

# Исследования изменения физико-механических характеристик полимерных пленочных материалов на основе полиэтилена, наполненных $\text{CaCO}_3$ , при воздействии ультрафиолетового излучения

**Мяленко Дмитрий Михайлович**

ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
молочной промышленности»

Адрес: 115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7

E-mail: d.myalenko@vnimi.org

**Михайленко Павел Геннадиевич**

ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
молочной промышленности»

Адрес: 115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7

E-mail: p\_mikhailenko@vnimi.org

В современном мире требования к эксплуатационным свойствам различных материалов и получаемых из них изделиям постоянно возрастают, что может быть обеспечено путем выбора сырья и технологических параметров производства. Существенное изменение свойств материала и придание ему новых характеристик возможно за счет введения модифицирующих наполнителей, которые наряду с эксплуатационными изменяют технологические свойства, облегчая переработку материала в изделие при одновременном снижении себестоимости продукции. Разрабатываемые материалы в перспективе должны обеспечить сохранность продукции на всем протяжении ее срока хранения и эксплуатации, а после эксплуатации продукции существенно снизить нагрузку на окружающую среду. Цель работы – выявить склонность к деструкции полимерных высоконаполненных материалов путем определения влияния ультрафиолетового излучения на физико-механические характеристики полиэтиленовой пленки, наполненной карбонатом кальция. Эксперимент по облучению ультрафиолетовым излучением наполненных материалов проведен с использованием экспериментального макетного стенда. Физико-механические испытания пленок до и после облучения проводили в соответствии с нормативными документами. Проведенные исследования показали влияние ультрафиолетового излучения на физико-механические характеристики полимерных пленок с большим содержанием (не менее 50%) карбоната кальция, что потенциально может дать хорошие предпосылки для ускоренной деградации и деструкции полимерных материалов и уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду после окончания ее жизненного цикла.

**Ключевые слова:** полиэтиленовые наполненные пленки, карбонат кальция, ультрафиолетовое излучение, деструкция, физико-механические свойства, прочность швов

## Введение

При воздействии факторов окружающей среды в пищевых продуктах происходят процессы, приводящие к ухудшению качества и безопасности (Боженкова, Таракановская, Тарновская, & Аширов,

2017; Килессо, 2012). То есть на современном уровне развития техники и технологии поставленные задачи невозможно решить без рационального использования современных упаковочных средств. В настоящее время актуальной проблемой остается защита и сохранение потребительских свойств молочной и пищевой продукции<sup>1</sup>. Для этих целей

<sup>1</sup> ТР ТС 005/2011 (2011). О безопасности упаковки. URL: <http://www.eurotest.ru/upload/iblock/6c9/6c977dbc8c9f2fc095035f49b52985f1.pdf> (дата обращения: 13.03.2021).

постоянно проводятся исследования и совершенствования упаковочных материалов и технологий упаковочного производства (Королев 2005).

### Теоретическое обоснование

Постоянное расширение ассортимента молочных и молокосодержащих продуктов, а также общая тенденция увеличения их сроков годности предъявляют особые требования к используемым упаковочным материалам и изготовленной из них таре (Федотова, 2017). Химический состав и структура упаковочных материалов определяют не только безопасность их использования при контакте с продуктом<sup>2</sup>, но и обеспечивают комплекс требуемых функциональных свойств (Коулз, МакДауэлл, & Кирван, 2008; Федотова, 2012).

Однако, вместе с этими требованиями, необходимо также уделять особое внимание защите окружающей среды. Рост использования синтетических полимерных материалов может привести к серьезным экологическим последствиям (Кирш, Фролова, & Мяленко, 2018; Кондратова и др., 2020; Филипович & Зубец, 2011).

Перед отечественными и зарубежными учеными стоит одна из важнейших задач по разработке упаковочных материалов и технологических решений, направленных на создание синтетических полимерных материалов, имеющих склонность к ускоренному «состариванию» (Заиков, 2000; Товстоног, 2007). При выборе подходов к созданию таких материалов следует уделить особое внимание изучению свойств, сроков и условий хранения упакованной пищевой продукции для того, чтобы исключить возможность начала процесса деградации упаковки до момента окончания жизненного цикла упакованного продукта (Федотова, 2019). В качестве одного из таких решений может быть использовано ультрафиолетовое (УФ) излучение, которое при определенных режимах облучения оказывает существенное влияние на скорость фотодеструкции и разрушения материала (Бобоев, Гафуров, & Истамов, 2020а; Бобоев, Истамов, & Гафуров, 2020b; Заиков, 2000; Кестельман, 1980; Коулз и др., 2008).

