

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.7:678

ГОНЧАРОВА  
ЕКАТЕРИНА ПЕТРОВНА

**БИОРАЗРУШАЕМЫЕ ЭЛЕКТРЕТНЫЕ ПЛЕНКИ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ  
ТОВАРОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.19.08 — товароведение промышленных товаров и сырья  
легкой промышленности

Минск, 2010

Работа выполнена в УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации» и ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»

Научные руководители: Сыцко Валентина Ефимовна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», кафедра товароведения непродовольственных товаров

Пинчук Леонид Семенович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела, ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», отдел «Герметология»

Официальные оппоненты: Петрище Франц Антонович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, Российский университет кооперации, кафедра товароведения, товарного консалтинга и аудита

Косперович Ольга Михайловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, УО «Белорусский государственный технологический университет», кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов

Оппонирующая организация УО «Витебский государственный технологический университет»

Защита состоится 27 мая 2010 г. в 14.30 на заседании совета по защите диссертаций К 02.07.01 при УО «Белорусский государственный экономический университет» по адресу: 220070, г. Минск, пр. Партизанский, 26, ауд. 407 (1-й учеб. корпус), тел. 209-79-82.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный экономический университет».

Автореферат разослан 26 апреля 2010 года.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций

Власова Г.М.

## ВВЕДЕНИЕ

Потребительская упаковка в XXI в. — самостоятельный товар и важный фактор повышения конкурентоспособности продукции. Широкое распространение полимерные упаковочные пленки получили благодаря удовлетворительным эксплуатационным свойствам, однако их производство и рост ассортимента опережают развитие технологий утилизации отходов. В Беларуси наиболее распространенным методом ликвидации отходов упаковочных пленок является компостирование, но синтетические полимеры инертны к воздействию факторов природной среды и медленно разлагаются в естественных условиях, поэтому встает проблема повышения экологических показателей упаковки и снижения воздействия на экологию при компостировании ее отходов.

В мире все большее внимание уделяется биоразлагаемым упаковочным полимерным материалам. Они сохраняют свои потребительские свойства в течение периода эксплуатации, а затем при определенных условиях претерпевают физико-химические и биологические превращения, вследствие чего ускоренно разрушаются, разлагаясь на безвредные для природы компоненты. Сегодня существует достаточно широкая номенклатура биоразлагаемых упаковок, полученных на основе биополимеров или путем микробиологического и химического синтеза. Тем не менее небольшие объемы выпуска таких материалов и их высокая стоимость обуславливают необходимость поиска альтернативных решений проблемы повышения степени биодеструкции упаковочных пленок.

В Беларуси опытно-экспериментальные разработки биоразлагаемых упаковок пока не реализовывались в промышленном масштабе. Сегодня основным способом обеспечения биодеструкции отечественных композиционных полимерных пленок считается их высокопроцентное наполнение биополимерами, однако это обычно ведет к усложнению технологии и снижению комплекса эксплуатационных свойств пленок. Можно утверждать, что на этом пути химико-технологические резервы повышения степени биодеструкции исчерпаны. Перспективным представляется решение этой проблемы за счет формирования в пленках электретного состояния. Благодаря накопленному заряду электрет способен создавать в окружающей среде длительно действующее слабое электрическое поле. Известно, что такое поле повышает совместимость ряда полимеров и полимерных композитов с биологическими объектами, однако в отношении упаковочных материалов комплексные исследования взаимосвязи электретного состояния и биоразрушаемости до настоящего времени не проводились.

Диссертация посвящена изучению возможности улучшения потребительских свойств полимерной упаковки путем комплексного физического и физико-химического модифицирования полимеров, в том числе за счет формирования в них электретного состояния.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Диссертационная работа выполнена в рамках Государственной программы прикладных исследований «Полимерные материалы и технологии» (задание 2.13 «Разработка технологии получения биоразлагаемой упаковки на основе композиций полиолефинов и природных полисахаридов») (№ ГР 20066783, 2006—2010 гг.) и бюджетной НИР «Формирование оптимальной структуры ассортимента, оценка качества и уровня конкурентоспособности непродовольственных товаров» (№ ГР 20062283, 2006—2010 гг.).

Тема диссертационного исследования соответствует Перечню приоритетных направлений прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006—2010 годы, утвержденному Постановлением Совета Министров № 512 от 17.05.2005 г. (раздел 8 «Экологическая безопасность, охрана окружающей среды, полезные ископаемые и недра Беларуси, эффективное использование и возобновление природных ресурсов, предупреждение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций», приоритетное исследование «Новые ресурсосберегающие и биосовместимые технологии и материалы»).

**Цель и задачи исследования.** *Цель* диссертационной работы заключается в повышении экологических показателей качества полиэтиленовых пленок, применяемых для упаковывания товаров легкой промышленности, путем введения модифицирующих добавок и формирования электретного состояния.

Для достижения цели поставлены следующие *задачи*:

- определить номенклатуру показателей качества упаковочных полиэтиленовых пленок;
- разработать и оптимизировать по критериям технологичности, прочности и биоразрушаемости рецептуры упаковочных полиэтиленовых пленок на основе отечественного сырья, в том числе содержащие репеллентные добавки;
- исследовать влияние электретного заряда, сформированного в полиэтиленовых пленках, на иммобилизацию и рост колоний почвенных микроорганизмов;
- изучить кинетику биоразрушения электретных упаковочных полиэтиленовых пленок в почве;
- определить уровень качества и конкурентоспособности электретных биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок.

*Объект исследования* — композиционные электретные пленочные материалы на основе полиэтилена (ПЭ), модифицированного биоразрушаемыми, био-генными и репеллентными добавками. *Предмет исследования* — рецептуры упаковочных полиэтиленовых пленок, влияние электретного заряда полиэтиленовых пленок на их эксплуатационные свойства и способность к биоразруше-

нию в почве, номенклатура показателей качества и оценка конкурентоспособности упаковочных пленок.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Номенклатура показателей качества упаковочных полиэтиленовых пленок, дополняющая стандартный перечень функциональными (пылепроницаемость, коэффициент отпугивающего действия для моли), экологическими (скорость биоразрушения) и эстетическими (цвет, фактура) показателями.

2. Рецептуры электретных крахмалонаполненных и репеллентных упаковочных полиэтиленовых пленок, обладающих повышенными деформационно-прочностными ( $\sigma = 12,7$  МПа), экологическими ( $v_{\sigma} = 60$  %/год,  $v_m = 40$  %/год) показателями и репеллентной активностью (КОД для моли — 66,7 %).

3. Закономерности биоразрушения почвенными микроорганизмами разработанных упаковочных полиэтиленовых пленок с электретным зарядом плотностью  $\sigma_{эфф} = 4—8$  нКл/см<sup>2</sup>, заключающиеся в снижении на 60 % прочности пленок, что вызвано ускоренным ростом колоний микроорганизмов ( $\Delta I = 40$  %) и преобладающим влиянием эффекта биоразрушения в присутствии заряда над процессами вторичной сшивки макромолекул в почве.

4. Результаты комплексной оценки уровня качества электретных биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок (обобщенный показатель качества  $Q = 8,54$ ) и уровень конкурентоспособности ( $K = 1,1$ ), обусловленные высокими деформационно-прочностными свойствами и способностью к ускоренному биоразрушению в почве.

