплава полимерных смесей от количества циклов переработки.

На основании проведенных исследований можно увидеть, что многократная переработка полиолефиновых композиций приводит к резкому увеличению показателя текучести расплава. Особенно сильно данный процесс проявляется у композиций с содержанием ПЭ и ПП в соотношении 30:70. Полученные данные свидетельствуют о протекании процессов деструкции в полимерных смесях (с большим содержанием ПП) более интенсивно, по сравнению с композициями, содержащими меньшее количество ПП. При рассмотрении полученных результатов можно отметить, что при введении в смеси сополимера этилена с пропиленом



Соотношение компонентов композиций: ПЭ:ПП:СЭП: № 1 – 70:30:0; № 2 – 68,5:28,5:3; № 3 – 65:25:10; № 4 – 30:70:0; № 5 – 28,5:68,5:3; № 6 – 25:65:10

Рисунок 6 – Зависимость показателя текучести расплава от количества циклов переработки

Figure 6 – Effect of the number of processing cycles on the melt flow rate

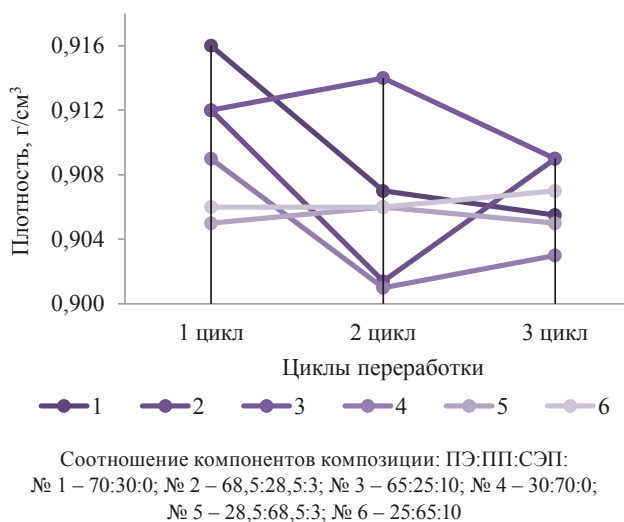


Рисунок 7 – Зависимость плотности от количества циклов переработки

Figure 7 – Effect of the number of processing cycles on the density

ном наблюдается уменьшение ПТР, в сравнении с образцами, полученными без добавления СЭП.

При изучении плотности полиолефиновых смесей (рис. 7) в зависимости от кратности переработки можно отметить, что с увеличением количества циклов переработки на лабораторном оборудовании отмечается уменьшение данного показателя для всех исследуемых композиций за исключением ПЭ:ПП:СЭП с содержанием компонентов 28,5:68,5:3 и 25:65:10. Для данных полимерных смесей характерно увеличение плотности, что свидетельствует об изменении надмолекулярной структуры полиолефиновых композиций при введении сополимера этилена с пропиленом.

В результате проведенных исследований можно рекомендовать исследуемые полимерные композиции для получения упаковочных материалов. Тем не менее, для того чтобы использовать такие упаковочные материалы для контакта с пищевыми продуктами, необходимо использовать технологию соэкструзии с получением многослойных полимерных материалов, где внутренний слой представляет собой смесь отходов ПЭ-ПП, модифицированных сополимером этилена с пропиленом (рис. 8).

Внешний слой и слой, который контактирует с продуктами питания, должен изготавливаться из первичных полимеров, не содержащих полимерных отходов. Метод соэкструзии заключается в переработке в одном экструдере слоя полиэтилена, в другом – слоя полипропилена, и в третьем экструдере – смесь отходов на основе ПЭ-ПП-СЭП, из которых попадают в соэкструзионную головку плоскощелевой конструкции. Полимеры поступают в загрузочные бункеры, расплавляются и выдавливаются в виде пленки. Такая технология направлена на получение многослойных полимерных материалов типа «сэндвич-упаковка» с использованием отходов пластика. Это является актуальным направлением при рециклинге упаковочных материалов.

