БИОТЕХНОЛОГИИ

https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s158

УДК 678.21.38

Исследование влияния добавки «Полиматерия» на способность к биодеструкции полиэтиленовых пленок

И. А. Кирш[1], И. С. Тверитникова[1], О. В. Безнаева[1], М. И. Губанова[1], О. А. Банникова[1], Т. И. Чалых[2]

[1] Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

[2] Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Корреспонденция:
Тверитникова Изабелла Сергеевна
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11.
E-mail: tveritnikova@mgupp.ru

Конфликт интересов:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов

Поступила: 10.12.2022
Принята: 26.12.2022
Опубликована: 30.12.2022

Copyright: © 2022 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена исследованию влияния добавки «Полиматерия» на свойства полиэтиленовых пленок и их способность к биоразложению. Добавка «Полиматерия» представлена производителем, как добавка, ускоряющая процесс биоразложения полиолефиновых пленок. Однако исследований по данной добавке, опубликованных в литературе, ранее не представлено.

Цель. Цель статьи — провести исследования полимерных пленок, содержащих добавку «Полиматерия», на их эксплуатационные характеристики и оценить образцы пленок на способность к биоразложению.

Материалы и методы. В исследовании использовали метод определения водопоглощения, метод определения стойкости к действию химических сред, метод искусственного старения полимерных материалов под воздействием ультрафиолета и температуры, метод испытания на одноосное растяжение, комплексные исследования пленок на биоразложение методом компостирования, определение санитарно-гигиенических свойств экспериментальных образцов при экспозиции в модельных средах.

Результаты. Были получены полимерные пленки на основе полиэтилена и добавки «Полиматерия» методом экструзии. В процессе исследования установлено, что физико-механические свойства при воздействии УФ-облучения изменяются не так интенсивно по сравнению с деформационно-прочностными характеристиками образцов, которые подвергались искусственному старению при заданной температуре. Установлено, что за 28 часов воздействия термоокислительного старения полиэтиленовые пленки разрушаются и теряют свою целостность. В процессе компостирования относительное удлинение при разрыве образцов, обработанных УФ, уменьшается в 1,5–2 раза по сравнению со значениями до компостирования. При компостировании 7 месяцев образцы не изменили свои размеры, и их масса тоже не изменилась.

Выводы. Исследования, проведенные санитарно-химическим методом, позволили определить, что в среде хлорида натрия и дистиллированной воде после трех недель экспозиции полиэтиленовых пленок, содержащих добавку, определяется резкий запах, превышающий критерий в 2 балла. Следовательно, такие пленки нельзя использовать для контакта с пищевыми продуктами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полиэтилен, биодеструкция, компостирование, ультрафиолет, оксо-биоразлагаемые добавки

Для цитирования: Кирш, И. А., Тверитникова, И. С., Безнаева, О. В., Губанова, М. И., Банникова, О. А., & Чалых, Т. И. (2022). Исследование влияния добавки «Полиматерия» на способность к биодеструкции полиэтиленовых пленок. *Health, Food & Biotechnology, 4*(4), 56–64. https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s158

BIOTECHNOLOGY

https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s158

Study of the Influence of the 'Polymateria' Additive on the Polyethylene Films Ability to Biodegrade

Irina A. Kirsh[1], Izabella S. Tveritnikova[1], Olga V. Beznaeva[1], Marina I. Gubanova[1], Olga A. Bannikova[1], Tatyana I. Chalykh[2]

[1] Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

[2] Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, Moscow, Russia

Correspondence:
Isabella S. Tveritnikova,
Russian Biotechnological University (BIOTECH University),
11, Volokolamskoe sh., Moscow, 125080, Russia.
E-mail: tveritnikova@mgupp.ru

Declaration of competing interest: none declared.

Received: 10.12.2022
Accepted: 26.12.2022
Published: 30.12.2022

Copyright: © 2022 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The article is devoted to the study of the influence of the 'Polymateria' additive on the properties of polyethylene films and their biodegradability. The additive 'Polymateria' is presented by the manufacturer as an additive that accelerates the process of biodegradation of polyolefin films. However, studies on this additive have not previously been published.

Purpose. The purpose of the research is to study polymer films containing the 'Polymateria' additive for their performance characteristics and evaluate film samples for biodegradability.

