

Модернизация упаковки для молока в результате замены алюминиевой фольги на металлизированный полиэтилен

Ананьев Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
Адрес: 107023, город Москва, ул. Большая Семеновская, дом 38
E-mail: vovan261147@yandex.ru

Банникова Ольга Анатольевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: bannikova2106@rambler.ru

Альхаир Али

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
Адрес: 107023, город Москва, ул. Большая Семеновская, дом 38
E-mail: alkheerali@gmail.com

В статье рассматривается возможность модернизации технологии производства комбинированных упаковочных полимерных материалов, используемых для упаковки молока и молочной продукции. Многослойные и комбинированные пленочные материалы состоят из слоев полиэтилена низкой плотности и бумаги, иногда в сочетании со слоями алюминиевой фольги или металлизированной алюминием бумаги. Перспективным направлением исследований следует считать эксперименты по возможности замены фольги или металлизированной бумаги металлизированным полиэтиленом. Металлизированные пленки дешевле алюминиевой фольги, а также имеют целый ряд технологических и эксплуатационных преимуществ: меньшую массу, уменьшают или даже исключают повреждение слоев при сгибаниях материала, или деформациях упаковки. Кроме того, замена фольги на металлизированный полиэтилен повышает уровень адгезионного взаимодействия между слоями комбинированного материала. При этом затраты на изготовление такого материала не только не повышаются, но их можно даже заметно снизить. В результате проведенных экспериментальных исследований, и испытаний полученных образцов установлено: комбинированные материалы на основе металлизированных пленок имеют меньшую дефектность по сравнению с фольгированными материалами. Это обеспечивает улучшение ряда свойств пленок - уменьшает их проницаемость по отношению к газам (для большинства пищевых продуктов важен этот показатель по кислороду) и парам воды, уменьшается число сквозных отверстий, при этом растут показатели прочности, а также снижается расход материалов для изготовления упаковки.

Ключевые слова: комбинированные упаковочные материалы, адгезионная прочность, металлизированный полиэтилен, экструзионное ламинирование, фольга

Введение

В последние годы прослеживается устойчивая тенденция в упаковочной отрасли к замене пленочных материалов со слоем алюминиевой фольги металлизированными пленками (Зелке, 2011).

Напыление металлического покрытия (чаще всего алюминия) на полимерные пленочные материалы

позволяет экономить до 99 % металла по сравнению с использованием фольги, а также и применять более безопасные в экологическом отношении технологии.

В обширном сегменте рынка асептической упаковки сейчас нет недорогого упаковочного многослойного или комбинированного пленочного материала на основе бумаги или картона, обеспе-

чивающего долговременное хранение пищевых продуктов. Такие материалы должны быть сравнимы с комбинированными пленками на основе алюминиевой фольги, которые имеют высокий уровень барьерных свойств, и обеспечивают сохранение характеристик консервированных пищевых продуктов в течение более 3 месяцев.

В настоящее время используют пленочные материалы, которые обеспечивают хорошие барьерные характеристики, но либо имеют недостаточно высокие механические свойства в многослойном материале (например, адгезионную прочность), либо возникают сложности при создании в многослойных материалах достаточно тонких слоев (Банникова, 2012; Ананьев, 2019). При достижимой толщине пленки имеют большую удельную массу, оказываются значительно более дорогостоящими, и поэтому не являются экономически целесообразными для упаковки, например, молока и молочных продуктов (Coles, 2009).

Литературный обзор

Из анализа современного состояния и перспектив развития технологии изготовления многослойных и комбинированных пленочных материалов следует, что первоочередной задачей, стоящей перед упаковочной отраслью, является разработка новых технологий. Они должны обеспечивать достижение необходимого комплекса характеристик пленок: высоких барьерных свойств, небольшой удельной массы (масса одного квадратного метра пленки), способность к термической сварке при формировании тары, а также экономическую и экологическую целесообразность ее использования (Bayus, 2016). Кроме того, растет интерес к разработке новых стратегий в области упаковки пищевых продуктов (Alvarez, 2011; Madhusudan, 2018).