**Личный вклад соискателя.** Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования [3, 13, 15, 16], систематизации методов оценки биоразрушаемости полимерных материалов [1, 11], экспериментальном изучении влияния электретных свойств пленок на иммобилизацию микроорганизмов [5, 6, 9, 14, 17, 18] и биоразрушаемость потребительской упаковки [8, 9], исследовании показателей качества и конкурентоспособности [2, 4, 10, 12], выполнении работ по оптимизации составов [7, 19], изготовлению и испытаниям опытной партии биоразрушаемой упаковочной полиэтиленовой пленки, а также в интерпретации экспериментальных данных, находящихся на стыке товароведения, материаловедения, физики конденсированного состояния и микробиологии. Исследования выполнены в сотрудничестве со специалистами Института механики металлополимерных систем им. В.А. Белого (ИММС) НАН Беларуси (г. Гомель). Автор принимал участие в подготовке научных публикаций и патентовании разработок.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты исследований, включенные в диссертацию, были доложены и опубликованы в материалах и тезисах докладов: международных научно-практических конференций «Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров» (Гомель,

2004), «Проблемы создания механизма конкурентоспособного менеджмента» (Минск, 2005), «Организационно-правовые аспекты инновационного развития АПК» (Горки, 2007), «Молодежь и наука: реальность и будущее» (Невинномысск, 2009); научно-технических конференций «Полимерные композиты и трибология» (Гомель, 2007, 2009); научной конференции «Традиции и инновации в кооперативном секторе национальной экономики» (Москва, 2008); международных конференций «Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии» (Минск, 2004), «Композиционные материалы в промышленности» (Ялта, 2007); открытой конференции «ВМС-2008» (Киев, 2008).

**Опубликованность результатов диссертации.** По результатам исследований опубликовано 19 научных работ, в том числе 9 — в научных рецензируемых журналах, 7 — в материалах конференций, 3 — в тезисах докладов конференций. Общий объем опубликованных материалов составляет 6,3 авторского листа; в том числе объем публикаций, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, — 4,3 авторского листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 163 страницах, включает 31 рисунок (13 страниц), 15 таблиц (9 страниц), 32 формулы (3 страницы), 15 приложений (40 страниц), 227 библиографических источников (17 страниц) и 19 публикаций соискателя по теме диссертации (3 страницы).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

**Первая глава** содержит обзор исследований в области создания экологически безопасных упаковочных материалов. Актуальна проблема создания упаковочных материалов, способных к ускоренному разрушению при компостировании в окружающей среде. Проведен анализ современного ассортимента биоразлагаемых упаковочных полимерных материалов, полученных на основе биополимеров и путем микробиологического и химического синтеза. Выявлена необходимость поиска альтернативных решений проблемы повышения способности полимерных упаковочных пленок к биодеструкции. Обзор исследований показал, что остается ряд нерешенных вопросов, касающихся низких эксплуатационных, технологических и экономических показателей таких пленочных материалов. Это предопределяет задачу поиска новых альтернатив ускорения биоразрушаемости упаковочных пленок, обладающих высокими потребительскими свойствами и ориентированных на отечественные производственные мощности и сырьевую базу.

Предложен принципиально новый подход к приданию полимерным упаковочным пленкам высоких экологических свойств путем их комбинированного физико-химического (наполнение биополимерами) и физического (создание электретенного состояния) модифицирования. Выдвинуто предположение о том, что электретенный заряд, сформированный в полимерных пленках, ускоряет иммобилизацию и рост на них колоний почвенных микроорганизмов, за счет чего при компостировании отходов таких пленок в почве можно повысить скорость их биоразрушения даже при малом содержании природного наполнителя. Это позволит улучшить эксплуатационные и технологические свойства упаковочных пленок и тем самым повысить их конкурентоспособность.

Во **второй главе** охарактеризованы объекты и методы исследования.

Объектами исследования служили образцы биоразрушаемых упаковочных композиционных пленок, базовыми компонентами которых являлись: полимерная основа — гранулированный полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) (марка 15803-020, ГОСТ 16337-77) и порошкообразный ПЭНП (марка 16803-070, ТУ 6-05-1866-78); компатибилизатор — функционализированный ПЭНП с привитой итаконовой кислотой (ПЭ<sub>ф</sub>) (марка ПФ-1, ТУ 03535279.015-97); биоразрушаемый наполнитель — крахмал кукурузный (Кр) (ГОСТ Р 51985-2002); биогенные наполнители — сульфат аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) (ГОСТ 9097-82) и дигидрофосфат калия ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) (ГОСТ 4198-75); репеллентные наполнители — мятное (ЭМ<sub>м</sub>) (ОСТ 10-135-88), полынное (ЭМ<sub>п</sub>) (ТУ 10-04.13.58-88) и шалфейное (ЭМ<sub>ш</sub>) (ОСТ 10-136-88) эфирные масла; пластификатор — глицерин (Гл) (ГОСТ 6259-75).

Экспериментальные образцы биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок изготавливались методом термопрессования (ГОСТ 12019-66) на гидравлическом прессе с обогреваемыми плитами. Для создания в пленках электретенного состояния их выдерживали в термошкафу при температуре  $T = 60^\circ\text{C}$  и охлаждали в поле отрицательного коронного разряда напряженностью  $E = 1\text{—}9$  кВ/см. Опытные партии пленок произведены на РУП СКТБ «Металлополимер» (г. Гомель) методом экструзии с раздувом на рукавно-пленочном одношнековом агрегате марки ЛРП 45-700М.

Структура и свойства биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок изучались с помощью комплекса современных методов исследования: спектрального и структурного анализа, физических, физико-химических, микробиологических и энтомологических. Химическое строение и структура поверхности определялись с использованием ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрофотометр NICOLET 5700) и микроскопии (оптический микроскоп проходящего света Olympus BX41). Для исследования показателя текучести расплава (ПТР) и теплостойкости применялись реологический (экструзионный пла-

стометр ИИРТ-АМ, ГОСТ 11645-73) и дифференциально-термический анализ (ДТА) (дериватограф Q-1500).

Определение электретных характеристик полимерных пленок (эффективная поверхностная плотность заряда ( $\sigma_{\text{эфф}}$ , нКл/см<sup>2</sup>), спектры термостимулированных токов (ТСТ) проводилось по стандартной методике (ГОСТ 25209-82).

Толщина пленочных образцов измерялась с помощью микрометра (ГОСТ 17035-86), плотность оценивалась по результатам обмера и взвешивания (ГОСТ 15139-69). Деформационно-прочностные показатели полимерных пленок характеризовались разрушающим напряжением при растяжении ( $\sigma$ , МПа) и относительным удлинением при разрыве ( $\epsilon$ , %) в ходе испытаний на машине Instron (ГОСТ 14236-81). Прозрачность пленок определялась с применением измерителя светового коэффициента пропускания в видимом диапазоне длин волн ПОС-01М (ГОСТ 27902-88). Теплостойкость и морозостойкость оценивались путем выдержки пленок в климатических камерах (СТБ 1517-2004), пылепроницаемость упаковочных пакетов из полиэтиленовых пленок — по ГОСТ 24981-81, водопоглощение — по ГОСТ 4650-80, эстетические характеристики (цвет, фактура) — органолептическим методом.

Биоразрушаемость упаковочных полиэтиленовых пленок оценивалась методом микробиологического тестирования по ГОСТ 9.049-91 и лабораторного компостирования, моделирующего естественные условия захоронения упаковочных отходов в почву. В качестве параметров биоразрушаемости были выбраны: ускоренное биообрастание ( $\Delta I$ , %), изменение прочности ( $v_{\sigma}$ , %/год), массы ( $v_m$ , %/год), микроструктуры и химической структуры пленочных образцов. Репеллентные свойства упаковочных пленок (коэффициент отпугивающего действия для моли (КОД, %) оценивались в лабораторных условиях по количеству отпугнутых пленкой бабочек моли.