Materials and Methods. The following research methods were used: a method for determining water absorption, a method for determining resistance to chemical media, a method for artificial aging of polymeric materials under the influence of ultraviolet radiation and temperature, a uniaxial tensile test method, comprehensive studies of films for biodegradation by composting, determination of the sanitary and hygienic properties of experimental samples during exposure in simulation environments.

Results. Polymer films based on polyethylene and the 'Polymateria' additive were obtained by extrusion. In the course of the study, it was found that the physical and mechanical properties under the influence of UV irradiation did not change as intensively as compared with the deformation-strength characteristics of samples that were subjected to artificial aging at the desired temperature. It has been established that within 28 hours of exposure to thermal-oxidative aging, polyethylene films were destroyed and lost their integrity. In the process of composting, the relative elongation at break of samples treated with UV decreases by 1.5-2 times compared to the values before composting. When composted for 7 months, the samples did not change their size, and their weight did not change either.

Conclusion. Studies by the sanitary-chemical method made it possible to determine that in the environment of sodium chloride and distilled water after three weeks of exposure to polyethylene films containing the additive, a pungent odor is determined that exceeds the criterion of 2 points. Thus, such films cannot be used for food processing.

KEYWORDS
polyethylene, biodegradation, composting, ultraviolet, oxo-biodegradable additives

To cite: Kirsch, I. A., Tveritnikova, I. S., Beznaeva, O. V., Gubanova, M. I., Bannikova, O. A., & Chalykh, T. I. (2022). Study of the influence of the additive "Polymateria" on the ability to biodegrade polyethylene films. *Health, Food & Biotechnology, 4*(4), 56–64. https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s158

ВВЕДЕНИЕ

Большинство синтетических полимеров не поддаются биологическому разложению. В то же время их захоронение оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Именно поэтому в последнее время все больше внимания уделяется переработке полимеров и созданию биоразлагаемых полимерных материалов на основе синтетических полимеров (Kirsh et al., 2019). Создание биоразлагаемых полимерных материалов предполагает добавление к ним специальных добавок, ускоряющих деструкцию полимерной матрицы, что ускорит процесс их ассимиляции в окружающей среде.

Сегодня ужу существуют биодеструктируемые материалы на основе синтетических полимеров, содержащие следующие типы добавок (Kirsh et al., 2019):
(1) для ускорения процессов фотоокислительной деструкции;
(2) для ускорения процессов окислительной деструкции;
(3) для ускорения разложения под действием микроорганизмов.

В первую очередь интересны исследования, направленные на придание биоразлагаемости и на полиолефины, которые составляют половину всех производимых полимеров. Они очень устойчивы к внешнему воздействию и после использования являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. По этой причине многие исследователи уделяют внимание проблеме создания биоразлагаемых композиций на основе полиолефинов (Mihai et al., 2020; Faruk et al., 2014; Faruk et al., 2012).

Срок разложения таких биоразлагаемых материалов зависит от типа добавки или катализирующей системы, которые добавляют в полиэтилен или другой полимер. В основном их используют для производства пакетов, пленок, лотков, различных изделий с небольшим сроком службы. В настоящее время российскими и европейскими производителями уже производятся такие биодеструктируемые полиэтиленовые пакеты, но в меньшем количестве, чем чистый полиэтилен. Процесс изготовления как чистого полиэтилена, так и биоразлагаемого материала почти одинаковый, только вначале экструзии в дозаторе происходит смешение полиэтилена с добавкой, ускоряющих процесс биодеструкции. При этом стоимость таких биодеградируемых пакетов выше на 15–20 % за счет вводимых добавок, катализирующих деструкцию полимера[1].

На сегодняшний день существуют добавки для ускорения фотоокислительной деструкции полимера (фоторазлагаемые добавки) или окислительной деструкции (оксо-разлагаемые добавки), при этом оксо-разлагаемые добавки при введении в полимер имеют разную скорость деструкции полимерной матрицы (Пономарев и др., 2009; Ершова и др., 2015; Feuilloley et al., 2005).