При воздействии на полимерные упаковочные материалы УФ-излучения при определенных длинах волн и интенсивности воздействия<sup>3</sup> могут инициироваться процессы фотодеструкции или фотоокислительной деструкции (Бобоев, Гафуров, & Истамов, 2020b; Коньков, 2005; Куксенко, 2005).

Основная реакция фотодеструкции – это разрыв макромолекул. Механизм этого процесса определяется в основном строением главной цепи макромолекулы, а также присутствием в составе полимера посторонних компонентов различной природы. Скорость протекания процесса фотодеструкции зависит не только от состава и свойств полимерного материала, но и от длины волны при которой проводится облучение. При длине волны ниже 270 нм процессы фото(окислительной)деструкции протекают более интенсивно (Бобоев, Истамов, & Гафуров, 2020а; Корецкая & Плескачевский, 2002), что приводит к сравнительно быстрому ухудшению физико-механических свойств: разрушающее напряжение при разрыве, относительное удлинение при разрыве резко падают, материал становится хрупким и т.д.<sup>4,5,6</sup> При этом следует отметить, что интенсивность взаимодействия кислорода с полимером прямо пропорциональна интенсивности облучения и температуре. (Бобоев, Истамов, & Гафуров, 2020b; Заиков, 2000; Корецкая & Плескачевский, 2002; Коулз и др., 2008).

Из литературных источников известно (Заиков, 2000; Коулз и др., 2008), что характер воздействия ультрафиолетового излучения на полимерные материалы класса полиолефинов неодинаковый. Так, например, по стойкости к ультрафиолетовому излучению полимерные материалы класса полиолефинов располагаются в следующей последовательности: полипропилен/полиэтилен низкого давления/сополимер этилена и пропилена /полиэтилен высокого давления. (Коулз и др., 2008). Следует также отметить, что разветвленная полимерная структура материала влияет на скорость протекания процесса фотодеструкции. Кроме этого, введение органических и неорганических компонентов в полимерные материалы также может оказывать влияние на стойкость материала к воздействию ультрафиолета (Бобоев, Гафуров, & Истамов, 2020а).

<sup>2</sup> Ефремов, Н. Ф., Лемешко, Т. В., & Чуркин, А. В. (2004). Конструирование и дизайн тары и упаковки: Учебник для вузов. М.: МГУП.

<sup>3</sup> Заиков, Г. Е. (1990). Деструкция и стабилизация полимеров: Учебное пособие. М.

<sup>4</sup> Шур, А. М. (1981). Высокомолекулярные соединения: Учебник для университетов (3-е изд., перераб. и доп.). М.: Высшая школа.

<sup>5</sup> Крыжановский, В. К., Бурлов, В. В., Паниматченко, А. Д. (2007). Технические свойства полимерных материалов: Учебно-справочное пособие (2-е изд., испр.). СПб.: Профессия.

<sup>6</sup> Максимова, Л. А. (2005). Высокомолекулярные соединения и материалы на их основе, применяемые в пищевой промышленности: Учебно-справочное пособие. М.: КолосС.

Была предложена рабочая гипотеза о том, что УФ-излучение постоянного горения с длиной волны 247 нм, при котором достигается высокий бактерицидный эффект, может оказывать воздействие на прочностные показатели полиэтиленовой высоконаполненной пленки и вызывать инициирование процессов фотодеструкции.

## Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись пленка полиэтиленовая на основе полиэтилена высокого давления по ГОСТ 16337<sup>7</sup> марки Н и концентрата миреналонаполненного ( $\text{CaCO}_3$ ) на основе полиэтилена высокого давления, в концентрации 50%мас. и 70%мас. Карбонат кальция вводился в полимерную основу через суперконцентрат. Данные материалы в настоящее время нашли широкое применение в молочной и пищевой отрасли для производства упаковки различных форм-факторов. Толщина пленок составляла 65 микрон.

