

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПОЛНЕННОЙ ПИЩЕВОЙ САЖЕЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ МОЛОЧНОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЕ ИМПУЛЬСНЫМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

O. B. Fedotova, D. M. Myalenko

THE RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS OF FILLED FOOD SOOT OF POLYETHYLENE FILM FOR DAIRY AND FOOD PRODUCTS AFTER EXPOSING TO ITS PULSE UV RADIATION

Федотова Ольга Борисовна – д-р техн. наук, ст. науч. сотр., ученый секретарь Всероссийского НИИ молочной промышленности, г. Москва.

E-mail: o_fedotova@vnimi.org

Мяленко Дмитрий Михайлович – канд. техн. наук, зав. сектором упаковки Всероссийского НИИ молочной промышленности, г. Москва.

E-mail: d.myalenko@vnimi.org

Fedotova Olga Borisovna – Dr. Techn. Sci., Senior Staff Scientist, Scientific Secretary, All-Russia Research Institute of Dairy Industry, Moscow.

E-mail: o_fedotova@vnimi.org

Myalenko Dmitry Mikhaylovich – Cand. Techn. Sci., Head, Sector of Packing, All-Russia Research Institute of Dairy Industry, Moscow.

E-mail: d.myalenko@vnimi.org

Цель исследования – получение новых экспериментальных данных о влиянии импульсного ультрафиолетового излучения на физико-механические показатели полиэтиленовой пленки, наполненной пищевой сажой, для молочной и пищевой продукции. Была разработана экспериментальная макетная установка с использованием импульсной ксеноновой лампы, которая работала в режимах, обеспечивающих диапазон поверхностных доз облучения от 18 до 64 мДж/см². В качестве объектов исследования были использованы полиэтиленовые пленки двух видов: однослойные ненаполненные, трехслойные соэкструзионные, наполненные пищевой сажой, с концентрацией 3,0 %масс, используемые для упаковывания молочных продуктов, в том числе молока, сметаны, творога, йогуртов и др. Физико-механические характеристики исследованных образцов анализировали в соответствии с ГОСТ 14236 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение». В качестве основной характеристики, влияющей на прочностные характеристики полимерных пленочных материалов, в данном исследовании была взята поверхностная доза облучения. Физико-механические испытания облученных поли-

мерных пленок класса полиолефинов с наполнителем и без наполнителя проводили в соответствии с действующей нормативной и технической документацией (ГОСТ 14236-81). Испытания проводили на образцах, вырезанных в продольном и поперечном направлениях на разрывной машине Shimadzu. Полученные результаты свидетельствуют об изменении физико-механических характеристик на 18,1–25,5 % в зависимости от условий воздействия на полимерные материалы. Проанализировав полученные результаты эксперимента, можно сделать однозначный вывод: импульсное УФ-излучение в диапазоне поверхностных доз излучения (18–64 мДж/см²) влияет на изменение разрушающего напряжения при разрыве на полиэтиленовые пленочные материалы с наполнителем пищевая сажа в концентрации 3,0 %масс.

Ключевые слова: полимерные пленки, импульсное ультрафиолетовое (УФ) излучение, спектр, структура, структурные изменения, физико-механические показатели.

The research objective was receiving new experimental data on the influence of pulse ultra-violet radiation on physical and mechanical indicators of

polyethylene film filled with food soot for dairy and food products. Experimental model installation with using a pulse xenon lamp which worked in the modes providing the range of superficial doses of radiation from 18 to 64 mdzh/cm² was developed. As the objects of the research polyethylene films of two types were used: single-layer unfilled, three-layer coextruded, filled with food soot, with concentration 3.0 % mass, used for packing dairy products, including milk, sour cream, cottage cheese, yogurts, etc. Physical and mechanical characteristics of the studied samples were analyzed according to the State Standard 14236 "Films polymeric. Test method on stretching". As the main feature influencing the strength characteristics of polymeric film materials in this research superficial dose of radiation was taken. Physical and mechanical tests of irradiated polymeric films of the class of polyolefins with the filler and without filler carried out according to the existing standard and technical documentation (State Standard 14236-81). The tests were carried out on the samples cut out in longitudinal and cross directions by explosive Shimadzu car. The received results testify to the change of physical and mechanical characteristics for 18.1–25.5 % depending on the conditions of the impact on polymeric materials. After analyzing the received results of the experiment, it is possible to draw an unambiguous conclusion: pulse UF-radiation in the range of superficial doses of radiation (18–64 mdzh/cm²) influences change of breaking point at the gap on polyethylene film materials with filler food soot in concentration 3.0 %mass.