Оксо-разлагаемые полимерные материалы выделяют в отдельную категорию в отличие от биоразлагаемых полимеров или наполнителей. Это обычный синтетический полимер, модифицированный добавкой для ускорения деструкции полимерной матрицы. Процесс деструкции полимера протекает по свободно-радикальному механизму. При этом период индукции окислительного процесса полимера с добавкой полностью зависит от химической природы самой добавки и ее концентрации в полимере. В конечном итоге процесс деструкции полимера сопровождается молекулярной фрагментацией полимерного материала с образованием низкомолекулярных продуктов (спиртов, альдегидов и кетонов) и остатков полимера. Разложение таких материалов в естественных условиях происходит в два этапа. Первый этап — это процесс окисления, который активируется за счет каталитической добавки, и второй этап — биоразложение. Данные добавки позволяют полимерному материалу фрагментироваться и разрушаться от света, тепла, механических воздействий и влаги. Визуально можно заметить довольно быстрый распад на более мелкие кусочки-фрагменты, так называемые в интернет-сообществе «микропластики», но при этом их молекулярная масса изменяется не более чем на 30 %, в отличие от биоразлагаемых или компостируемых материалов. Такие фрагменты обычно плохо ассимилируются и остаются в окружающей среде на неопределенный срок до полного разрушения (Ершова и др., 2014; Бахаева и др., 2015).[2]

Оксо-биоразлагаемые добавки представляют собой каталитические системы металлов переменной валентности или низкомолекулярные вещества, ускоряющий процесс деструкции полимера. На рынке добавка представлена в виде мастер-батча и обычно включает в себя полимер, как правило, из класса полиолефинов. В полиолефины обычно добавляют добавки на основе кобальта, магния, марганца, цинка, железа или никеля, или их солей. Такие добавки по-разному, но чувствительны к свету, теплу, влаге и механическим воздействиям, при этом инициируется процесс окисления полимерной цепи. Конечным результатом является материал, молекулярная масса которого будет меньше, чем изначаль-

[1] *Биоразлагаемый полиэтилен: особенности и технология производства.* Юнитрейд. https://unitreid-group.com/poleznoe/biorazlagaemyy-polietilen/

[2] A straightforward explanation of biodegradable vs. compostable vs. oxo-degradable plastics. *In Green dot Dioplastics*. https://www.greendotbioplastics.com/biodegradable-vs-compostable-vs-oxo-degradable-plastics-a-straightforward-explanation/

ная. С течением времени (обычно 9–15 лет) на мелкие фрагменты полимера оказывает воздействие бактерии и грибы, содержащиеся в почве окружающей среды. Известно, что полимер, разлагаясь в окружающей среде и проходя стадии гидролиза, ацетозенеза и метаногенеза, ассимилируется природой при молекулярной массе менее 5 000. При более высокой молекулярной массе полимеры могут покрываться микроорганизмами и довольно большой период времени находиться в состоянии постепенной деструкции, но в любом случае далее разлагается до воды, углекислого газа и биомассы (Балыхин и др., 2021)[3].

В случае комплексов металлов способность полимера к фоторазрушению зависит от природы металла. Соединения кобальта, никеля, цинка являются эффективными стабилизаторами, разлагающимися гидропероксидами. Соединения на основе марганца тоже способствуют деструкции полимера. Присутствующие в добавке соли переходных металлов создают свободные радикалы, которые, в свою очередь, ведут к появлению спиртов, альдегидов, кетонов, эфиров карбоновых кислот и других низкомолекулярных соединений. Другие комплексы, такие как дитиокарбаматы меди (2^+) и железа (3^+), менее устойчивы к действию УФ — лучей и обладают свойствами стабилизаторов или активаторов в зависимости от их концентрации. Возможен подбор концентрации, при которой такие добавки в процессе переработки полимера и в начале облучения действуют как стабилизаторы. По истечении определенного индукционного периода добавки играют роль катализаторов окисления, причем начавшийся процесс деструкции продолжается и в темноте после непосредственного УФ — облучения.

Из соединений металлов переменной валентности наиболее изучены соединения на основе железа. Помимо упомянутых дитиокарбаматов к ним относятся феррооцен и его производные (Popov et al., 2021), оксид железа, коллоидные соединения железа и жирных кислот, а также различные комбинации этих соединений с другими веществами, в том числе и сенсибилизаторами (Быстров и др., 1982).

Многие производители говорят о том, что микропластик, образованный после деструкции полимера, модифицированного окси-добавкой, полностью подвергаются разложению под действием микроорганизмов. Проведя независимое исследование в соответствии с международными стандартами, было доказано, что за 350 дней только 15 % полиолефиновой композицией, модифицированной окси-добавкой, биодеградирует в земле до углекислого газа (Feuilloley et al., 2005).