Повышение требований потребителей к качеству безопасности продуктов питания привело к применению новых технологий консервирования пищевых продуктов. Упаковка, содержащая натуральные антимикробные агенты, является хорошим примером увеличения срока годности пищевых продуктов (Кириш, 2017; Безнаева, 2014; Manfredi, 2015).

Комбинированные материалы находят широкое применение в качестве упаковки. Это объясняется широкими возможностями варьирования их свойств за счет: альтернативности состава полимерного композиционного материала, установления порядка чередования слоев, гарантию необ-

ходимого уровня адгезионного взаимодействия между слоями, возможностью выбора оптимальной технологии и оборудования для получения конкретного материала (Robertson, 2016; Локшин, 2002; Аксенова, 2009; Ананьев, 2011; Sidwell, 2007).

Многие годы нишу упаковки молока занимал комбинированный многослойный материал на основе картона, алюминиевой фольги и полиэтилена низкой плотности (Kerry, 2012). Использование фольги в качестве компонента в многослойных материалах обеспечивает длительные сроки хранения продуктов питания без добавления в них специальных химических соединений - стабилизаторов и консервантов, традиционно применяемых для обеспечения сохранности продуктов при длительном хранении (Бляйш, 2010; Bishop, 2016).

В последнее время при изготовлении комбинированных упаковочных материалов применяют металлизированные полимерные пленки. Металлизация - процесс нанесения сверхтонких слоев металла (до 3×10^{-7} м) на поверхность пленочного материала. Процесс происходит в высоком вакууме. При металлизации значительно снижается газопроницаемость пленочных материалов, при небольшом расходе металла достигается непрозрачность упаковки, в том числе и для УФ-части спектра. Использование металлизированных пленочных материалов оказалось экономичнее использования алюминиевой фольги и имеет ряд технологических преимуществ: обеспечивает уменьшение массы пленочного материала, исключает повреждение металлического слоя при изгибах материала. Чаще всего при создании металлизированных упаковочных материалов применяют пленки на основе сополимера этилена с винилацетатом (типа ЭВА), сополимер ПВХ, полипропилен, полиэтилентерефталат, реже полиэтилен (Haidara, 1990; Gupta, 2009; Goydan, 2009; Bayus, 2016).

При производстве комбинированных пленочных материалов используют экструзионное ламинирование. Этот способ заключается в нанесении расплава полимера через плоскощелевую головку на другие полимерные пленки, бумагу, фольгу или ткань. Расплав, обычно имеющий температуру выше 300 °C прикатывается к основе под давлением валами, что должно обеспечивать высокую адгезионную прочность между слоями. В следующих узлах технологической установки такое ламинирование может повторяться (Klaiman, 2016).

Несмотря на бурное развитие упаковочных технологий и производства пленок, комбинированный материал на основе полиэтилена, фольги и карто-

на остается на сегодняшний день самым востребованным материалом для упаковки молока и молочных напитков. (Pinto, 2014)

Производство многослойной упаковки – это важный сектор экономики, который занят в основном зарубежными компаниями. Потребителями являются практически все предприятия, производящие продукты питания, промышленную и сельскохозяйственную продукцию (Alvarez, 2011).

Цель настоящей работы заключается в исследовании свойств комбинированного материала для упаковки молока и молочных напитков с металлизированным слоем полиэтилена, и возможность замены им алюминиевой фольги.

Замена фольги на металлизированный слой приведет к значительному экономическому эффекту, а также обеспечит повышенное качество и безопасность упакованных продуктов.

Выбор упаковочного материала определяется биохимическим составом упаковываемого продукта, его свойствами, условиями и сроками хранения, что требует квалифицированного подхода к технологиям создания такой упаковки (ФЗ, 2008; ТР, 2008; ТР, 2013; ГОСТ 33118-2014).