Keywords: *polymer films pulsed ultraviolet (UV) radiation, spectrum, structure, structural changes, physical and mechanical properties.*

Введение. Обеспечение сохранности молочной и пищевой продукции на всем ее жизненном цикле является основным требованием для упаковки [1]. Однако вместе с этими требованиями необходимо также уделять особое внимание защите окружающей среды и экологии, рост использования синтетических полимерных материалов может привести к серьезным экологическим последствиям.

Ученые всего мира пытаются решить эту проблему различными способами: создание

полностью биоразлагаемых полимерных материалов, создание наполненных полимерных материалов, которые, с одной стороны, обладают комплексом свойств, необходимых для обеспечения сохранности молочной и пищевой продукции, а с другой стороны – свойствами, необходимыми для снижения экологической нагрузки и облегчения процесса переработки или утилизации на полигоне после окончания ее «жизненного» цикла [1, 2].

Большой интерес ученых направлен в сторону исследований воздействия внешних факторов, таких как ультрафиолетовое излучение, тепловое воздействие, ультразвук и другие, на различные полимерные материалы с целью их искусственного «состаривания» [3].

Под действием внешних факторов полимеры могут подвергаться деформациям или разрушению как в поверхностных слоях, так и во всем материале в зависимости от интенсивности воздействия.

Деструктивные процессы могут протекать и под влиянием окружающей среды и при их переработке, эксплуатации или хранении и приводить к необратимым или обратимым изменениям в структуре и свойствах полимерных материалов [3–5].

Одним из внешних факторов, оказывающим существенное влияние на прочностные показатели полимерных полиолефиновых пленок, может служить ультрафиолетовое (УФ) излучение [5–7].

В настоящее время УФ-излучение активно применяется как метод обеззараживания различных поверхностей, в том числе и упаковочных материалов, и является наиболее перспективной альтернативой существующим реагентным технологиям, в наиболее полной мере удовлетворяющим современным гигиеническим требованиям [8–9].

Ученые, активно изучающие спектр ближнего и дальнего ультрафиолетового излучения, разделяют его на следующие основные группы:

У-С (200–280 нм) – так называемый «жесткий» диапазон излучения, который оказывает максимальный обеззараживающий эффект и является губительным для многих живых организмов;

УФ-В (280–320 нм) – так называемый «средний» диапазон излучения. Ультрафиолет в данном диапазоне представляет большой интерес у исследователей из-за того, что оказывает очень сильное воздействие на растения. Однако следует отметить, что увеличение доли «среднего» ультрафиолетового излучения в полном спектре может оказывать негативное воздействие на организм животных и человека. Увеличение его доли в спектре может привести к губительным последствиям не только для растений и микроорганизмов, но и для животных и человека [7, 8, 10].

УФ-радиация во всем спектре разнообразно влияет на вещества органической природы, потому что обладает большой фотохимической активностью. Окисление органических соединений, их фотоокисление с образованием перекисей и перекисных соединений вызывается массивным действием УФ-излучения в зоне коротких волн 180–200 нм. Механизм окисления органических соединений и веществ под действием УФ-излучения заключается во взаимодействии свободных радикалов и кислорода [3, 4, 6].

УФ-излучение так же, как и химическое или термическое воздействие, при определенных условиях может оказывать влияние на прочностные показатели полимерных материалов класса полиолефинов.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте молочной промышленности в течение ряда лет проводятся исследования во воздействию импульсного ультрафиолетового излучения на наполненные полиэтиленовые пленочные материалы.