Разлагаемый оксо-полимерный материал, если его выбросить в окружающую среду, будет разлагаться до оксигенированных низкомолекулярных цепей (обычно молекулярная масса 5–10 000 а.е.м.) в течение 2–18 месяцев, в зависимости от материала (толщина, антиоксиданты и т.п.), температуры и других факторов окружающей среды. Биодеградация до 91 % была обнаружена в почвенной среде в течение 24 месяцев при тестировании в соответствии с[4] (Jakubowicz et al., 2011). Оксо-деградация была изучена в лаборатории Eurofins в Испании, где 25 июля 2017 г. они отметили 88,9 % биодеградация за 121 день.

Оксо-добавка Reverte производителя Wells Plastics Ltd содержит продеграданты из ионов металла для придания синтетическому полимерному материалу фото- и терморазлагаемость. Такая добавка содержит в себе усилитель биодеградации второго этапа, где используется модификатор скорости реакции для управления инициированием и сроками разложения оксо-разлагаемого материала. При введении оксо-добавки в полимерные пленки деформационно-прочностные характеристики остаются такими же, как и у не модифицированных полиэтиленовых материалов (Бахаева и др., 2015).

Ученые из Японии Синго Одадзима, Нобуюки Ишшики, Хитоши Оцука, Хидетоши Ога, Минору Гото, запатентовали биоразлагаемую восковую композицию, содержащую воск в качестве основного компонента[5] и биоразлагаемую пленку, имеющую биоразлагаемый барьерный слой для влаги между двумя слоями биоразлагаемой смолы[6].

В 2020 г. на российский рынок была представлена добавка для ускорения разложения полиэтиленовых пленок компанией «Полиматерия». Как сообщал производитель добавки — это воскоподобная смесь предельных углеводородов, получаемая, преимущественно, из нефтепродуктов. Добавка получена механическим смешиванием компонентов в их расплавленном состоянии или смешиванием в эмульсии. Однако исследований влияния данной добавки на физико-химические свойства полиэтиленовых пленок и их способность к биоразло-

[3] MJS Packagigng (May 8, 2014). *What Are Oxo-biodegradable Additives*. https://www.mjspackaging.com/blog/what-are-oxo-biodegradable-additives/

[4] *ISO 17556: 2019 (International Standard 2019). Plastics — Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved. German version EN ISO 17556:2019*).

[5] Patent US-7989522-B2. Shingo, O., Nobuyuki, I., Hitoshi, O., Hidetoshi, O., & Minoru, G. (2011). Biodegradable wax composition. United States.

[6] Patent US-2004227694-A1. Nobuyuki, I., Shingo, O., & Minoru, G. (2003). System and method for a three-dimensional color image display utilizing laser induced fluorescence of nanopartcles and organometallic molecules in a transparent medium. United States.

жению ранее не проводилось. Производитель ссылался на собственные исследования, не указывая опубликованные работы в данном направлении.

В связи с этим цель данного исследования заключается в проведении исследований полимерных пленок, содержащих добавку «Полиматерия» (далее добавка) на эксплуатационные характеристики и оценить их способность к биоразложению.

В работе были поставлены следующие задачи:
(1) получить экспериментальные образцы полиэтиленовых пленок, содержащих добавку;
(2) провести физико-механические свойства полимерных материалов;
(3) провести исследования биодеградации образцов методом компостирования, искусственного старения и набухания полимерных пленок.

МЕТОДЫ

Материалы исследования

В исследовании в качестве объектов использовали полимерные пленки на основе полиэтилена марки 15803–020 ГОСТ 16337–77 и добавки Полиматерия, полученные методом экструзии при температурах переработки полиэтилена 200–220°С. Были использованы 3 типа образцов: 1 тип — контрольные образцы (полиэтиленовые пленки с добавкой) без искусственного старения (контроль), 2 тип — образцы (полиэтиленовые пленки с добавкой), подвергнутые старению при температуре 60°С на воздухе и 3 тип — образцы (полиэтиленовые пленки с добавкой), подвергнутые старению при воздействии ультрафиолета. Содержание добавки в полиэтиленовых пленках составляло 1 % по требованиям технологии производителя.