Образцы исследованных пленок с различным содержанием  $\text{CaCO}_3$  подвергали воздействию УФ-излучения от источника постоянного горения с длиной волны 247 нм. Для этого был сконструирован макетный стенд, который состоит из блока питания, пульта управления и источника УФ-излучения, с возможностью регулирования расстояния между источником излучения и поверхностью облучаемого материала. В качестве источника света использована бактерицидная лампа TUV 15W/G 15 T8 LONG LIFE фирмы Philips.

На экспериментальной установке проводили облучение поверхности пленок с различным содержанием минерального наполнителя (50 и 70% масс.). Образцы размером 200мм×500мм помещали под источник излучения при режимах облучения, указанных в Таблице 1. Перед проведением эксперимента полимерные пленки проходили визуальный осмотр и акклиматизацию в лабораторных условиях при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 2 часов.

Выбор режимов облучения обусловлен ранее проводимыми работами ученых и специалистов ФГАНУ «ВНИМИ», занимающимися вопросами изучения бактерицидных свойств УФ-излучения, направленного к различным микроорганизмам

Таблица 1

*Режимы облучения поверхности материала на экспериментальной макетной установке*

Номер режима	Варьируемые показатели	
	Расстояние от источника излучения до поверхности материала, мм	Время воздействия, мин
1	10	5
2	10	10
3	10	15
4	10	30
5	10	60
6	10	90

(Козлов, Федотова, & Шашковский, 2003; Мяленко, 2009; Фильчакова, 2008).

В ходе проведения эксперимента оценивали внешний вид и физико-механические показатели исследуемых образцов пленок после облучения. Измерения разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 14236-81<sup>8</sup>. Прочность сварных швов оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 12302-2013<sup>9</sup>. Испытания проводили на универсальной испытательной машине Shimadzu EZ-LX (с максимальной мощностью установленного детектора силы 2 кН, длиной хода траверсы 920мм) с использованием профессионального программного обеспечения «TRAPEZIUM X». Для увеличения массива экспериментальных данных проводили испытания с увеличенной повторностью испытаний (20 повторных испытаний каждого образца в продольном и поперечном направлениях). За результат испытаний принимали среднее арифметическое значение, округленное до двух значащих цифр.

## Результаты и их обсуждение

На первом этапе проводили облучение пленок с содержанием минерального наполнителя  $\text{CaCO}_3$  50%масс. и 70%масс. при выбранных режимах. Физико-механические свойства определяли сразу после облучения. Параллельно проводили испытания необлучённых материалов. Результаты

<sup>7</sup> ГОСТ 16337. (2008). Полиэтилен высокого давления. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>8</sup> ГОСТ 12302-2013. (2019). Пакеты из полимерных и комбинированных материалов. Общие технические условия. М. Стандартинформ.

<sup>9</sup> ГОСТ 14236-81. (1981). Пленки полимерные. Метод испытаний на растяжение. М.: Издательство стандартов.

проведенных испытаний разрушающего напряжения при разрыве представлены на Рисунках 1 и 2.

Из полученных результатов видно, что разрушающее напряжение при разрыве изменяется в зависимости от концентрации минерального наполнителя и длительности воздействия УФ излучения, как в продольном, так и в поперечном направлениях. У образца пленки с концентрацией минерального наполнителя 50,0%масс. наблюдается уменьшение показателя на 5,26%, а у образца пленки с концентрацией наполнителя 70,0%масс на 3,63%.

В поперечном направлении наблюдается аналогичная картина: уменьшение показателя разрушающего напряжения при разрыве у образцов пленок с концентрацией  $\text{CaCO}_3$  50,0%масс. и 70,0%масс. составляет 6,25% и 16,88% соответственно.

Прочностные показатели контрольного (ненаполненного) образца изменяются при воздействии на него УФ-излучения в выбранных режимах.

При воздействии на образцы пленки с концентрацией карбоната кальция 70,0%мас., вырезанной в продольном направлении и времени облучения 15 минут, наблюдается уменьшение разрушающе-

го напряжения при разрыве на 11,0% по сравнению с пленкой, наполненной на 50,0%масс. Это свидетельствует о том, что концентрация минерального наполнителя влияет на физико-механические показатели материала (прочность при разрыве).

Анализ полученных результатов испытаний образцов минералонаполненных пленок показал существенные колебания показателя относительного удлинения при разрыве (более 40%). Это объясняется тем, что введение низкомолекулярных соединений влияет на структуру полимерной основы материала и ослабляет межмолекулярные связи полимера. Исходя из этой особенности, установить влияние УФ-излучения в выбранных режимах облучения не представлялось возможным.