Цель исследования: получение новых экспериментальных данных о влиянии импульсного ультрафиолетового излучения на физико-механические показатели наполненной пищевой сажой полиэтиленовой пленки для молочной и пищевой продукции.

Задачи исследования. Для реализации поставленной цели по изучению физико-механических показателей были поставлены следующие задачи:

– разработать экспериментальную макетную установку с использованием импульсной ксеноновой лампы, которая работает в режимах, обеспечивающих диапазон поверхностных доз облучения от 18 до 64 мДж/см² (Схема установки представлена на рисунке 1);

– провести исследование по влиянию ультрафиолетового излучения во всем заявленном диапазоне поверхностных доз облучения на разрушающее напряжение при разрыве и относительное напряжение при разрыве полимерных пленок с наполнителем пищевая сажа. Проводимые исследования имеют существенную значимость, так как позволяют использовать полученные результаты для прогнозирования динамики изменения скорости деструкции, или «деградации», полимерных наполненных материалов.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были использованы полиэтиленовые пленки двух видов: однослойные ненаполненные; трехслойные соэкструзионные, наполненные пищевой сажой, с концентрацией 3,0 % масс. Исследуемые полимерные пленочные материалы используются для упаковывания молочных продуктов, в т. ч. молока, сметаны, творога, йогуртов и др. Пленка полиэтиленовая однослойная ненаполненная марки Н выпускается по ГОСТ 10354-82 из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 15803-020. В работе использовали пленку толщиной 100 мкм из полиэтилена высокого давления (ГОСТ 16337) марки 15803-020 с черного суперконцентрата фирмы «БАСКО» с итоговой концентрацией наполнителя в изделии 3,0 % масс.

Физико-механические характеристики исследованных образцов анализировали в соответствии с ГОСТ 14236 «Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение».

Эксперимент проводили в диапазоне излучения 180–5 000 нм. Это обусловлено верхними и нижними границами пропускания кварцевого стекла, из которого изготовлена импульсная ксеноновая лампа.

Схема исследования комбинированного воздействия излучения импульсного источника излучения