Оценка уровня качества и конкурентоспособности проводилась экспертным методом путем сравнения показателей качества биоразрушаемой упаковочной репеллентной пленки и базового образца полиэтиленовой пленки с показателями, входящими в «потребительский стандарт».

Экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики с использованием компьютерной техники и пакетов стандартных программ.

В **третьей главе** изложены подходы к разработке рецептур биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок и результаты исследования влияния электретного заряда упаковочных пленок на их потребительские свойства и иммобилизацию микроорганизмов, а также технологические режимы изготовления и электризации пленочных материалов.

Базовая рецептура композиционной упаковочных пленок основывалась на схеме «полимерная основа — компатибилизатор — биоразрушаемый или био-



генный наполнитель — пластификатор». Выдвинута гипотеза о том, что ускорить биоразрушение композиционных пленок без повышения концентрации Кр, критичного для показателей прочности композита, можно путем придания упаковочным пленкам электрретных свойств, поэтому разрабатываемые рецептуры пленок предусматривали пониженное содержание биоразрушаемого или биогенного наполнителя в пределах 2—15 мас. %. Сопоставление деформационно-прочностных характеристик прессованных пленок, содержащих различные концентрации полисахаридного и биогенных наполнителей, послужило основанием для выбора в качестве биоразрушаемой добавки Кр с концентрацией  $C_{кр} < 10$  мас. %. Экспериментально доказано, что наличие даже малых концентраций ПЭ<sub>ф</sub> увеличивает механическую прочность крахмалонаполненных пленок. Это вызвано усилением межфазных физико-химических взаимодействий компонентов смеси благодаря участию полярных функциональных групп, входящих в состав молекул ПЭ<sub>ф</sub>, в процессах связывания макромолекул ПЭ, частиц Кр и Гл. В результате формируется переходный слой между компонентами пленки.

ДТА компонентов композиционных смесей выявил наименее термостойкий компонент — Кр (температура начала термической деструкции — 190 °С). Это ограничило максимальную температуру в зонах цилиндра экструдера при переработке биоразрушаемых полиэтиленовых пленок уровнем 185 °С.

Возможность экструзионной переработки полимерной композиции в пленку оценивалась по значению ПТР. Анализ технологических свойств крахмалонаполненных смесей показал (таблица 1), что рост концентрации Кр ( $C_{кр} > 8$  мас. %) сопровождается резким падением ПТР и повышением вязкости расплава. Это происходит вследствие недостаточного смазывания частиц Кр расплавом ПЭ, что увеличивает внутреннее трение в системе и препятствует рукавному раздуву. Установлен оптимальный по реологическим (ПТР = 1,0 г/10 мин) и деформационно-прочностным характеристикам состав крахмалонаполненной упаковочной пленки (мас. %): ПЭ(79)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6).

Таблица 1 — Деформационно-прочностные характеристики композиционных пленок, полученных экструзией, в зависимости от концентрации крахмала

Состав образцов, мас. %	ПТР, г/10 мин	$\sigma$ , МПа	$\varepsilon$ , %	Возможность раздува расплава в пленку
ПЭ (100)	1,5	$11,8 \pm 0,3$	$300 \pm 2,97$	Да
ПЭ-ПЭ <sub>ф</sub> (5)-Гл(10)-Кр(X)				
X = 2	1,3	$10,3 \pm 0,26$	$284 \pm 2,81$	Да
4	1,1	$11,2 \pm 0,28$	$293 \pm 2,9$	Да
6	1,0	$11,9 \pm 0,3$	$310 \pm 3,07$	Да
8	0,9	$11,1 \pm 0,28$	$300 \pm 2,97$	Да
10	0,6	—	—	Нет

Методом микробиологического анализа подобран репеллентный компонент упаковочных пленок — мятное эфирное масло. По соотношению прочности и репеллентной активности прессованных пленок, наполненных мятным маслом, выявлена оптимальная (по соотношению прочности и репеллентной активности) концентрация масла — 10 мас. %. Это позволило принять за основу репеллентной упаковочной пленки состав композиции (мас. %) ПЭ(69)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6)-ЭМм(10), обладающий КОД для моли на уровне 6,7 %.

Исследованы электретные свойства композиционных полимерных пленок. Обработка в коронном разряде отрицательной полярности композиционной пленки в состоянии, близком к вязко-текучему, обеспечивает:

- инъекцию носителей заряда на поверхность, в объем образца и их захват энергетическими ловушками — дефектами структуры полимера;
- накопление носителей заряда на границах раздела фаз в композите вследствие их различной электропроводности (эффект Максвелла—Вагнера);
- ориентацию дипольных фрагментов (главным образом кислородсодержащих групп), входящих в состав компонентов композита, вдоль силовых линий электрического поля.

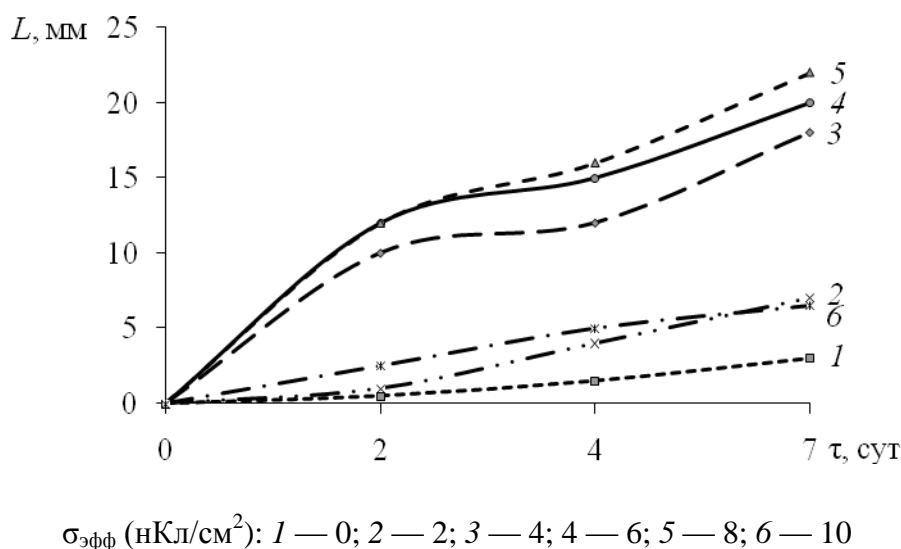
Установлены закономерности электризации пленок и релаксации в них зарядов в зависимости от содержания наполнителя. Экспериментально подтверждено, что при  $C_{кр} = 6$  мас. % в композиционной пленке возникает оптимальное распределение зарядовых ловушек, обеспечивающее максимальные значения электретных характеристик. Представляется, что полярные группы в составе Кр удерживают инжектированные носители заряда. Неполярный ПЭ препятствует деполяризации пленки (снижению в ней заряда) благодаря низкой электропроводности. Высокие величина и стабильность заряда композиционных пленок обусловлены совместным проявлением эффекта Максвелла—Вагнера, инъекционного и дипольно-ориентационного поляризационных механизмов.