Методы исследования

Были использованы следующие методы исследования:
(1) метод искусственного старения полимерных материалов под воздействие ультрафиолета (УФ) и температуры проводили в соответствии с ГОСТ 12.4.262–2014 «Метод искусственного старения»;
(2) определение изменения массы при контакте с дистиллированной водой проводили по ГОСТ 4650–2014 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения»;
(3) способность исследуемых композиций к набуханию исследовали по ГОСТ 12020–72 «Методы определения стойкости к действию химических сред»;
(4) деформационно-прочностные характеристики полимерных композиций исследовали в соответствии с ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные. Методы испытания на растяжение»;
(5) для определения срока биоразложения использовали метод компостирования по ASTM D 5988 Стандартный метод испытаний для определения аэробной биодеградации в почве пластичных материалов или остаточных пластичных материалов после компостирования. Метод D: устойчивость к микробной активности почвы и по методу[7]; для оценки динамики биоразложения ПКМ применяли метод компостирования. Образцы помещали в специальные лотки с биогумусом[8] при температуре 23 ± 2°С и влажности 60 ± 5 %. Степень биоразложения ПКМ определяли по изменению физико-механических свойств в процессе компостирования;
(6) санитарно-гигиенические свойства водных вытяжек (дистиллированная вода) и вытяжек модельных сред (хлорид натрия) полиэтиленовых пленок органолептическим методом.

Все исследования проводились на кафедре «Промышленный дизайн, технология упаковки и экспертиза», ЦКП «Перспективные упаковочные решения и технологии рециклинга» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенного анализа литературных данных и представленных результатов собственных испытаний компанией производителем добавки Полиматерия на первом этапе исследований полимерные пленки подвергали искусственному старению, используя два метода: УФ облучение и термоокислительное старение при температуре 60°С. В качестве критерия оценки процессов деструкции образцов использовали деформационно-прочностные характеристики полимерного материала при одноосном растяжении. На Рисунке 1 и 2 представлены зависимости физико-механических свойств исследуемых образцов, содержащих добавку от времени искусственного старения при воздействии УФ и температуры.

Проанализировав данные, можно отметить, что физико-механические свойства при воздействии УФ-облучения изменяются не так интенсивно, по сравнения с деформационно-прочностными характеристиками

[7] ISO 20200:2015 (2017). *Plastics. Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory-scale test*.

[8] ТУ 0391–001-51540896–2002. (2002). *Грунты торфяные заводского производства для овощных культур: грунт для огурца, грунт для томата и перца, Микропарник — Н, грунт «Садовая земля — Н», грунт для лука «Чиполлино»*. АООТ НИИТП.

Рисунок 1

Зависимость разрушающего напряжения полимерных материалов от времени старения полиэтиленовых пленок, содержащих добавку. Доверительный интервал составляет 8 %.

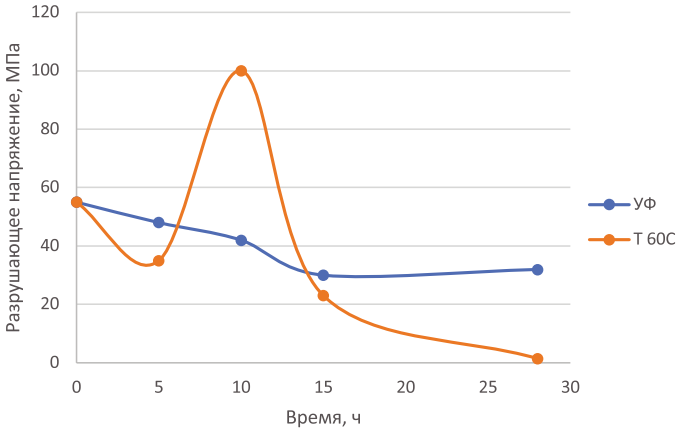


Рисунок 2

Зависимость относительного удлинения при разрыве полимерных материалов от времени старения полиэтиленовых пленок, содержащих добавку. Доверительный интервал составляет 8 %.