Так, например, в молоко входит более 100 различных компонентов: вода, белки (главным образом казеин, лактальбумин, глобулины), углеводы (в основном лактоза), жиры, минеральные вещества (в том числе микроэлементы в виде солей органических и неорганических кислот – преимущественно кальция и фосфор), витамины (А, D, С и другие), свыше 60 ферментов, гормонов и иммунных тел (Федотова, 2007; Федотова, 2019; Шалыгина, 2007).

Методика исследования

Исследования проводились в лаборатории композитных материалов ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» совместно с сотрудниками ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет».

Основным объектом исследования была металлизированная алюминием пленка из полиэтилена низкой плотности производства «Галилео Нанотех» толщиной 36 мкм. Для сравнения с ней были выбраны следующие материалы: металлизированная алюминием бумага, используемая для изготовления пакетов для молока и молочных продуктов, производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»

и комбинированный многослойный материал на основе алюминиевой фольги производства компании «Tetra Pak». Из данных материалов производят широкий ассортимент упаковки для молока и молочных напитков. Исследуемые материалы выбраны с учетом требований к упаковочному материалу, используемому в молочной промышленности, изложенных в ГОСТ Р 52145-2003 «Материалы комбинированные на основе алюминиевой фольги».

Исследование дефектности пленочных материалов проводили методом оптической микроскопии с помощью цифрового оптического микроскопа «Эксперт», с регистрацией информации на компьютере, и обеспечивающем возможность оперативного наблюдения на дисплее компьютера прозрачных и непрозрачных малоразмерных объектов с помощью программного обеспечения «μSOFT View™». Микроскоп обеспечивает изучение объектов как в проходящем, так и в отраженном свете с плавным изменением увеличения от $\times 10$ до $\times 100$, подсветка светодиодная (верхняя и нижняя) с 11 градациями яркости, разрешение микроскопа 8 мкм.

Исследуемые материалы помещаются на предметное стекло, прикрепленное к штативу микроскопа, и фиксируются. Изображение объекта с микроскопа передается на дисплей компьютера. Для каждого исследуемого материала исследовали не менее 10 образцов.

Для количественной оценки прочности сварного соединения, получаемого методом термомонтажной тепловой сварки, использовали разрывную машину РМ-50, которая также оснащена программным обеспечением с компьютерным интерфейсом «Stretch Test». Сущность применяемого метода оценки заключается в разделении слоев, образующих сварное соединение, и определении нагрузки, необходимой для разделения испытуемого образца.

Исследуемый комбинированный материал нарезали на полоски шириной $(15,0 \pm 0,2)$ мм и длиной не менее 30 мм в поперечном и продольном направлениях. Вырезанные образцы совмещали термосвариваемыми слоями и сваривали с помощью термосварочного аппарата.

Для измерения сопротивления расслаиванию свободные концы сваренных образцов закрепляли в зажимах разрывной машины, при этом сварной шов находился посередине между зажимами и под углом 90° к плоскости расположения зажимов.

Определяли среднее значение усилия расслаивания как среднее арифметическое пяти измерений.

Метод определения массы 1 кв. м материала проводили в соответствии с ТУ 5456-198-00419785-99 «Материал комбинированный на основе бумаги и алюминиевой фольги». Сущность метода заключается в определении массы образца материала известной площади, и в расчете массы 1 кв. м.

Исходя из полученных данных, определяли массу алюминия, необходимого для металлизации 1 кв. м полиэтилена, и массу 1 кв. м. алюминиевой фольги, которая используется при производстве комбинированных материалов. Для проведения испытания использовали аналитические весы с точностью взвешивания 0,002 г (ГОСТ Р 53228-2008).

Для измерения толщины использовали механический толщиномер с точностью измерения 1 мкм. Для проведения этих исследований из листов материалов вырезали по 5 образцов размером 100 x 100 мм. Образцы должны быть без складок, вмятин, морщин и других повреждений. За окончательный результат испытаний принимали среднее арифметическое всех проведенных измерений.