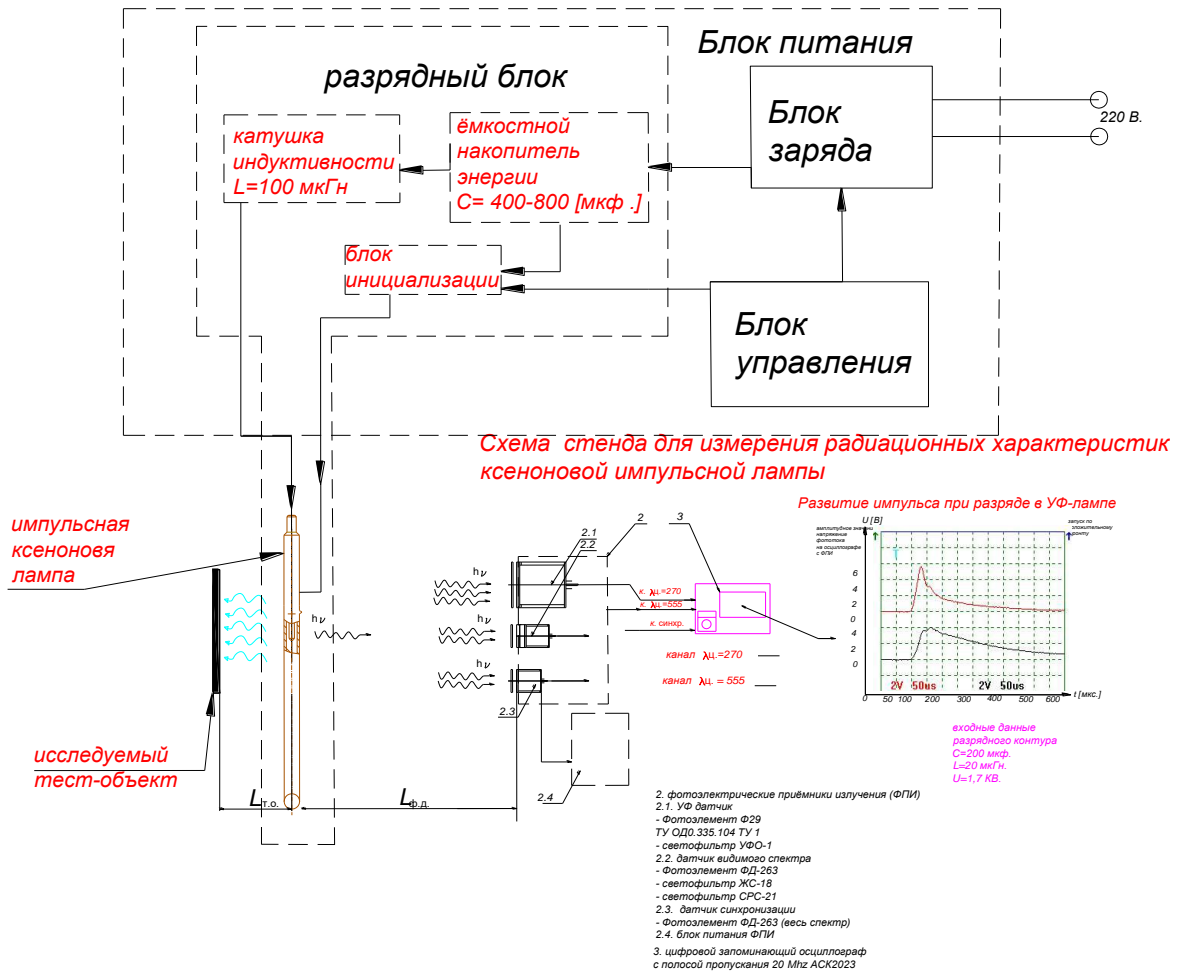


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

Генерируемые импульсной ксеноновой лампой длины волн полностью перекрывают весь спектр длин волн с высокой интенсивностью излучения. Этим и обусловлен выбор ксеноновых источников излучения, используемых в данном исследовании. Поглощение энергии идет в тонком приповерхностном слое облучаемой полимерной поверхности и приводит к его нагреву с образованием тепловой волны. Градиент проникновения тепловой волны вглубь облученного материала зависит от его физико-химических характеристик. Глубина проникновения тепловой волны определяется температуропроводностью вещества, $\text{см}^2/\text{с}$.

В качестве основной характеристики, влияющей на прочностные характеристики полимерных пленочных материалов, была взята поверхностная доза облучения.

Физико-механические испытания облученных полимерных пленок класса полиолефинов с наполнителем и без наполнителя проводили в соответствии с действующей нормативной и технической документацией (ГОСТ 14236-81). Испытания проводили на образцах, вырезанных в продольном и поперечном направлениях на разрывной машине Shimadzu. Полученные результаты представлены на рисунках 2, 3.

Как видно из полученных данных, у образцов полимерной пленки с наполнителем пищевая сажа 3,0 %масс. при поверхностной дозе облучения в $25 \text{ мДж}/\text{см}^2$ наблюдается наибольшее изменение разрушающего напряжения при разрыве по сравнению с необлученным материалом: в продольном направлении уменьшение показателя разрушающее напряжение при разрыве составляет 20,0 %, а в поперечном направлении – 18,1 %. Однако высоких поверхно-

стных дозах облучения (55–64 мДж/см²) таких изменений не происходит. Относительное удлинение при разрыве на всем диапазоне поверхностных доз облучения у образцов пленки полиэтиленовой без наполнителя изменяется на 10–20 %. У образцов пленки полиэтиленовой с наполнителем пищевая сажа 3,0 %масс. изменения относительного удлинения при разрыве при поверхностной дозе облучения 25 мДж/см² наблюдается максимальное уменьшение показателя на 24,5 % по сравнению с необлученным материалом в поперечном направлении. В продольном направлении изменения практически не наблюдаются.

Нами выдвинута рабочая гипотеза о том, что ультрафиолетовое излучение во всем диапазоне поверхностной дозы излучения оказывает различное воздействие на облученный полимерный материал. Так, при поверхностной дозе излучения 25 мДж/см² происходит воздействие на аморфную и кристаллическую структуру полимера, тем самым вызывая напряжение в связях макромолекул, что и приводит к ухудшению прочностных характеристик. При более высоких поверхностных дозах облучения (55–64 мДж/см²) происходит обратный процесс.