На втором этапе проведения эксперимента проводили облучение минералонаполненных образцов пленок с последующим формированием пакетов. Исследования изменения прочности сварных швов проводили сразу после облучения. Параллельно проводили испытания необлучённых материалов. Результат визуальной оценки качества сформированных швов удовлетворительный, швы в продольном и поперечном направлении формируются ровные без деформаций и нарушений герметичности. В качестве эталонных швов

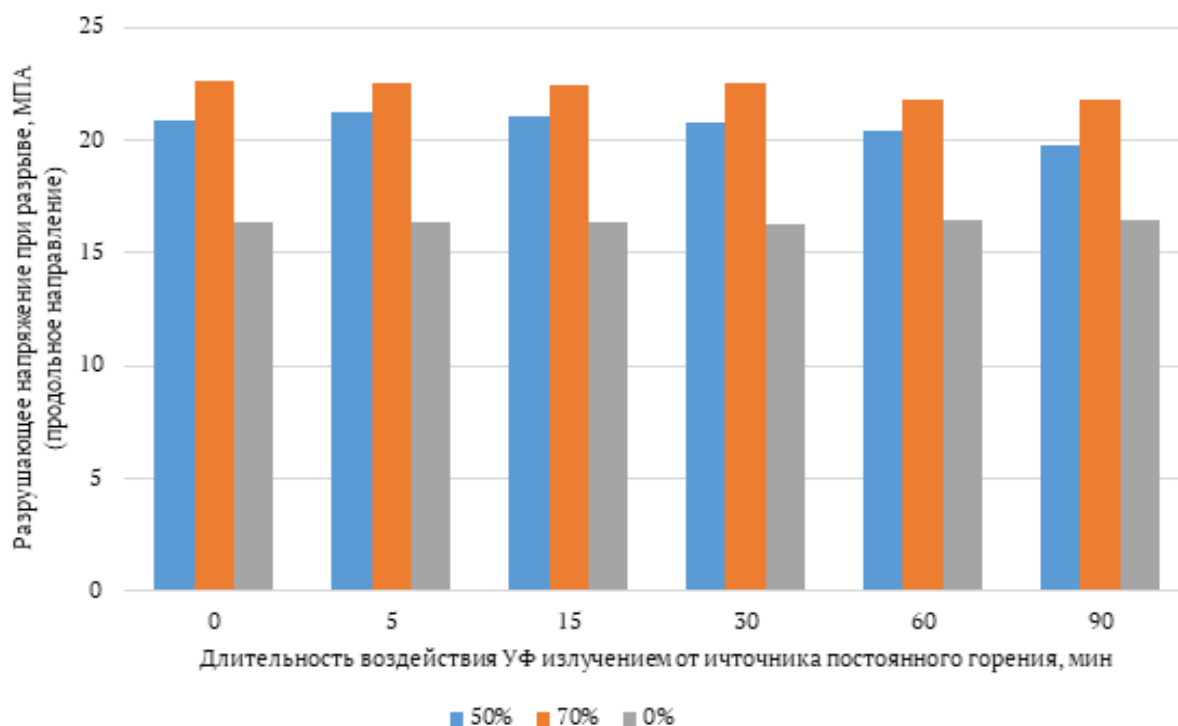
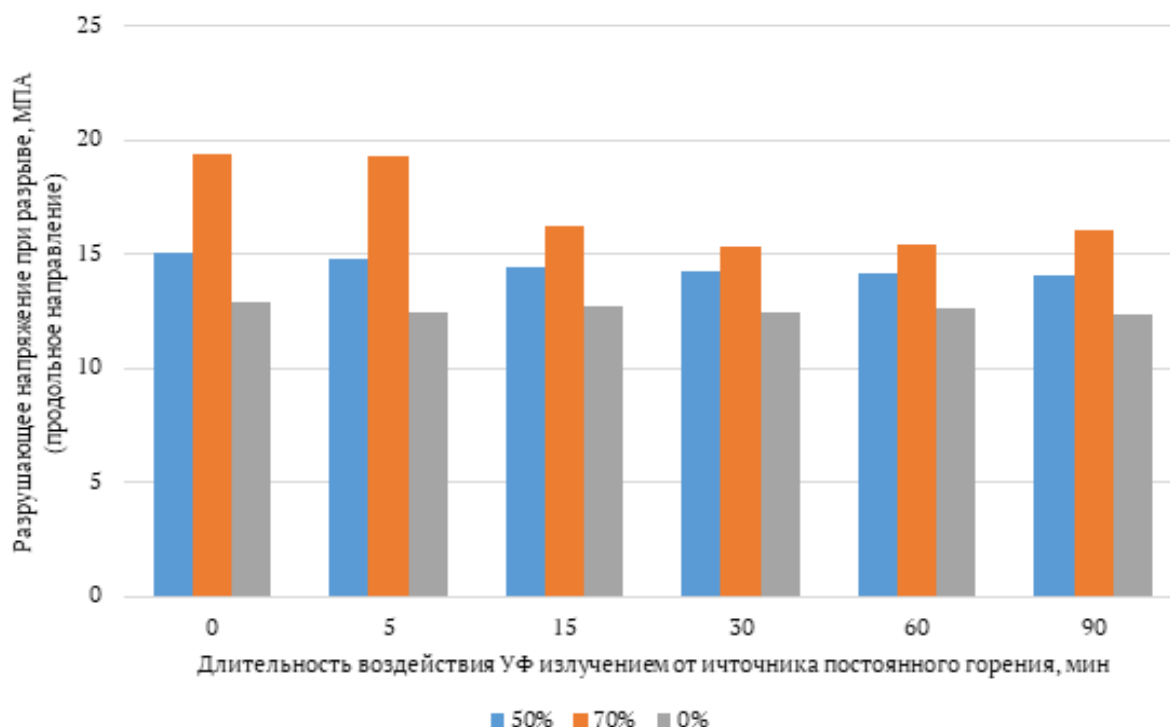