Результаты исследований

Дефектность пленочных материалов отчетливо видно на полученных микрофотографиях



(а)

исследуемых материалов (рисунок 1):

На основании изучения полученных микрофотографий на рисунке 1, можно сделать вывод, что металлизированная алюминием пленка из полиэтилена низкой плотности производства «Галилео Нанотех» имеет меньшее количество дефектов (сквозных отверстий в металлическом слое), по сравнению с металлизированной бумагой производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК», используемой для изготовления пакетов для молока и молочных продуктов.

Характеристика расходов материалов и результаты взвешивания их образцов приведены в таблице 1.

Расход материала на изготовление 1 кв. м. комбинированной пленки, рассчитаем их исходя из полученных данных:

Для производства кв. м. упаковочного материала расход металлизированной бумаги производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» составит:

$$0,0071 \times 10000 = 71 \text{ г};$$

Для металлизированной полиэтиленовой пленки производства «Галилео Нанотех»:

$$0,00364 \times 10000 = 36,4 \text{ г.}$$

Измерение толщины каждого материала с помощью микрометра (ГОСТ 11358-89). Средние результаты представлены в таблице 2.



(б)

Рисунок 1. Фотографии материалов при оптическом увеличении $\times 100$: **а.** металлизированная алюминием пленка из полиэтилена низкой плотности производства «Галилео Нанотех», **б.** металлизированная бумага производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК», используемая для изготовления пакетов для молока и молочных продуктов

Измерение толщины металлизированного показало, что толщина слоя находится в пределах от 0,2 до 0,3 мкм. Толщина алюминиевой фольги - в пределах от 7 до 12 мкм.

Далее рассчитываем среднее количество алюминия, необходимое для покрытия 1 кв. м. полиэтилена и массу алюминиевой фольги, затраченную на изготовление 1 кв. м комбинированной пленки:

Учитывая, что плотность алюминия равна 2,7 г/куб. см. его средний расход (исходя из средней толщины покрытия 0,3 мкм) для металлизированной полиэтиленовой пленки производства «Галилео Нанотех» и для металлизированной бумаги производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» составит:

$$0,3 \times 2,7 = 0,81 \text{ г/кв. м.}$$

Для комбинированного многослойного материала на основе алюминиевой фольги производства «Tetra Pak». В настоящее время для изготовления комбинированных материалов используют фольгу толщиной от 7 до 15 мкм.

Тогда расход алюминия для изготовления 1 кв. м. составит:

$$(7 \div 15) \times 2,7 = 19 \div 40,5 \text{ г/кв. м.}$$

Для сохранения целостности упаковки и качества упакованной продукции, обеспечения выполнения требований санитарных норм большое значение имеют параметры формирования тер-

мосвариваемого слоя (СанПиН 2.3.4.551-96). При производстве обычная температура экструзии полиэтилена в процессе изготовления комбинированного материала экструзионно-ламинаторным методом (более 300 °С). При таких температурах степень окисления поверхности полимера высока и это неминуемо сказывается как на гигиенических свойствах упаковочного материала, так и на прочности сварного соединения. Для обеспечения санитарной безопасности термосвариваемый слой полиэтилена, экструдированной при высокой температуре, в экструзионно-ламинаторном процессе приходится дополнительно покрывать еще одним слоем полиэтилена, но экструдированном при более низкой (около 270 °С) температуре. Таким образом, вынужденной мерой является повышенный расход полиэтилена на дополнительный слой, а, кроме того, требуется и установка еще одного экструдера для его нанесения.

При использовании металлизированного полиэтилена таких проблем не возникает, т.к. в этом случае используют полиэтиленовую пленку, изготовленную рукавным способом при температурах расплава, не превышающих 190 °С. Такая пленка имеет хорошие санитарно-гигиенические показатели.