Таким образом, при обработке композиционных пленок в коронном разряде возможно получение электретов, поляризационное состояние которых носит комбинированный характер в силу того, что они содержат как избыточный электрический заряд, так и ориентированные диполи с разной химической структурой. В таком электрете, в отличие от ненаполненного ПЭ, формируется как поверхностный, так и объемный заряд, в результате чего электретное состояние становится стабильным. Для композиционных пленок с  $C_{кр} \geq 6$  мас. % параметр релаксации заряда в течение года составляет  $v_{\sigma_{эфф}} \approx 15$  %. Очевидно, что даже упаковочная пленка, прошедшая годичный эксплуатационный цикл, будет обладать достаточно высоким электретным зарядом.

Изучено влияние зарядового состояния композиционных пленок на их прочность. Экспериментально доказано, что электрическая поляризация

( $\sigma_{\text{эфф}} = 4\text{—}8 \text{ нКл/см}^2$ ) малонаполненных пленок ( $C_{\text{кр}} \leq 6 \text{ мас. \%}$ ) приводит к повышению их прочности ( $\Delta\sigma \approx 20 \%$ ). Это происходит благодаря увеличению степени упорядоченности межфазных прослоек под действием поля, а также переходом дипольных фрагментов компонентов композита в результате его электризации в состояние, облегчающее физико-химическое взаимодействие в системе.

Оценено влияние электретного заряда упаковочных пленок на иммобилизацию и рост на них колоний почвенных микроорганизмов. Методом микробиологического анализа (рисунок 1) выявлен оптимальный по скорости адсорбционной иммобилизации диапазон эффективной поверхностной плотности заряда ( $\sigma_{\text{эфф}} = 4\text{—}8 \text{ нКл/см}^2$ ).



**Рисунок 1 — Зависимость ширины зоны обрастания ( $L$ ) микроорганизмами в зависимости от поверхностной плотности поляризационного заряда пленок состава ПЭ(79)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6), мас. %**

Таким образом, электрическое поле композиционных пленок, создаваемое зарядом с вышеуказанными параметрами, оптимально соответствует режиму жизнедеятельности почвенной микрофлоры. По-видимому, это связано с поляризацией клеток микроорганизмов в электрическом поле, что влечет усиление их адсорбционного взаимодействия с заряженными пленочными подложками и обуславливает быстрое накопление биомассы на электретных образцах.

Оптимизированы последовательность технологических операций переработки разработанных составов биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок и их температурно-динамический режим. В условиях опытно-промышленного производства методом экструзии изготовлена опытная партия упаковочной пленки (толщина — 100—130 мкм, ширина рукава — 300 мм) с высокими деформационно-прочностными характеристиками ( $\sigma = 12,7 \text{ МПа}$ ,  $\varepsilon = 315 \%$ ).

Для придания пленке в процессе экструзии электретного заряда плотностью  $\sigma_{\text{эфф}} = 7 \text{ нКл/см}^2$  использовалась принудительная электризация полимер-

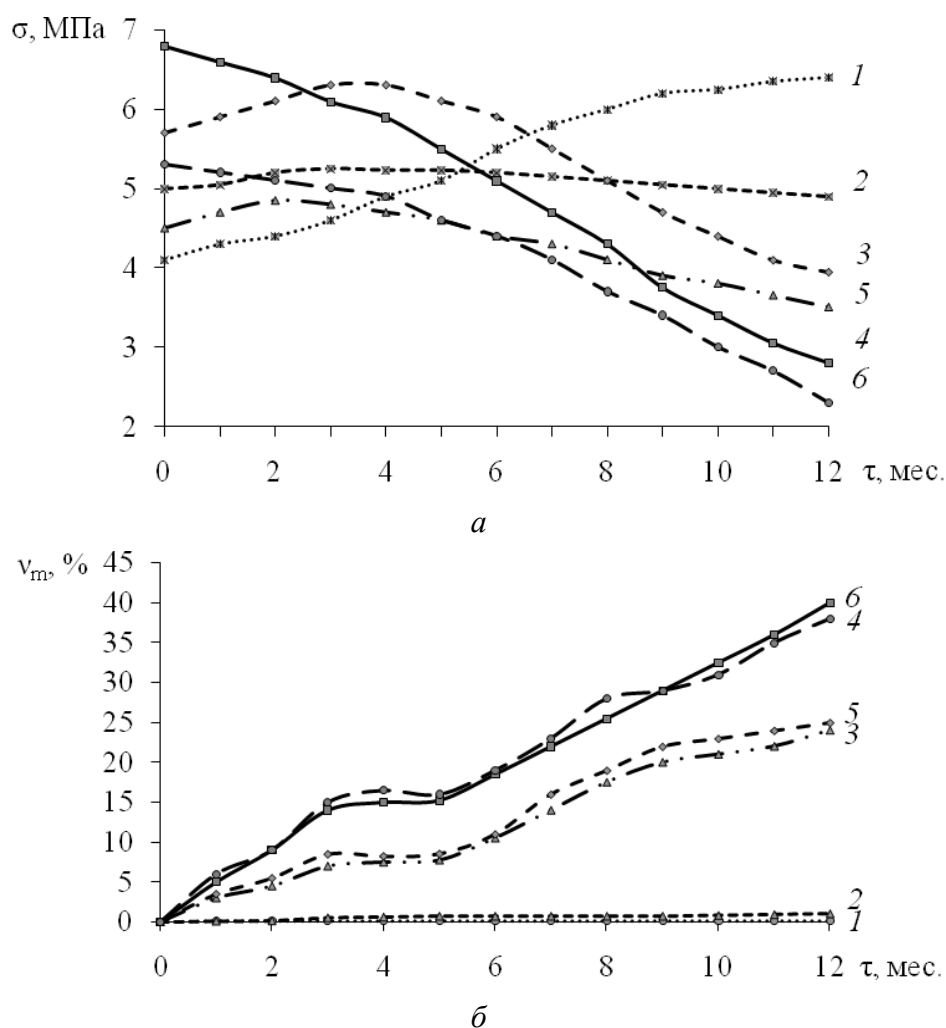
ного рукава, находящегося в вязко-текучем состоянии. На участке между торцом экструзионной головки и линией кристаллизации рукава был установлен кольцевой игольчатый электрод. Напряженность поля коронного разряда отрицательной полярности между иглами и пленкой составляла  $E = 5$  кВ/см.

Для получения опытной партии репеллентной упаковочной пленки (КОД = 66,7 %) полимерный гранулят перерабатывался на рукавно-пленочном агрегате, оснащенный устройством для термодиффузионного насыщения полимерного рукава репеллентом. Репеллентная жидкость приводилась в контакт с рукавом до момента кристаллизации, что позволило вводить в пленку масло при щадящих температурных режимах (температура эфирного масла над дорном экструзионной головки  $\approx 120$  °С).

В **четвертой главе** приведены результаты исследования кинетики биоразрушения упаковочных полиэтиленовых пленок почвенными микроорганизмами.

По результатам микробиологического тестирования выполнена экспресс-оценка скорости биоразрушения полиэтиленовых пленок. Регистрировалась ширина зоны биообрастания пленочных образцов колониями почвенных микроорганизмов. Обнаружен ускоренный рост ( $\Delta I = 40$  %) последних на электретных крахмалонаполненных и репеллентных пленках, обладающих зарядом с  $\sigma_{\text{эфф}} = 7$  нКл/см<sup>2</sup>. Полученные экспериментальные данные позволяют оценить вклад биоразрушаемого наполнителя (крахмала) в иммобилизацию и рост колоний микроорганизмов — около 60 %, при этом степень влияния электретного заряда на эти же процессы составляет около 40 %.