Рисунок 1. Изменение разрушающего напряжения при разрыве пленки полиэтиленовой, наполненной карбонатом кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), в зависимости от степени наполнения и времени воздействия ультрафиолетового излучения (продольное направление)



**Рисунок 2.** Изменение разрушающего напряжения при разрыве пленки полиэтиленовой, наполненной карбонатом кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), в зависимости от степени наполнения и времени воздействия ультрафиолетового излучения (поперечное направление)

использовали пакеты, сформированные из необлученных материалов. Полученные данные свидетельствуют, что УФ-излучение при выбранных режимах не оказывает негативного влияния на способность материала к термосварке.

Результаты исследований прочности сварных швов, исследуемых образцов представлены в Таблице 2.

Из полученных результатов видно, что прочность сварных швов в зависимости от выбранного ре-

**Таблица 2**

*Результаты испытаний прочности сварных швов, сформированных из полимерных высоконаполненных материалов после воздействия на них ультрафиолетового излучения*

Номер режима	Расстояние от источника излучения до поверхности материала, мм	Время воздействия, мин	Содержание CaCO <sub>3</sub> , %мас.					
			контроль		70,0		50,0	
			Прочность сварного шва, МПа					
			Прод.	Попер.	Прод.	Попер.	Прод.	Попер.
фон	0	0	16,2	12,3	17,6	15,4	13,9	11,8
1	100	15	15,8	12,4	17,9	15,5	12,5	9,8
2	10	5	15,6	12,1	17,4	15,1	13,0	10,5

жима облучения изменяется у образцов пленки с содержанием минерального наполнителя 50,0%масс; как в продольном, так и в поперечном направлении наблюдается уменьшение показателей на 10,1% и 17,0% соответственно. Для материала с содержанием наполнителя 70,0% изменения практически не наблюдаются. Возможно, изменение прочностных показателей может

быть связано с молекулярно-массовым распределением концентрата внутри полимерной пленки.

## Выводы

Таким образом, облучение источником постоянного горения с длинной волны 247 нм полиэ-

тиленовых упаковочных пленок, наполненных карбонатом кальция в количестве 50-70%мас. способно инициировать процессы их деструкции. Это выражается в снижении разрушающего напряжения при разрыве и прочности сварных швов. Выявленные факты могут быть приняты во внимание для облегчения процесса переработки или утилизации упаковки после окончания ее «жизненного» цикла и снижения экологической нагрузки.