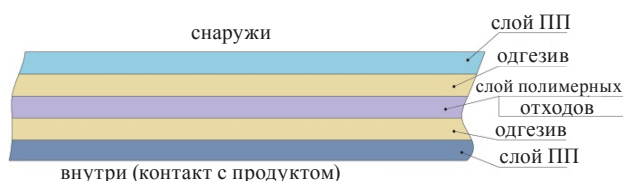


Рисунок 8 – Многослойный полиолефиновый материал типа «сэндвич-упаковка»

Figure 8 – Multilayer polyolefin material of the “sandwich” type

Выводы

На основании проведенных исследований по изучению влияния сополимера этилена с пропиленом на свойства полиолефиновых смесей можно отметить следующее:

- в полимерных композициях на основе ПЭ:ПП в соотношении 70:30 приводит к уменьшению разрушающего напряжения с добавлением большего количества сополимера и увеличению относительного удлинения при разрыве. Максимальная точка наблюдается при концентрации СЭП 3 %;
- в композициях ПЭ 30 % и ПП 70 % наблюдается увеличение разрушающего напряжения и относительного удлинения по сравнению с полимерными смесями без добавления сополимера;
- многократная переработка приводит к уменьшению деформационно-прочностных характеристик полиолефиновых композиций. Исключение составляют полимерные смеси на основе ПЭ и ПП в соотношении 30:70, где разрушающее напряжение увеличивается;
- многократная переработка полимерных смесей приводит к резкому увеличению показателя текучести расплава, что связано с деструкционными процессами. Однако, проанализировав данные, можно заметить, что полиолефиновые композиции, модифицированные сополимером этилена с пропиленом, имеют меньшие значения данного показателя по сравнению с контрольными образцами без введения сополимера;
- на основании полученных результатов можно рекомендовать полимерную композицию на основе ПЭ:ПП в соотношении 30:70, модифицированную 3 % сополимера этилена с пропиленом, для получения многослойной упаковки;
- предложена технология получения многослойных упаковочных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с продуктами питания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57418X0191.

Список литературы


1. Богданова, А. С. Полимеры для упаковки / А. С. Богданова // Новые химические технологии. – 2014. – № 6. – С. 4–7.
2. Пищулин, И. Рециклинг сложных пленок / И. Пищулин // Пластикс. – 2013. – Т. 125, № 7. – С. 38–44.
3. Зелке, С. Е. М. Пластиковая упаковка: производство, применение, свойства / С. Е. М. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. – СПб. : Профессия, 2011. – 560 с.
4. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии / М. Л. Кербер, Г. С. Головкин, Ю. А. Горбаткина. – СПб. : Профессия, 2014. – 592 с.
5. Кириш, И. А. Направленная модификация полимерных отходов для повторной переработки / И. А. Кириш // Международная конференция «РеПласт». – М., 2008. – С. 32–33.
6. Барьерные многослойные пленки // Специальный выпуск «Все о пленках». – 2014. – С. 8–18.
7. Кириш, И. А. Установление закономерностей влияния ультразвукового поля на физико-химические свойства и структуру расплавов полимеров при их вторичной переработке: дисс. ... док. хим. наук: 02.00.06 / Кириш Ирина Анатольевна. – Иваново, 2016. – 22 с.
8. Тверитникова, И. С. Модификация смесей полиолефиновых отходов / И. С. Тверитникова, О. А. Банникова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : материалы XIX международной научно-практической конференции / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2018. – С. 167–170.
9. Суворова, А. И. Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов / А. И. Суворова, И. С. Тюкова. – Екатеринбург : Уральский государственный университет им. А. М. Горького, 2008. – 130 с.
10. Вторичная переработка полимеров 2018: Сжигать нельзя, перерабатывать! // Plastinfo. – 2018. – С. 9–10.
11. Кириш, И. А. Вторичная переработка многослойных упаковочных материалов / И. А. Кириш, И. С. Тверитникова // Материалы научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука» / Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2017. – С. 143–147.
12. Регулирование физико-механических свойств вторичного полиэтилентерефталата путем химической и физической модификации / И. А. Кириш, И. Т. Чалых, В. В. Ананьев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 7. – С. 79–82.
13. Тверитникова, И. С. Изучение физико-механических свойств полиолефиновых композиций, содержащих сополимер этилена с пропиленом / И. С. Тверитникова, И. А. Кириш // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 8. – С. 79–82.
14. Разработка технологии получения полиолефиновых композиций / И. С. Тверитникова, И. А. Кириш, Т. А. Кондратова [и др.] // «Новые решения в упаковке пищевой продукции» : материалы I научно-практической конференции с международным участием «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста» / Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2018. – С. 166–180.
15. Тверитникова, И. С. Разработка технологии переработки отходов упаковки без их сортировки / И. С. Тверитникова, И. А. Кириш, Б. Н. Федоренко // Пищевая промышленность. – 2017. – № 11. – С. 20–23.
16. Иванов, А. Б. Модификация полимерных смесей сополимером / А. Б. Иванов, И. С. Тверитникова, И. А. Кириш // «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности» : Материалы конференции с международным участием / Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2018. – С. 20–25.
17. Кочнев, А. М. Модификация полимеров / А. М. Кочнев, С. С. Галибеев. – Казань : Казанский государственный технологический университет, 2002. – 180 с.
18. Пол, Д. Р. Полимерные смеси / Д. Р. Пол, К. Б. Бакнелл. – СПб. : Научные основы и технологии, 2009. – 606 с.