Моделировались естественные климатические условия захоронения упаковочных отходов в почву путем экспонирования электретных и неэлектретных образцов полиэтиленовой, крахмалонаполненной и репеллентной пленки в почвогрунте в течение 12 месяцев. Определены кинетические закономерности биоразрушения пленок почвенными микроорганизмами (рисунок 2, *a*), состоящие в значительном снижении прочности электретных пленок и прохождении кинетической кривой через максимум для неэлектретных. Это вызвано преобладанием эффекта биоразрушения электретных пленок над процессами вторичной сшивки макромолекул под действием гуминовых кислот почвы. Несмотря на то, что формирование в пленках электретного заряда обусловило рост исходных значений разрушающего напряжения при растяжении, прочность электретных пленок начинает падать сразу же после захоронения в почву. Время их разрушения почвенными микроорганизмами сокращается на период времени, в течение которого происходит упрочнение и разупрочнение обычной пленки до исходного значения предела прочности. После 12 месяцев нахождения в почве электретные образцы крахмалонаполненной и репеллентной пленок представляли собой мелкие деформированные фрагменты ( $v_{\sigma} \approx 60$  %).



1, 2 — ПЭ; пленки состава (масс. %): 3, 4 — ПЭ(79)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6);  
5, 6 — ПЭ(69)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6)-ЭМ<sub>м</sub>(10);  $\sigma_{эф}$ : 1, 3, 5 — 0; 2, 4, 6 — 7 нКл/см<sup>2</sup>

**Рисунок 2 — Кинетические зависимости механической прочности (а) и относительной потери массы (б) пленок от состава и электретных характеристик**

Более интенсивное протекание процесса биоразрушения электретных пленок по сравнению с неэлектретными также подтверждается результатами гравиметрических исследований (анализ кинетических зависимостей потери массы компостируемых в почве образцов представлен на рисунке 2, б). Показатели скорости биоразрушения электретных крахмалонаполненных и репеллентных упаковочных пленок в течение года составляют по критерию прочности  $v_{\sigma} \approx 60 \%$ , массы  $v_m \approx 40 \%$  (в то время как для аналогичных неэлектретных пленок эти показатели равны  $v_{\sigma} \approx 25 \%$ ,  $v_m \approx 25 \%$  соответственно).

Под действием метаболитов почвенных микроорганизмов происходит химическая деструкция компонентов полиэтиленовой пленки, сопровождающаяся трансформацией их структуры. После экспозиции пленок в почве в течение 6 месяцев методами микроскопии зарегистрирована более дефектная структура крахмалонаполненных электретных пленок, чем у контрольных образцов.

Зафиксировано снижение интенсивности полос поглощения на ИК-спектрах электретных крахмалонаполненных пленок после компостирования в течение 6 месяцев, характерных для полиэтиленовой матрицы в области 1350—1370 и 2670 см<sup>-1</sup> и Кр в областях 3150—3600 см<sup>-1</sup> (колебания О-Н поглощенной воды), 1640 см<sup>-1</sup> ( $\delta$  (О-Н) связь поглощенной воды), 1000—1180 см<sup>-1</sup> (колебания С-О-С и С-О-Н) и 500—930 см<sup>-1</sup> (деформация О-Н вследствие воздействия воды, круговые колебания С-О-С). Изменения в ИК-спектрах подтверждают вывод о более быстром биоразрушении электретных образцов почвенными микроорганизмами.

Экспериментально установлено, что модифицирование пленок репеллентом — мятным эфирным маслом — не снижает скорость их биоразрушения.

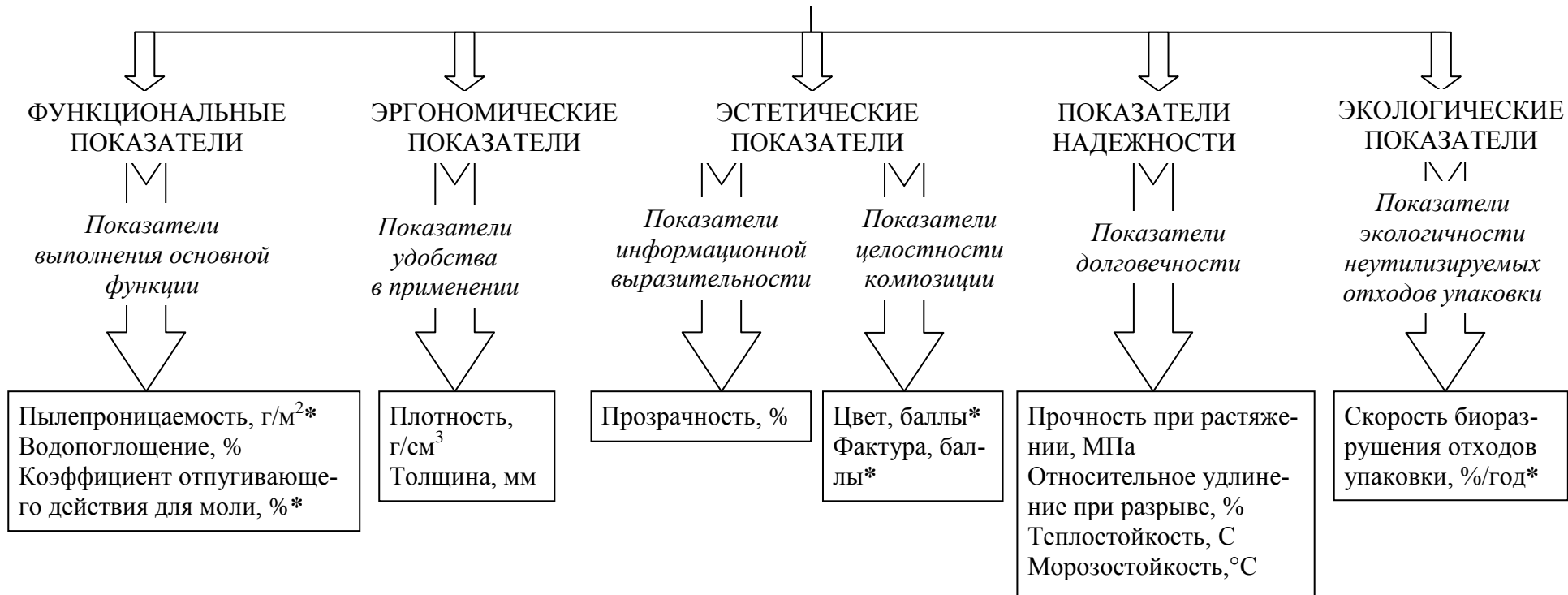
Сделан вывод о том, что электрическое поле, создаваемое электретным зарядом биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок ( $\sigma_{эфф} = 4—8$  нКл/см<sup>2</sup>), является экологически безопасным фактором регулирования биоразрушаемости полимерных композитов. Предложена технология изготовления упаковочных пленок на основе ПЭ, включающая операции физического (электризация) и физико-химического (наполнение полисахаридами) модифицирования пленок. Она позволяет сформировать полимерные пленки с улучшенными деформационно-прочностными характеристиками (за счет невысокой концентрации Кр) и повышенной способностью к биодеструкции. Прогнозирование методом экстраполяции на основе трендов полиномиальных кривых полного биоразрушения электретных упаковочных полиэтиленовых пленок при компостировании по критериям прочности и массы дает основания предполагать, что разработанная пленка должна деградировать полностью в течение двух лет, преобразовавшись в мелкие (менее 1 мм) фрагменты. Поставленную задачу на этом можно считать решенной, поскольку такая структура, проницаемая для воды и воздуха, не представляет опасности для живых существ, не влияет на экологическое равновесие и подвержена ускоренному естественному разложению на воду и углекислый газ.