## Литература

- Бобоев, Т. Б., Гафуров, С. Д., & Истамов, Ф. Х. (2020a). Исследование влияния уф-облучения на скорость разрушения полимеров. Прикладная физика, 5, 93–96. URL: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-20/20-5/PF-20-5-93.pdf> (дата обращения: 13.02.2021).
- Бобоев, Т. Б., Гафуров, С. Д., & Истамов, Ф. Х. (2020b). Роль растягивающей нагрузки в развитии фотодеструкции некоторых полиолефинов. Полимерные материалы и технологии, 6(1), 95–102. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-1-95-102>
- Бобоев, Т. Б., Истамов, Ф. Х., & Гафуров, С. Д. (2020a). Законы фотохимии в полимерах. Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 63(1–2), 85–88.
- Бобоев, Т. Б., Истамов, Ф. Х., & Гафуров, С. Д. (2020b). Оценка эффективности фотодеструкции полиэтилентерефталата квантов уф-излучения разной длины волны. Прикладная физика, 1, 32–35. URL: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-20/20-1/PF-20-1-32.pdf> (дата обращения: 13.02.2021).
- Боженкова, Г. С., Таракановская, А. Н., Тарновская, О. Д., Аширов, Р. В. (2017). Влияние факторов среды на физико-механические свойства полидиметилового эфира норборнен-2, 3-дикарбоновой кислоты. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология, 60(5), 68–73. <https://doi.org/10.6060/tcct.2017605.5511>
- Заиков, Г. Е. (2000). Почему стареют полимеры. Соросовский образовательный журнал, 12, 48–55.
- Кестельман, В. Н. (1980). Физические методы модификации полимерных материалов. М.: Химия.
- Килессо, С. А. (2012). Технический регламент Таможенного союза «О безопасности упаковки». Молочная промышленность, 6, 18–19.
- Кирш, И. А., Фролова, Ю. В., & Мяленко, Д. М. (2018). Упаковка молока: сегодня и в перспективе. Переработка молока, 6, 36–38.
- Козлов, Н. П., Федотова, О. Б., & Шашковский, С. Г. (2003). Новая импульсная технология обеззараживания упаковочных материалов. В Сборник научных трудов 6-й Международной симпозиум по радиационной плазмодинамике (с. 206–207). М.: НИЦ «Инженер».
- Кондратова, Т. А., Семенов, А. А., Кирш, И. А., Банникова, О. А., Островская, В. Д., & Мяленко, Д. М. (2020). Барьерные упаковочные материалы для мясной продукции. Мясные технологии, 1, 19–21. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2020-01-19-21>
- Коньков, В. С. (2005). Применение ультрафиолетового излучения для обеспечения санитарно-гигиенических норм на производстве. Переработка молока, 1, 6–7.
- Корецкая, Л. С., & Плескачевский, Ю. М. (2002). Физическая мезомеханика разрушения полимеров при уф-облучении. Вопросы материаловедения, 1, 423–428.
- Королев, Д. (2005). Упаковка продуктов питания в модифицированной газовой среде. Мясные технологии, 5, 32–33.
- Коулз, Р., МакДауэлл, Д., & Кирван, М. Дж. (2008). Упаковка пищевых продуктов. СПб.: Профессия.
- Куксенко, Е. С. (2005). Повышение стойкости полипропилена к термоокислительной деструкции (Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук). М.: Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева.
- Мяленко, Д. М. (2009). Совершенствование технологии расфасовки молочной продукции путем обеззараживания потребительской тары импульсным ультрафиолетовым излучением (Автореферат диссертации ... кандидата технических наук). М.: Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В. М. Горбатова.
- Товстоног, В. А. (2007). Комплексное моделирование характеристик старения полимерных материалов. Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Машиностроение, 3, 3–22.
- Федотова, О. Б. (2012). Упаковка и хранение молока и молочной продукции. Переработка молока, 1, 10–11.
- Федотова, О. Б. (2017). О показателях качества упаковочного материала, упаковки и их контроле. Молочная промышленность, 1, 33–36.
- Федотова, О. Б. (2019). О старении и сроке годности упаковки. Молочная промышленность, 6, 12–13.
- Филипович, Т. А., & Зубец, И. В. (2011). Биоразлагаемые полимерные упаковочные материалы – альтернатива традиционным полимерам. Здоровье и окружающая среда, 19, 156–162.
- Фильчакова, С. А. (2008). Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов. Молочная промышленность, 7, 44–46.