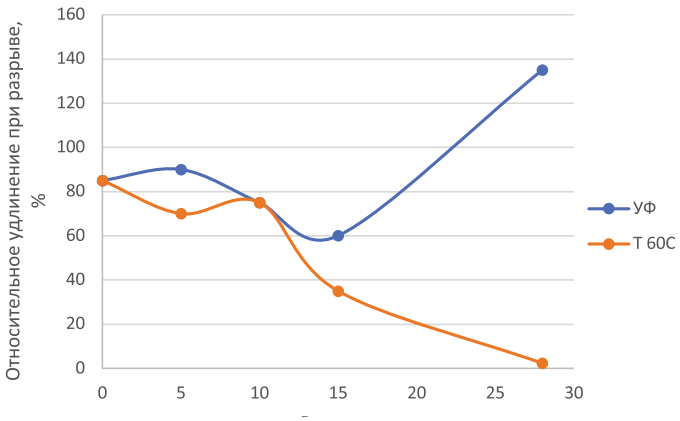


Рисунок 3

Внешний вид полимерной пленки после воздействия температуры 60 °С 28 часа

образцов, которые подвергались искусственному старению при температуре. Так, за 28 часов воздействия термоокислительного старения полиэтиленовые пленки полностью разрушились (Рисунок 3), тогда как при воздействии УФ излучения показатели разрушающего напряжения уменьшились в 2 раза, а относительное удлинение при разрыве увеличилось на 50 %.

На следующем этапе проводили исследования санитарно-гигиеническим свойств водных вытяжек и вытяжек модельных сред полиэтиленовых пленок органолептическим методом (Таблица 1).

По результатам проведенного эксперимента можно отметить, что после трех недель экспозиции искусственно состаренных образцов в модельной среде (дистиллированная вода) установлен запах: для образцов после термоокислительной деструкции кислый запах, а для

Таблица 1

Изменение запаха водных вытяжек полиэтиленовых пленок

Полиэтиленовая пленка с добавкой до или после старения при воздействии УФ или температуры	Модельная среда	Оценка запаха вытяжек после экспозиции в модельной среде, балл		
		7 сут.	21 сут.	28 сут.
Контроль до старения	Дистиллированная вода	1	2,5	2,5
После воздействия уф 28 часов	Дистиллированная вода	1	1	2,5
После воздействия температуры 28 часов	Дистиллированная вода	2	2	3,5
Контроль до старения	Хлорид натрия	1	1	2,5
После воздействия уф 28 часов	Хлорид натрия	2	2	3,5
После воздействия температуры 28 часов	Хлорид натрия	2,5	2,5	4

Рисунок 4

Разрушающее напряжение полимерных пленок после помещения в землю

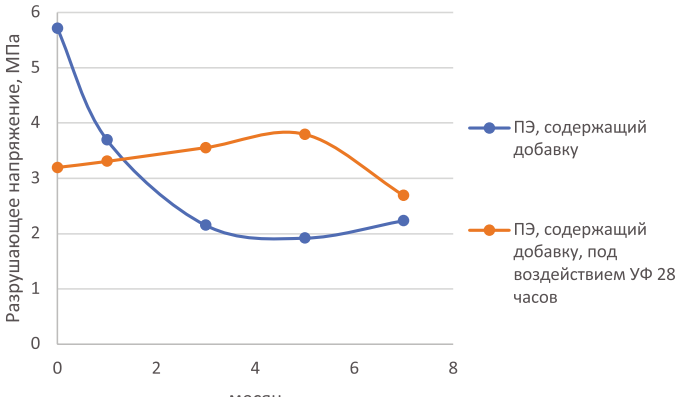
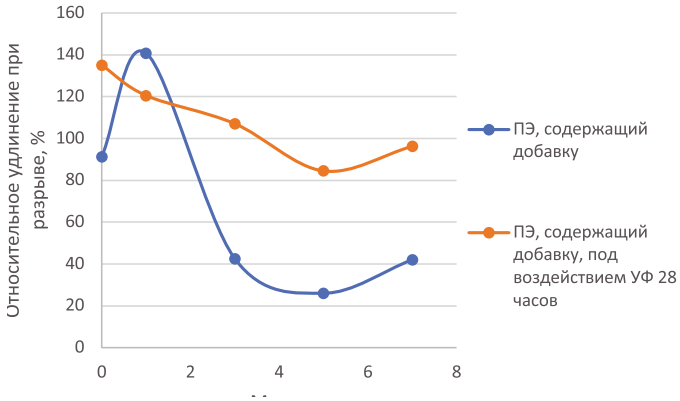


Рисунок 5

Относительное удлинение при разрыве полимерных пленок после помещения в землю



образцов после фотоокислительной деструкции — сладкий запах. Аналогичные исследования проводили для модельной среды хлорида натрия. Определено, что для полиэтиленовых пленок, содержащих добавку, для модельной среды хлорида натрия определялся резкий запах кетоновых соединений — типа «ацетон». В среде хлорида натрия и дистиллированной воде после трех недель экспозиции определяется резкий запах, показатели для всех образцов после трех недель превышают допустимый критерий в 2 балла. Таким образом, такие пленки нельзя использовать для контакта с пищевыми продуктами.