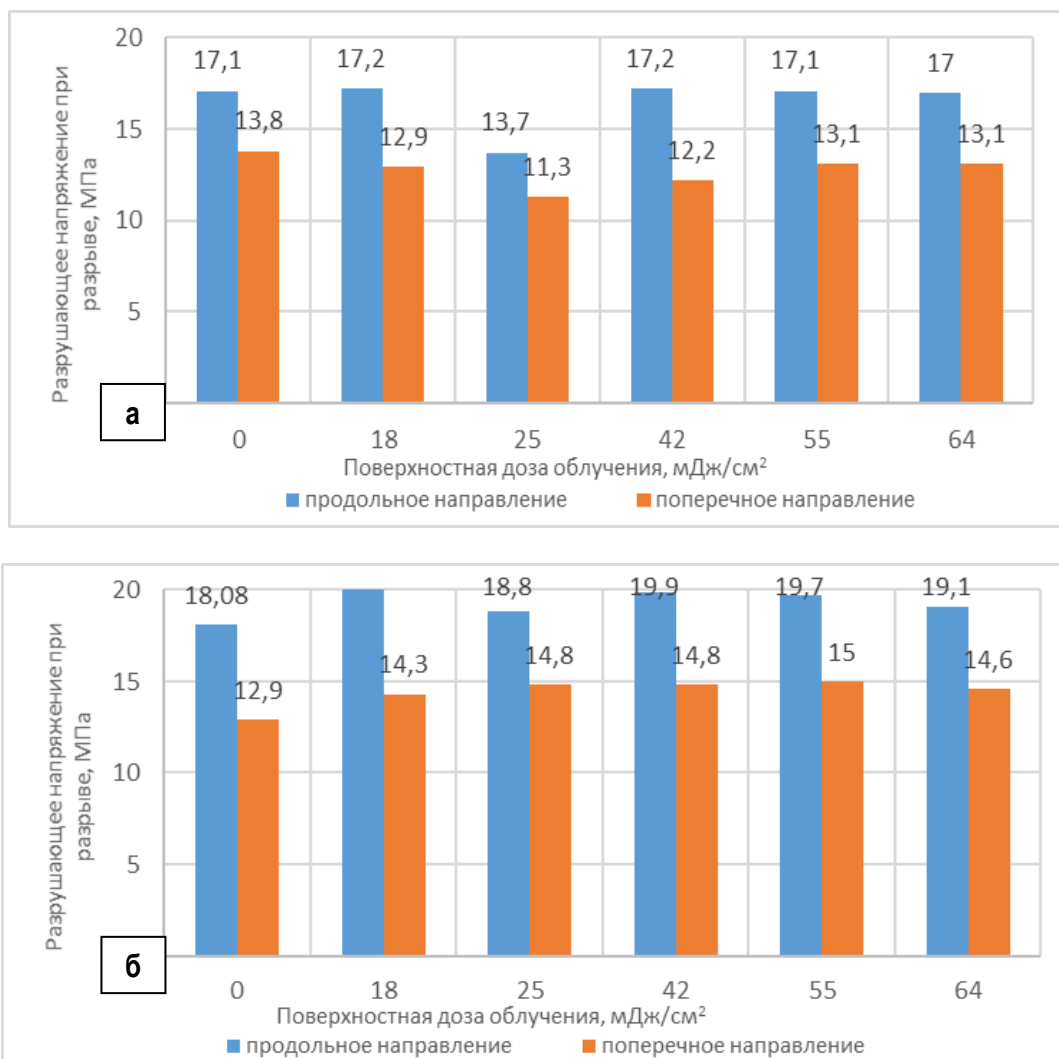


Рис. 2. Результаты изменения разрушающего напряжения при разрыве полимерной полиэтиленовой пленки с наполнителем пищевая сажа в концентрации 3,0 %масс (а) и пленки полиэтиленовой без наполнителя (б) в зависимости от поверхностной дозы облучения, Мпа