References


1. Bogdanova AS. Polimery dlya upakovki [Polymers for packaging]. Novye khimicheskie tekhnologii [New Chemical Technologies]. 2014;(6):4–7. (In Russ.).
2. Pishchulin I. Recycling for complex films. Plastik. 2013;125(7):38–44. (In Russ.).
3. Zelke SEM, Kutler D, Khernandes R. Plastikovaya upakovka: proizvodstvo, primeneniye, svoystva [Plastic packaging: production, use, and properties]. St. Petersburg: Professija; 2011. 560 p. (In Russ.).
4. Kerber ML, Golovkin GS, Gorbatkina YuA. Polimernye kompozitsionnye materialy. Struktura. Svoystva. Tekhnologii [Polymer composite materials. Structure. Properties. Technologies]. St. Petersburg: Professija; 2014. 592 p. (In Russ.).
5. Kirsh IA. Directional modification of polymer waste for recycling. International conference “RePlast”; 2008. Moscow. Moscow: Plastik; 2008. p. 32–33. (In Russ.).
6. Bar’ernye mnogosloynnye plenki [Barrier multilayer films]. Spetsial’nyy vypusk “Vse o plenkakh” [All About Films: Special Issue]. 2014:8–18. (In Russ.).
7. Kirsh IA. Ustanovleniye zakonomernostey vliyaniya ul’trazvukovogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva i strukturu rasplavov polimerov pri ikh vtovichnoy pererabotke [Establishing patterns of influence of the ultrasonic field on the physicochemical properties and structure of polymer melts during recycling]. Dr. chem. sci. dicc. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemistry and Technology; 2016. 22 p.