Далее проводили комплексное исследование пленок на способность к биоразложению, используя метод определения водопоглощения, метод определения стойкости к действию химических сред, метод компостирования.

Как показали результаты по водопоглощению в модельных средах (вода и биогумус), полимерные материалы не набухают в жидкой фазе. Это связано с тем, что добавка и полиэтилен одновременно являются гидрофобными веществами.

Поэтому в процессе компостирования образцов ПЭ пленок, содержащих добавку, определялись их деформационно-прочностные характеристики. Образцы после термообработки не исследовали, поскольку невозможно определить их деформационно-прочностные показатели. Образцы пленок разрушились после 28 часов термообработки на воздухе и после помещения в компост они не изменили свой внешний вид. После компостирования в течение 7 месяцев образцы имели вид разрушенных образцов, показанных на Рисунке 3.

На Рисунке 4 и 5 представлены зависимости физико-механических свойств исследуемых образцов после помещения в землю в течении 7 месяцев.

Исходя из полученных данных, можно отметить, что деформационно-прочностные характеристики полимерных композиций уменьшились. Относительное удлинение при разрыве образцов на основе ПЭ, содержащей добавку, после воздействия УФ уменьшилось в 1,5 раза, у пленок без воздействия УФ — в 2 раза. Разрушающее напряжение образцов уменьшилось в 2,5 раза по сравнению со значениями для образцов до компостирования. При этом при компостировании 7 месяцев образцы не изменили свои размеры, и их масса тоже не изменилась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе было проведено исследование влияния добавки «Полиматерия» на способность к биоразложению полиэтиленовых пленок. В результате проведенных испытаний установлено, что физико-механические свойства при воздействии УФ-облучения изменяются не так интенсивно, по сравнения с деформационно-прочностными характеристиками образцов, которые подвергались искусственному старению при температуре 60^0C. Установлено, что за 28 часов воздействия термоокислительного старения полиэтиленовые пленки разрушаются и теряют свою целостность.

В процессе компостирования относительное удлинение при разрыве образцов, обработанных УФ, уменьшается в 1,5–2 раза по сравнению со значениями до компостирования. При компостировании 7 месяцев образцы не изменили свои размеры, и их масса тоже не изменилась.

Исследования санитарно-химическим методом позволили определить, что в среде хлорида натрия и дистиллированной воде после трех недель экспозиции полиэтиленовых пленок, содержащих добавку, определяется резкий запах, превышающий критерий в 2 балла. Таким образом, такие пленки нельзя использовать для контакта с пищевыми продуктами.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Кирш И.А.: концептуализация, разработка методологии исследования.

Тверитникова И.С.: проведение исследования, создание черновика рукописи.

Безнаева О.В.: верификация данных.

Губанова М.И.: руководство исследованием.

Банникова О.А.: курирование данных.

Чалых Т.И.: написание-рецензирование и редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Балыхин, М. Г., Кирш, И. А., Губанова, М. И., Банникова, О. А., Безнаева, О. В., Чалых, А. Е., Щербина, А. А., Иорданский, А. Л., Ольхов, А. А., Щетинин, М. П., & Музыка, М. Ю. (2021). *Рециклинг упаковки и биоразлагаемые полимерные материалы: монография*). Проспект.

Бахаева, А. Н., & Ивановский, С. К. (2015). Обзор оксо-биоразлагаемых добавок используемых для утилизации упаковочных материалов. *Молодой учёный*, *10*(90), 156–158.

Бахаева, А. Н., & Ивановский, С. К. (2015). Оксо-биоразлагаемые полимеры как материал для создания современной упаковки. *Молодой ученый, 5*(85), 122–124.

Быстров, Г. А., Гальперин, В. М., & Титов, Б. Л. (1982). *Обезвреживание и утилизация отходов пластмасс* (с. 86–97). Химия.

Ершова, О. В., Бодьян, Л. А., Пономарев, А. П., & Бахаева, А. Н. (2015). Влияние химической деструкции на изменение физико-механических свойств упаковочных полимерных пленок с добавкой d2w. *Современные проблемы науки и образования, 1*, 1981.

Ершова, О. В., Пономарев, А. П., & Бахаева, А. Н. (2014). Влияние факторов окружающей среды на механические свойства полиэтилена низкого давления с оксо-биоразлагаемой добавкой D2W. Молодой ученый, 20, 125–128.