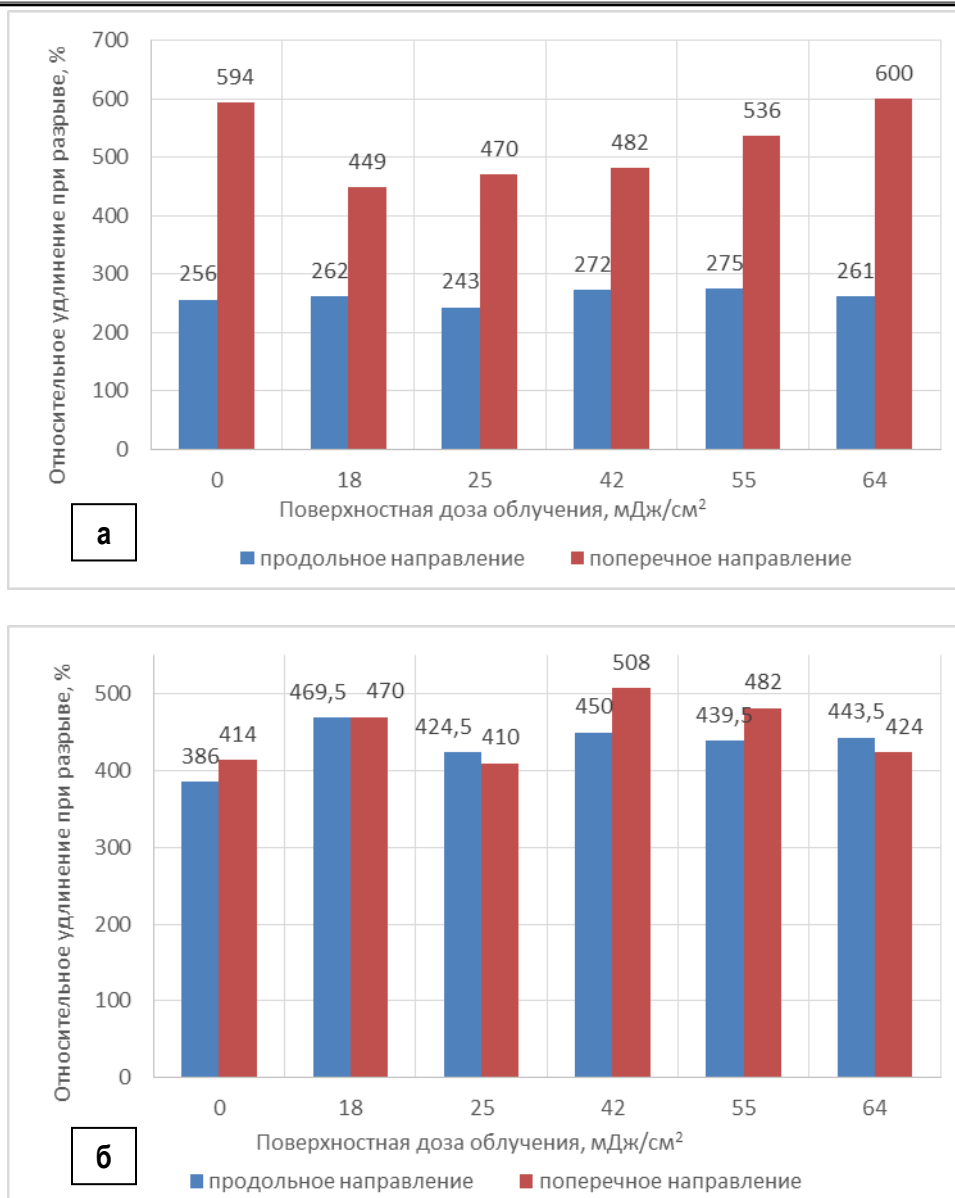


Рис. 3. Результаты изменения относительного удлинения при разрыве полимерной полиэтиленовой пленки с наполнителем пищевая сажа в концентрации 3,0 %масс (а) и пленки полиэтиленовой без наполнителя (б) в зависимости от поверхностной дозы облучения, %

Выводы. Проанализировав полученные результаты эксперимента, можно сделать однозначный вывод: импульсное УФ-излучение в диапазоне поверхностных доз (18–64 мДж/см²) влияет на изменение разрушающего напряжения при разрыве полиэтиленовых пленочных материалов с наполнителем пищевая сажа в концентрации 3,0 %масс.