# Researches of Changes in the Physical and Mechanical Characteristics of Polymeric Film Materials Based on Polyethylene, Filled with $\text{CaCO}_3$ , when Exposed Ultraviolet Radiation

**Dmitry M. Myalenko**

FGANU "All-Russian Dairy Research Institute"  
35/7, Lyusinovskaya st., Moscow, 115093, Russian Federation  
E-mail: d.myalenko@vnimi.org

**Pavel G. Mikhaylenko**

FGANU "All-Russian Dairy Research Institute"  
35/7, Lyusinovskaya st., Moscow, 115093, Russian Federation  
E-mail: p\_mikhailenko@vnimi.org

In the modern world, the requirements for the operational properties of various materials and products obtained from them are constantly increasing, which can be ensured by the choice of raw materials and technological parameters of production. A significant change in the properties of the material and imparting new characteristics to it is possible due to the introduction of modifying fillers, which, along with the operational ones, change the technological properties, facilitating the processing of the material into a product while reducing the cost of production. In the long term, the developed materials should ensure the safety of products throughout their shelf life and operation, and after operation of the products, significantly reduce the load on the environment. The purpose of the work is to reveal the tendency to destruction of polymeric highly filled materials by determining the effect of ultraviolet radiation on the physical and mechanical characteristics of a polyethylene film filled with calcium carbonate. An experiment on irradiation of filled materials with ultraviolet radiation was carried out using an experimental model stand. Physical and mechanical tests of the films before and after irradiation were carried out in accordance with specification documents. Studies have shown the effect of ultraviolet radiation on the physical and mechanical characteristics of polymer films with a high content (at least 50%) of calcium carbonate, which can potentially provide good prerequisites for accelerated degradation and destruction of polymer materials and reduce the environmental load on the environment after the end of its life cycle.

**Keywords:** filled polyethylene films, calcium carbonate, ultraviolet radiation, destruction, physical and mechanical properties, strength of seams

## References

- Boboev, T. B., Gafurov, S. D., & Istamov, F. Kh. (2020a). Issledovanie vliyaniya uf-oblucheniya na skorost' razrusheniya polimerov [Investigation of the effect of UV irradiation on the rate of destruction of polymers]. *Prikladnaya fizika [Applied Physics]*, 5, 93–96. URL: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-20/20-5/PF-20-5-93.pdf> (accessed: 13.02.2021).
- Boboev, T. B., Gafurov, S. D., & Istamov, F. Kh. (2020b). Rol' rastyagivayushchei nagruzki v razvitii fotodestruktsii nekotorykh poliolefinov [Role of tensile load in the development of photodegradation of some polyolefins]. *Polimernye materialy i tekhnologii [Polymer materials and technologies]*, 6(1), 95–102. <http://doi.org/10.32864/polymmat-tech-2020-6-1-95-102>
- Boboev, T. B., Istamov, F. Kh., & Gafurov, S. D. (2020a). Otsenka effektivnosti fotodestruktsii polietilente-reftalata kvantov uf-izlucheniya raznoi dlinoi volny [Evaluation of the efficiency of photodegradation of polyethylene terephthalate quanta of UV radiation of different wavelengths]. *Prikladnaya fizika [Applied Physics]*, 1, 32–35. URL: <http://applphys.orion-ir.ru/appl-20/20-1/PF-20-1-32.pdf> (accessed: 13.02.2021).
- Boboev, T. B., Istamov, F. Kh., & Gafurov, S. D. (2020b). Zakony fotokhimii v polimerakh [The laws of photochemistry in polymers]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan]*, 63(1-2), 85–88.
- Bozhenkova, G. S., Tarakanovskaya, A. N., Tarnovskaya, O. D., Ashirov, R. V. (2017). Vliyanie faktorov