Пономарев, А. Н., Баранов, С. Х., & Гоготов, И. Н. (2009). Нужны ли России биоразлагаемые полимерные материалы? *Полимерные материалы*, 10, 5–8.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, *37*(11), 1552–1596.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromolecular Materials and Engineering, 299*(1), 9–26.

Feuilloley, P., César, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, I., Bewa, H., Lefaux, S., & Jamal, M. (2005). Degradation of polyethylene designed for agricultural purposes. *Journal of Environmental Polymer Degradation, 13,* 349–355. https://doi.org/10.1007/s10924–005-5529–9

Jakubowicz, I., Yarahmadi, N., & Arthurson, V. (2011). Kinetics of abiotic and biotic degradability of low-density polyethylene containing prodegradant additives and its effect on the growth of microbial communities. *Polymer Degradation and Stability, 96*(5), 919–928. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.031

Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Development of biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, *10*(2), 15–23.

Mihai, B. (2020). Environmental degradation of plastic composites with natural fillers—A Review. *Polymers*, *12*(1), 166. https://doi.org/10.3390/polym12010166

Popov, A. A. (2021). Biodegradable polymer compositions based on polyolefins. *Polymer Science, Series A, 63*, 623–636.

REFERENCES

Balykhin, M. G., Kirsh, I. A., Gubanova, M. I., Bannikova, O. A., Beznaeva, O. V., Chalykh, A. E., Shcherbina, A. A., Iordansky, A. L., Olkhov, A. A., Shchetinin, M. P., & Muzyka, M. Yu. (2021). *Recikling upakovki i biorazlagaemye polimernye materialy: monografiya* [Packaging recycling and biodegradable polymeric materials: monograph]. Prospekt.

Bakhaeva, A. N., & Ivanovsky, S. K. (2015). An overview of oxo-biodegradable additives used for the disposal of packaging materials. *Molodoj uchyonyj* [Young Scientist]*, 10*(90), 156–158.

Bakhaeva, A. N., & Ivanovsky, S. K. (2015). Oxo-biodegradable polymers as a material for creating modern packaging. *Molodoj uchyonyj* [Young Scientist]*, 5*(85), 122–124.

Bystrov, G. A., Galperin, V. M., & Titov, B. L. (1982). *Obezvrezhivanie i utilizaciya othodov plastmass* [Neutralization and recycling of waste plastics], (pp. 86–97). Himiya.

Ershova, O. V., Bodyan, L. A., Ponomarev, A. P., & Bakhaeva, A. N. (2015). Influence of chemical destruction on the change in the physical and mechanical properties of packaging polymer films with the addition of d2w. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]*, 1,* 1981.

Ershova, O. V., Ponomarev, A. P., & Bakhaeva, A. N. (2014). Influence of environmental factors on the mechanical properties of low-density polyethylene with oxo-biodegradable additive D2W. *Molodoj uchyonyj* [Young Scientist], *20*, 125–128.

Ponomarev, A. N., Baranov, S. Kh., & Gogotov, I. N. (2009). Does Russia need biodegradable polymeric materials? *Polimernye materialy* [Polymer Materials]*, 10*, 5–8.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., & Sain M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H., & Sain M. (2014). Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. *Macromolecular Materials and Engineering, 299*(1), 9–26.

Feuilloley, P., César, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, I., Bewa, H., Lefaux, S., & Jamal, M. (2005). Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes. *Journal of Environmental Polymer Degradation, 13,* 349–355. https://doi.org/10.1007/s10924–005-5529–9

Feuilloley, P., César, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, I., Bewa, H., Lefaux, S. & Jamal, M. (2005). Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, *13*, 349–355.

Jakubowicz, I., Yarahmadi, N., & Arthurson, V. (2011). Kinetics of abiotic and biotic degradability of low-density polyethylene containing prodegradant additives and its effect on the growth of microbial communities. *Polymer Degradation and Stability, 96*(5), 919–928. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.031

Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Development of biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, *10*(2), 15–23.

Mihai, B. (2020). Environmental Degradation of Plastic Composites with Natural Fillers—A Review. *Polymers*, *12*(1), 166. https://doi.org/10.3390/polym12010166.

Popov, A. A. (2021). Biodegradable Polymer Compositions Based on Polyolefins. *Polymer Science, Series A, 63*, 623–636.