Импульсное УФ-излучение в определенных режимах может оказывать влияние на прочностные характеристики полимерных пленочных материалов класса полиолефинов с целью их искусственного «состаривания».

Литература

1. Федотова О.Б., Богатырев А.Н. Безопасность упаковки: новое и хорошо забытое старое // Пищевая промышленность. 2014. № 1. С. 12–14.
2. Мяленко Д.М. Совершенствование технологии расфасовки молочной продукции путем обеззараживания потребительской тары импульсным ультрафиолетовым излучением: дис. ... канд. техн. наук / Всерос. НИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова. М., 2009. С. 177.

3. Заиков Г.Е. Деструкция и стабилизация полимеров: учеб. пособие. М., 1990. 151 с.
4. Заиков Г.Е. Почему стареют полимеры // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 12. С. 48–55.
5. Фильчакова С.А. Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов // Молочная промышленность. 2008. № 7. С. 44–46.
6. Лазарев Д.Н. Ультрафиолетовая радиация и ее применение. Л.; М., 1950.
7. Мурзаканова М.М., Бокураев Т.А., Микитаева А.К. Повышение устойчивости ПЭВП к действию УФ // Пластические массы. 2012. № 5. С. 13–16.
8. Харитонов В.Д., Юрова Е.А. Влияние ультрафиолета на состав и свойства молока // Молочная промышленность. 2006. № 7. С. 32–33.
9. Романовская В.А., Рокитко П.В., Михеев А.Н. и др. Влияние γ -излучения и дегидратации на выживаемость бактерий, изолированных из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Микробиология. 2002. Т. 71, № 5. С. 705–712.
10. Бутко М.П., Тиганов В.С. Обеззараживание поверхностей ультрафиолетовым излучением // Проблемы ветеринарной санитарии и экологии. Ч. 1. М., 1993. С. 105–114.
3. Zaikov G.E. Destrukcijska i stabilizacija polimerov: ucheb. posobie. M., 1990. 151 s.
4. Zaikov G.E. Pochemu starejut polimery // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. 2000. № 12. S. 48–55.
5. Fil'chakova S.A. Mikrobiologičeskaja čistota upakovki dlja molochnyh produktov // Molochnaja promyšlennost'. 2008. № 7. S. 44–46.
6. Lazarev D.N. Ul'trafioljetovaja radiacija i ee primenenie. L.; M., 1950.
7. Murzakanova M.M., Bokuraev T.A., Mikitaeva A.K. Povyšenie ustojčivosti PJeVP k dejstviju UF // Plasticheskie massy. 2012. № 5. S. 13–16.
8. Haritonov V.D., Jurova E.A. Vlijanie ul'trafioljeta na sostav i svojstva moloka // Molochnaja promyšlennost'. 2006. № 7. S. 32–33.
9. Romanovskaja V.A., Rokitko P.V., Miheev A.N. i dr. Vlijanie γ izlučenija i degidratacii na vyzhivaemost' bakterij, izolirovannyh iz zony otchuzhdenija Chernobyl'skoj AJeS // Mikrobiologija. 2002. T. 71, № 5. – S. 705–712.
10. Butko M.P., Tiganov V.S. Obezrazhivanie poverhnostej ul'trafioljetovym izlučeniem // Problemy veterinarnoj sanitarii i jekologii. Ch. 1. M., 1993. S. 105–114.

Literatura

1. Fedotova O.B., Bogatyrev A.N. Bezopasnost' upakovki: novoe i horosho zabytoe staroe // Pishhevaja promyšlennost'. 2014. № 1. S. 12–14.
2. Mjalenko D.M. Sovershenstvovanie tehnologij rasfasovki molochnoj produkcii putem