В **пятой главе** приведены результаты оценки уровня качества, конкурентоспособности и эколого-экономической эффективности биоразрушаемых упаковочных полиэтиленовых пленок.

На основе типовой номенклатуры потребительских показателей качества товаров народного потребления и требований, предъявляемых потребителями и ТНПА к упаковке, определена развернутая номенклатура показателей качества упаковочных полимерных пленок на трех иерархических уровнях, включающая расширенную номенклатуру экологических показателей качества.

На основе многоуровневого анализа полученной развернутой номенклатуры проведен отбор приоритетных для потребителей показателей качества, составивших «потребительский стандарт» упаковочных пленок. Он включает усовершенствованную номенклатуру показателей (рисунок 3), в которой стандартный перечень дополнен функциональными (пылепроницаемость, коэффициент

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА УПАКОВОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК



13

\* — дополненные показатели качества

Рисунок 3 — Номенклатура показателей качества упаковочных пленок

отпугивающего действия для моли), экологическими (скорость биоразрушения отходов упаковки) и эстетическими (цвет, фактура) показателями. Дополнительные показатели отражают современные тенденции развития упаковочной отрасли — стремление к повышению уровня сохранности товаров от воздействия факторов окружающей среды (в том числе биоагентов), стимулированию спроса на упакованную продукцию, созданию конкурентных преимуществ упаковки за счет улучшения ее экологического имиджа.

Полученные единичные показатели качества разделены на две группы: 1) эстетические (оцениваемые органолептическим методом) и 2) физические, физико-химические и биологические (определяемые измерительными методами). Экспертным методом установлены коэффициенты весомости единичных показателей «потребительского стандарта» упаковочных пленок в каждой группе. Для эстетических показателей качества разработана балловая шкала оценки, а также градации уровня качества и конкурентоспособности, установленные группой экспертов. По показателям, определяемым измерительными методами, обоснованы и выявлены их максимальные, минимальные значения и математические зависимости для перевода в баллы.

Оценка качества и конкурентоспособности основана на сравнении показателей качества репеллентной упаковочной пленки и базового образца полиэтиленовой пленки на основании входящих в «потребительский стандарт» показателей. Осуществлялась отдельная комплексная оценка двух групп показателей на основе балловых оценок экспертов и их коэффициентов весомости, а затем рассчитывался обобщенный показатель качества ( $Q = 8,54$ ) (таблица 2).

Таблица 2 — Результаты оценки конкурентоспособности упаковочных пленок

Показатель	Полиэтиленовая пленка	Репеллентная биоразрушаемая пленка
Групповой комплексный показатель эстетических показателей пленки ( $Q_1$ )	2,00	2,99
Групповой комплексный показатель физических, физико-химических и биологических показателей ( $Q_2$ )	5,35	5,55
Обобщенный показатель качества ( $Q$ )	7,35	8,54
Себестоимость (С), дол. США/кг	1,68	1,79
Интегральный показатель конкурентоспособности ( $I$ )	4,4	4,8
Уровень конкурентоспособности ( $K$ )	1,0	1,1

Проведенный анализ выявил хороший уровень качества и высокий уровень конкурентоспособности ( $K = 1,1$ ) репеллентной упаковочной пленки, что обусловлено высокими значениями функциональных (КОД для моли), экологических показателей (скорости биоразрушения отходов упаковки) и показателей



надежности (прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве).

Годовой ожидаемый экономический эффект от внедрения новых биоразрушаемых упаковочных полимерных пленок, рассчитанный методом сравнения затрат на производство и утилизацию разработанных упаковочных пленок и полиэтиленовой пленки, составляет 54,990 тыс. дол. США. Ожидаемый экологический эффект, рассчитанный путем определения предотвращенного экологического ущерба от загрязнения почв и земельных ресурсов, — 5,453 тыс. дол. США.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Основные научные результаты диссертации.** В результате проведенных исследований, направленных на повышение экологических показателей качества упаковочных полиэтиленовых пленок, получены следующие основные результаты.

1. Определена номенклатура показателей качества упаковочных полиэтиленовых пленок, дополненная такими показателями, как пылепроницаемость, коэффициент отпугивающего действия для моли, скорость биоразрушения отходов упаковки, цвет и фактура [4].

2. Впервые экспериментально установлен ускоренный рост ( $\Delta I = 40\%$ ) на электретных композиционных пленках с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_{\text{эфф}} = 4\text{—}8$  нКл/см<sup>2</sup> колоний почвенных микроорганизмов, что обуславливает ускоренное микробиологическое разрушение пленок при компостировании [5, 6, 8, 14, 17, 18].

3. Разработаны составы электретной ( $\sigma_{\text{эфф}} = 7$  нКл/см<sup>2</sup>) крахмалонаполненной полиэтиленовой пленки (масс. %) ПЭ(79)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6), оптимизированные по критериям технологичности (ПТР = 1 г/10 мин) и прочности, а также электретной репеллентной пленки (масс. %) ПЭ(69)-ПЭ<sub>ф</sub>(5)-Гл(10)-Кр(6)-ЭМ<sub>м</sub>(10). Пленки обладают повышенными деформационно-прочностными ( $\sigma = 12,7$  МПа), экологическими свойствами и репеллентной активностью (КОД для моли = 66,7 %) [19].

4. Выявлено значительное (на 60 %) снижение прочности электретных упаковочных композиционных пленок в процессе биоразрушения микроорганизмами и определены показатели скорости их биоразрушения по критериям изменения прочности ( $v_{\sigma} \approx 60\%$ /год) и массы ( $v_m \approx 40\%$ /год) [8, 9].

5. Комплексным методом установлены хороший уровень качества (обобщенный показатель качества  $Q = 8,54$ ) и высокий уровень конкурентоспособности ( $K = 1,1$ ) электретных композиционных пленок, что позволило расширить ассортимент упаковочных полимерных материалов [2, 10, 12].

**Рекомендации по практическому использованию результатов.** Результаты проведенных научных исследований могут служить основанием для орга-

низации в Республике Беларусь производства упаковочных пленочных материалов на основе крупнотоннажно выпускаемых полиолефинов.

Составлены заявки на патенты Республики Беларусь — на способ получения полимерной электретной пленки (№ а 20081072 РБ, 2008 г.), способы получения биоразлагаемых полимерных пленок (№ а 20081073 РБ, 2008 г., № а 20081116 РБ, 2008 г.), которые находятся на рассмотрении в Национальном центре интеллектуальной собственности. По заявке на состав биоразлагаемой репеллентной упаковочной пленки (№ а 20081104 РБ, 2008 г.) в 2009 г. получено решение о выдаче патента на изобретение.

Разработаны технические условия ТУ ВУ 400084698.218-2009 «Пленка полиэтиленовая биоразрушаемая электретная».

Методом экструзии с раздувом в условиях опытно-промышленного производства на РУП СКТБ «Металлополимер» изготовлены опытные партии электретной крахмалонаполненной и репеллентной упаковочных пленок.

Разработанные полиэтиленовые пленки рекомендуются для использования в качестве упаковочных материалов для различных товарных групп непродовольственных товаров, в первую очередь текстильных, швейных и трикотажных.