8. Tveritnikova IS, Bannikova OA. Modifikatsiya smesey poliolefinovykh otkhodov [Modification of polyolefin waste mixtures]. *Sovremennyye problemy tekhniki i tekhnologii pishchevykh proizvodstv: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Food Production Technology: Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference]; 2018; Barnaul. Barnaul: Polzunov Altai State Technical University; 2018. p. 167–170. (In Russ.).
9. Suvorova AI, Tyukova IS. Vtorichnaya pererabotka polimerov i sozdanie ehkologicheskii chistykh polimernykh materialov [Secondary processing of polymers and the development of environmentally friendly polymeric materials]. Ekaterinburg: Gorky Ural State University; 2008. 130 p. (In Russ.).
10. Vtorichnaya pererabotka polimerov 2018: Szhigat' nel'zya, pererabatyvat' [Recycling of polymers 2018: do not burn but recycle]. *Plastinfo*. 2018;9–10. (In Russ.).
11. Kirsh IA, Tveritnikova IS. Vtorichnaya pererabotka mnogoslownykh upakovochnykh materialov [Recycling of multilayer packaging materials]. *Materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Razvitie pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka"* [Proceedings of a scientific conference with international participation "The Development of Russian Food and Processing Industry: Human resources and science"]; 2017; Moscow. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2017. p. 143–147. (In Russ.).
12. Kirsh IA, Chalykh IT, Anan'ev VV, Zaikov GE. Regulirovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv vtorichnogo poliehtilentereftalata putem khimicheskoy i fizicheskoy modifikatsii [Regulation of physical and mechanical properties of recycled polyethylene terephthalate by chemical and physical modification]. *Bulletin of the Technological University*. 2015;18(7):79–82. (In Russ.).
13. Tveritnikova IS, Kirsh IA. Study of physico-mechanical properties of polyolefin compositions containing copolymers of ethylene to propylene. *Bulletin of the Technological University*. 2018;21(8):79–82. (In Russ.).
14. Tveritnikova IS, Kirsh IA, Kondratova TA, Kubyshekin AI. Razrabotka tekhnologii polucheniya poliolefinovykh kompozitsiy [Development of technology for the production of polyolefin compositions]. "Novye resheniya v upakovke pishchevoy produktsii": materialy I nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Peredovye pishchevye tekhnologii: sostoyanie, trendy, tochki rosta" ["New Solutions in Food Packaging": Proceedings of I Scientific and Practical Conference with international participation "Advanced food technologies: state, trends, and points of growth"]; 2018; Moscow. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2018. p. 166–180. (In Russ.).
15. Tveritnikova IS, Kirsh IA, Fedorenko BN. Development of technology for recycling of packaging waste without sorting them. *Food Industry*. 2017;(11):20–23. (In Russ.).
16. Ivanov AB, Tveritnikova IS, Kirsh IA. Modifikatsiya polimernykh smesey sopolimerom [Copolymer modification of polymer mixtures]. "Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya upakovki v pishchevoy promyshlennosti": Materialy Konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem ["The Current State and Prospects for the Development of Packaging in the Food Industry": Proceedings of the Conference with international participation]; 2018. Moscow. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2018. p. 20–25. (In Russ.).
17. Kochnev AM, Galibeev SS. Modifikatsiya polimerov [Modification of polymers]. Kazan: Kazan State Technological University; 2002. 180 p. (In Russ.).
18. Pol DR, Baknell KB. Polimernye smesi [Polymer mixtures]. St. Petersburg: Scientific Foundations and Technologies; 2009. 606 p. (In Russ.).


Тверитникова Изабелла Сергеевна

магистрант кафедры пищевой инженерии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел.: +7 (916) 907-11-00, e-mail: iza-1995@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6055-4396>


Кириш Ирина Анатольевна

д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел.: +7 (916) 173-21-58, e-mail: kirshia@mgupp.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>


Помогова Дарья Александровна

соискатель, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, тел.: +7 (953) 126-45-74, e-mail: polechka0107@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9589-3301>


Izabella S. Tveritnikova

Undergraduate of the Department of Food Engineering, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, phone: +7 (916) 907-11-00, e-mail: iza-1995@bk.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6055-4396>

Irina A. Kirsh


Dr.Sci.(Chem.), Associate Professor, Professor of the Department of Applied Mechanics and Engineering Technical Systems, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, phone: +7 (916) 173-21-58, e-mail: kirshia@mgupp.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Darya A. Pomogova

Job Seeker, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, phone: +7 (953) 126-45-74, e-mail: polechka0107@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9589-3301>


Банникова Ольга Анатольевна

канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории композитных материалов, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Безнаева Ольга Владимировна

канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории композитных материалов, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2906-094X>


Романова Валентина Александровна

младший научный сотрудник лаборатории композитных материалов, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: bwal1307@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7234-2267>


Olga A. Bannikova

Cand.Sci.(Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Composite Materials, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, e-mail: bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>


Olga V. Beznaeva

Cand.Sci.(Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Composite Materials, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, e-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2906-094X>

Valentina A. Romanova

Junior Researcher of the Laboratory of Composite Materials, Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 25080, Russia, e-mail: bwal1307@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7234-2267>