- sredy na fiziko-mekhanicheskie svoistva polidimetilovogo efira norbornen-2, 3-dikarbonovoi kisloty [Influence of environmental factors on the physical and mechanical properties of polydimethyl ester of norbornene-2, 3-dicarboxylic acid]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [University news. Chemistry and chemical technology], 60(5), 68–73. <https://doi.org/10.6060/tcct.2017605.5511>
- Fedotova, O. B. (2012). Upakovka i khranenie moloka i molochnoi produktsii [Packing and storage of milk and dairy products]. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 1, 10–11.
- Fedotova, O. B. (2017). O pokazatelyakh kachestva upakovochного materiala, upakovki i ikh kontrole [On the quality indicators of packaging material, packaging and their control]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 1, 33–36.
- Fedotova, O. B. (2019). O starenii i sroke godnosti upakovki [About aging and shelf life of packaging]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 6, 12–13.
- Fil'chakova, S. A. (2008). Mikrobiologicheskaya chistota upakovki dlya molochnykh produktov [Microbiological cleanliness of packaging for dairy products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 7, 44–46.
- Filipovich, T. A., & Zubets, I. V. (2011). Biorazлагаемые полимеры для упаковки материалов – альтернатива традиционным полимерам [Biodegradable polymer packaging materials – an alternative to traditional polymers]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda* [Health and the environment], 19, 156–162.
- Kestel'man, V. N. (1980). Fizicheskie metody modifikatsii polimernykh materialov [Physical methods for the modification of polymeric materials]. Moscow: Khimiya.
- Killeso, S. A. (2012). Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti upakovki» [Technical regulation of the Customs Union “On packaging safety”]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 6, 18–19.
- Kirsh, I. A., Frolova, Yu. V., & Myalenko, D. M. (2018). Upakovka moloka: segodnya i v perspektive [Milk packaging: today and in the future]. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 6, 36–38.
- Kondratova, T. A., Semenov, A. A., Kirsh, I. A., Bannikova, O. A., Ostrovskaya, V. D., & Myalenko, D. M. (2020). Bar'ernye upakovochnye materialy dlya myasnoi produktsii [Barrier packaging materials for meat products]. *Myasnye tekhnologii* [Meat technology], 1, 19–21. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2020-01-19-21>
- Kon'kov, V. S. (2005). Primenenie ul'trafiol'etovogo izlucheniya dlya obespecheniya sanitarno-gigienicheskikh norm na proizvodstve [The use of ultraviolet radiation to ensure sanitary standards in the workplace]. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 1, 6–7.
- Koretskaya, L. S., & Pleskachevskii, Yu. M. (2002). Fizicheskaya mezomekhanika razrusheniya polimerov pri uf-obluchении [Physical mesomechanics of polymer destruction under UV irradiation]. *Voprosy materialovedeniya* [Materials science issues], 1, 423–428.
- Korolev, D. (2005). Upakovka produktov pitaniya v modifitsirovannoi gazovoi srede [Modified gas packaging for food]. *Myasnye tekhnologii* [Meat technology], 5, 32–33.
- Koulz, R., MakDauell, D., & Kirvan, M. Dzh. (2008). *Upakovka pishchevykh produktov* [Food packaging]. S-Petersburg: Professiya.
- Kozlov, N. P., Fedotova, O. B., & Shashkovskii, S. G. (2003). Novaya impul'snaya tekhnologiya obezzarazhivaniya upakovochnykh materialov [New Pulse Technology for Disinfecting Packaging Materials]. In *Sbornik nauchnykh trudov 6-i Mezhdunarodnyi simpozium po radiatsionnoi plazmodinamike* [Collection of scientific papers 6th International Symposium on Radiation Plasma Dynamics] (pp. 206–207). Moscow: NITs «Inzhener».
- Kuksenko, E. S. (2005). *Povyshenie stoikosti polipropilena k termookislitel'noi destrukttsii* (Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata khimicheskikh nauk) [Improving the resistance of polypropylene to thermal oxidative degradation (Unpublished doctoral dissertation thesis)]. Moscow: Rossiiskii khimiko-tekhnologicheskii universitet im. D. I. Mendeleeva.
- Myalenko, D. M. (2009). *Sovershenstvovanie tekhnologii rasfasovki molochnoi produktsii putem obezrazhivaniya potrebitel'skoi tary impul'snym ul'trafiol'etovym izlucheniem* (Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk) [Improving the technology of packaging dairy products by disinfecting consumer packaging with pulsed ultraviolet radiation (Unpublished master's thesis)]. Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut myasnoi promyshlennosti im. V. M. Gorbatova.
- Tovstonog, V. A. (2007). Kompleksnoe modelirovanie kharakteristik stareniya polimernykh materialov [Comprehensive modeling of aging characteristics of polymer materials]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman. Mashinostroenie* [Bulletin of the Moscow State Technical University. N. E. Bauman. Mechanical engineering], 3, 3–22.
- Zaikov, G. E. (2000). Pochemu stareyut polimery [Why do polymers age]. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal* [Soros Educational Journal], 12, 48–55.