Опытная партия пленки (100 кг) передана на ОАО «8 Марта» (г. Гомель), где используется для упаковывания трикотажных изделий — бельевых, верхних, спортивных и чулочно-носочных изделий (годовой выпуск изделий — более 65 млн ед.), а также хранения и защиты от насекомых-вредителей (моли) кератиносодержащей (25 % шерстяного волокна) трикотажной продукции — мужских чулочно-носочных изделий (около 60 тыс. пар). Упаковочные пленки прошли опытную эксплуатацию. Упакованные в них трикотажные изделия хранились в складских помещениях ОАО «8 Марта» (в течение 3 месяцев) и розничной торговой сети (в течение 1 месяца) без потерь эксплуатационных характеристик самой упаковки и с сохранением потребительских свойств упакованных товаров, в том числе кератиносодержащей продукции.

Срок службы упаковочных полимерных пленок в соответствии с ТНПА не нормируется, однако, учитывая повышение уровня культуры хранения и продажи товаров и, следовательно, рост спроса на упаковочные материалы, а также короткий жизненный цикл упаковки, можно прогнозировать срок службы упаковочных пленок в течение примерно одного года.

После утраты потребительских свойств упаковочные полиэтиленовые пленки рекомендовано утилизировать методом компостирования. Ожидаемый срок их биоразрушения не превышает 2 лет.

Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации» при изучении дисциплин «Товароведение и экспертиза культурно-хозяйственных товаров», «Основы материаловедения», «Производственные

технологии», «Теоретические основы товароведения», «Управление качеством», «Безопасность товаров».

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Статьи в научных рецензируемых журналах*

1. Гончарова, Е.П. Методы оценки биоразлагаемости полимерных материалов / О.А. Ермолович, А.В. Макаревич, Е.П. Гончарова, Г.М. Власова // Биотехнология. — 2005. — № 4. — С. 47—53.

2. Гончарова, Е.П. Полимерная упаковка: преимущества и перспективы / Е.П. Гончарова, Н.В. Кузьменкова, Е.Н. Трояновская // Потреб. кооперация. — 2006. — № 1. — С. 60—64.

3. Гончарова, Е.П. Современные тенденции создания биоразлагаемых полимерных материалов / Е.П. Гончарова, О.А. Ермолович, Л.С. Пинчук, В.Е. Сыцко // Материаловедение. — 2006. — № 9. — С. 37—43.

4. Гончарова, Е.П. Свойства и показатели качества мягкой полимерной упаковки / Е.П. Гончарова // Потреб. кооперация. — 2008. — № 1. — С. 63—69.

5. Гончарова, Е.П. Физическая модель микробиологической деструкции полимерных электретов / Л.С. Пинчук, М.В. Короткий, Е.П. Гончарова, О.А. Ермолович, В.Е. Сыцко // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2008. — № 2. — С. 40—44.

6. Гончарова, Е.П. Биоэлектрический механизм иммобилизации микроорганизмов на полимерных электретных пленках / Л.С. Пинчук, М.В. Короткий, Е.П. Гончарова, В.Е. Сыцко, В.А. Гольдаде // Докл. НАН Беларуси. — 2009. — Т. 53, № 2. — С. 107—110.

7. Гончарова, Е.П. Репеллентная биоразрушаемая пленка для упаковывания текстильных и меховых изделий / Е.П. Гончарова, В.Е. Сыцко, Л.С. Пинчук // Материалы. Технологии. Инструменты. — 2009. — № 2. — С. 51—54.

8. Гончарова, Е.П. Биоразлагаемые электретные пленки на основе полиэтилена / Е.П. Гончарова, Л.С. Пинчук, М.В. Короткий, О.А. Ермолович // Материаловедение. — 2009. — № 8. — С. 58—64.

### *Статьи в научно-практических журналах*

9. Гончарова, Е.П. Электрическое стимулирование биоразрушения отходов полимерной упаковки при утилизации методом компостирования / Е.П. Гончарова // Экология плюс. — 2009. — № 3. — С. 18—23.

### *Материалы конференций*

10. Гончарова, Е.П. Конкурентоспособность биоразлагаемых упаковочных полимерных материалов / Е.П. Гончарова, О.А. Ермолович // Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15—16 апр. 2004 г. / Белорус. торг.-экон. ун-т потреб. кооперации; редкол.: В.Е. Сыцко [и др.]. — Гомель, 2004. — С. 33—35.

11. Гончарова, Е.П. Методы оценки биодеструктируемости полимерных материалов / А.В. Макаревич, Г.М. Власова, О.А. Ермолович, Е.П. Гончарова // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии : материалы междунар. конф., Минск, 26—28 мая 2004 г. / Ин-т микробиологии НАН Беларуси ; науч. ред.: А.Г. Лобанок, Р.В. Михайлова. — Минск, 2004. — С. 214—216.

12. Гончарова, Е.П. К вопросу конкурентоспособности биоразлагаемых упаковочных полимерных материалов / Е.П. Гончарова // Проблемы создания механизма конкурентоспособного менеджмента : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21 мая 2005 г. / УП «Гипросвязь» ; редкол.: В.К. Конопелько [и др.]. — Минск, 2005. — С. 127—128.

13. Гончарова, Е.П. Экологическая безопасность полимерных пленок, применяемых в АПК / Е.П. Гончарова, В.Е. Сыцко, О.А. Ермолович, А.Г. Боховкин // Организационно-правовые аспекты инновационного развития АПК : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф., Горки, 15—16 марта 2007 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: В.С. Обухович [и др.]. — Минск, 2007. — Ч. 1. — С. 307—310.

14. Гончарова, Е.П. Придание электретных свойств пленочным композиционным материалам как способ ускоренной утилизации полимерных отходов / Е.П. Гончарова, Л.С. Пинчук, А.Г. Кравцов // Композиционные материалы в промышленности : материалы междунар. конф., Ялта, 28 мая — 1 июня 2007 г. / УИЦ «Наука. Техника. Технология» ; редкол.: В.С. Боголюбов [и др.]. — Киев, 2007. — С. 33—35.

15. Гончарова, Е.П. Технологические аспекты производства биоразлагаемой полимерной упаковки / Е.П. Гончарова // Традиции и инновации в кооперативном секторе национальной экономики : материалы междунар. науч. конф., Москва, 6—7 февр. 2008 г. / Рос. ун-т кооперации. — М., 2008. — С. 169—170.

16. Гончарова, Е.П. Экологическая безопасность полимерных упаковочных материалов / Е.П. Гончарова // Молодежь и наука: реальность и будущее : материалы междунар. науч.-практ. конф., Невинномысск, 3 марта 2009 г. : в 9 т. / Невинномысск. ин-т экономики, управления и права ; редкол.: В.А. Кузьмищев [и др.]. — Невинномысск, 2009. — Т. 8. — С. 566—568.

### *Тезисы докладов конференций*

17. Гончарова, Е.П. Придание электретных свойств полимерным композиционным материалам как способ ускорения иммобилизации микроорганизмов / М.В. Короткий, О.А. Ермолович, А.Г. Боховкин, Е.П. Гончарова // Полимерные композиты и трибология : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 16—19 июля 2007 г. / Ин-т механики мелаллополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси ; редкол.: В.Н. Адериha [и др.]. — Гомель, 2007. — С. 148—149.

18. Гончарова, Е.П. Электретное состояние как фактор биоразлагаемости полимерных пленок / Е.П. Гончарова, М.В. Короткий // ВМС—2008 : тез. докл. конф., Киев, 30 сент. — 3 окт. 2008 г. / Ин-т химии высокомолекулярных соединений НАН Украины ; редкол.: Е.В. Лебедев [и др.]. — Киев, 2008. — С. 166.

19. Гончарова, Е.П. Биоразлагаемая упаковка на основе композиций полиолефинов и модифицированного крахмала / О.А. Ермолович, М.В. Короткий, С.Г. Азизбеян, В.В. Шманай, Е.П. Гончарова // Полимерные композиты и трибология : тез.

докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 22—25 июня 2009 г. / Ин-т механики металллополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.]. — Гомель, 2009. — С. 86—87.

## РЭЗІЮМЭ

Ганчарова Кацярына Пятроўна

### **Біяразбуральныя электрэтныя пленкі на аснове поліэтылену для пакавання тавараў легкой прамысловасці**

**Ключавыя словы:** біяразбуральная ўпакоўка, кампазіцыйная палімерная пленка, электрэтны зарад, электрычнае поле, кампаставанне, глебавыя мікраарганізмы, спажывецкія ўласцівасці, паказчык якасці, канкурэнтаздольнасць.

**Мэта работы:** павышэнне экалагічных паказчыкаў якасці поліэтыленавых пленак, якія выкарыстоўваюць для пакавання тавараў легкой прамысловасці, шляхам увядзення мадыфікуючых дадаткаў і фарміравання электрэтнага стану.

**Метады даследавання:** ІК-спектраскапія, рэалагічны аналіз, дыферэнцыяльна-тэрмічны аналіз, мікраскапія, электрэтна-тэрмічны аналіз, стандартныя метады вызначэння фізічных і фізіка-хімічных характарыстык, мікробіялагічнае і энтамалагічнае тэсціраванне, гравіметрыя.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацаваны і выраблены электрэтныя біяразбуральныя ўпаковачныя палімерныя пленкі, якія маюць добры ўзровень якасці і высокі ўзровень канкурэнтаздольнасці за кошт высокіх дэфармацыйна-трываласных характарыстык, паскоранага біяразбурэння ў глебе і здольнасці засцерагаць упакаваныя у пленку тавары легкой прамысловасці ад біяпашкоджанняў. Упершыню паказана, што шляхам стварэння ў кампазіцыйнай пленке электрэтнага стану можна знізіць ступень яе напаўнення крухмалам, за кошт чаго павысіць тэхналагічныя, эксплуатацыйныя і экалагічныя паказчыкі. Электрычнае поле, ствараемае электрэтным зарадам пленкі, з'яўляецца экалагічна бяспечным фактарам рэгулявання біяразбуральнасці палімерных кампазітаў.

**Рэкамендацыі да выкарыстання:** даследныя партыі распрацаваных палімерных пленак выкарыстоўваюцца на ААТ «8 Марта» (г. Гомель) для пакавання трыкатажных вырабаў — бялізнавых, верхніх, спартыўных і панчошна-шкарпэтачных, а таксама захавання і засцярогі ад насякомых-шкоднікаў (молі) шарсцяных трыкатажных вырабаў — мужчынскіх панчошна-шкарпэтачных вырабаў. Пасля страты сваіх спажывецкіх уласцівасцей упаковачныя пленкі ўтылізуюць метадам кампаставання ў глебе. Перыяд біяразбурэння пленак не перавышае 2 гадоў.

**Галіна выкарыстання:** легкая прамысловасць (тэкстыльная, швейная, трыкатажная галіны), галіна рознічнага гандалю, тэхналогія пераапрацоўкі пластычных масаў.

## РЕЗЮМЕ

Гончарова Екатерина Петровна

### **Биоразрушаемые электретные пленки на основе полиэтилена для упаковывания товаров легкой промышленности**

**Ключевые слова:** биоразрушаемая упаковка, композиционная полимерная пленка, электретный заряд, электрическое поле, компостирование, почвенные микроорганизмы, потребительские свойства, показатель качества, конкурентоспособность.

**Цель работы:** повышение экологических показателей качества полиэтиленовых пленок, применяемых для упаковывания товаров легкой промышленности, путем введения модифицирующих добавок и формирования электретного состояния.

**Методы исследования:** ИК-спектроскопия, реологический анализ, дифференциально-термический анализ, микроскопия, электретно-термический анализ, стандартные методы определения физических и физико-химических характеристик, микробиологическое и энтомологическое тестирование, гравиметрия.

**Полученные результаты и их новизна:** разработаны и изготовлены электретные биоразрушаемые упаковочные полимерные пленки, имеющие хороший уровень качества и высокий уровень конкурентоспособности вследствие высоких деформационно-прочностных характеристик, ускоренного биоразрушения в почве и способности предохранять упакованные в пленку товары легкой промышленности от биоповреждений. Впервые показано, что путем создания в композиционной пленке электретного состояния можно снизить степень ее наполнения крахмалом, за счет чего повысить технологические, эксплуатационные и экологические показатели. Электрическое поле, создаваемое электретным зарядом упаковочной пленки, является экологически безопасным фактором регулирования биоразрушаемости полимерных композитов.

**Рекомендации по использованию:** опытные партии разработанных полимерных пленок используются на ОАО «8 Марта» (г. Гомель) для упаковывания трикотажных изделий — бельевых, верхних, спортивных и чулочно-носочных, а также хранения и защиты от насекомых-вредителей (моли) кератиносодержащей трикотажной продукции — мужских чулочно-носочных изделий. После утраты своих потребительских свойств упаковочные пленки утилизируют методом компостирования в почве. Период биоразрушения пленок не превышает 2 лет.

**Область применения:** легкая промышленность (текстильная, швейная, трикотажная отрасли), отрасль розничной торговли, технология переработки пластических масс.



## SUMMARY

Goncharova Ekaterina Petrovna

### **Biodestructible electret films based on polyethylene for package goods of light industry**

**Key words:** biodestructible packing, composite polymer film, electret charge, electric field, composting, soil microorganisms, consumer properties, quality index, competitiveness.

**The purpose of work:** increasing of ecological quality indexes of polyethylene films for package goods of light industry by doping of modifying agents and electret state creation.

**Methods of investigation:** IR-spectroscopy, rheological analysis, differential-thermal analysis, microscopy, electret-thermal analysis, standard methods of physical and physico-chemical characteristics determining, microbiological and entomological testing, gravimetry.

**The results and their novelty:** electret biodestructible packing polymer films with good quality level and high competitiveness level at the expense of high deformation and strength characteristics, fast biodestruction in soil and capability to protect light industry goods from biodeteriorations have been developed and manufactured. The decrease possibility of composite film filling starch rate by creation of electret state has been shown for the first time, due to the increasing of technological, performance and ecological characteristics can be made. The electric field, created by the electret charge of packing film, is the ecologically safety factor of polymer composites biodestructability regulation.

**Recommendations for application:** industrial batches of developed polymer films are used at J. S. Co «8 Marta» (Gomel) for package of knitted goods — linen, outerwear, sport and hosiery, also storage and protection of knitted production containing keratin — men's hosiery from injurious insects (mole). Packing films after loss of their consumer properties are utilized by composting in the soil. Biodestruction period of films not exceeds of 2 years.

**Field of application:** light industry (textile, tailoring, knitted), retail trade, technology of plastics treatment.

Редактор *Г.В. Андропова*  
Корректор *О.В. Бордашева*  
Технический редактор *О.В. Амбарцумова*  
Компьютерный дизайн *Ю.Н. Лац*

Подписано в печать 26.04.2010. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Офсетная печать. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 66 экз. Заказ

УО «Белорусский государственный экономический университет».  
Лицензия издательская № 02330/0494500 от 08.04.2009.  
220070, Минск, просп. Партизанский, 26.

Отпечатано в УО «Белорусский государственный экономический университет».  
Лицензия полиграфическая № 02330/0494173 от 03.04.2009.  
220070, Минск, просп. Партизанский, 26.