На основании проведенного анализа предъявляемых требований к упаковочным материалам, требовалось оценить, как эти технологические факторы влияют на прочность сварного соединения в исследуемых материалах.

Результаты испытания прочности сварного соединения приведены в таблице 3.

Таблица 1

Масса исследуемых образцов площадью 1 кв. см. в граммах

	Металлизированная ПЭ пленка производства «Галилео Нанотех»	Металлизированная бумага, используемая для изготовления пакетов для молока и молочных продуктов, производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»
1	0,0037	0,0069
2	0,0034	0,0067
3	0,0039	0,0068
4	0,0036	0,0076
5	0,0036	0,0076
Средняя масса	0,00364	0,0071

Таблица 2

Толщина материалов в мкм

	Металлизированная ПЭ пленка производства «Галилео Нанотех»	Металлизированная бумага, используемая для изготовления пакетов для молока и молочных продуктов, производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»
	36	60

Из данных, приведенных в таблице 3, следует, что характеристики всех испытанных вариантов комбинированных материалов обеспечивают прочность сварного шва выше показателей значений, приведенных в технической документации на материалы для упаковки молока и молочных продуктов.

Обсуждение

К настоящему времени оптические свойства полимерных упаковочных пленок описаны в работах (Зуев, 2012; Серова, 2014; Серова, 2015; Серова, 2016;) Однако в литературе отсутствуют данные по оптической микроскопии металлизированной пленки из полиэтилена низкой плотности. Известно, что проницаемость газов в виде потока через отверстия даже малых размеров в сотни, или даже в тысячи раз превышает их проницаемость через объем материалов за счет диффузии (Chalykh, 1988). Исследования показали, что замена алюминиевой фольги на менее дефектный металлизированный полиэтилен приведет к снижению газопроницаемости упаковки, а также лучше защитит упакованный продукт от света.

Расчёт среднего количества алюминия, необходимого для покрытия 1 кв. м. полиэтилена и массы алюминиевой фольги, затраченную на изготовление 1 кв. м комбинированной пленки показал, что при использовании металлизированного полиэтилена расход алюминия на единицу площади комбинированного материала уменьшается в $(19/0,81 \div 40,5/0,81)$, то есть от 23 до 50 раз.

Изучение влияния сварных соединений на барьерные свойства является особенно важным при разработке новых материалов. Исследования позволяют на основании полученных данных получать материалы с требуемым комплексом эксплуатационных характеристик, что способствует продлению срока годности упакованного пищевого продукта. (Загидуллин, 2015; Jang, 2008).

Исследования показали, что прочность сварного шва у комбинированного многослойного материала на основе металлизированного полиэтиленовой пленки производства «Галилео Нанотех» в 1,5 раза превышает прочность комбинированного материала на основе фольги производства «Tetra Pak».

Металлизированная полиэтиленовая пленка производства «Галилео Нанотех» обеспечивает характеристики качества комбинированных многослойных материалов, не уступающие материалам, которые уже используют на рынке упаковки молока.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что металлизированные полиэтиленовые пленки имеют меньшее количество дефектов по сравнению с фольгированным материалом, что обеспечивает улучшенные качества комбинированного многослойного материала на ее основе: снижение проницаемости по отношению к газам и воде, увеличение прочности сварного шва, а также уменьшение расхода материала на единицу упаковки.

Использование пленки с напыленным алюминием позволит производителям упаковки молока и молочных напитков получить значительный экономический эффект.

Литература

- Ананьев, В. В., Банникова, О. А., Безнаева, О. В., Чалых, А. Е., Степаненко, В. Ю., Петрова, Т. Ф. (2019). Повышение качества комбинированных упаковочных материалов ультразвуковой обработкой. *Клеи. Герметики. Технологии*, 9, 21-26.
- Аксенова, Т. И., Ананьева, В. В., Дворецкая, Н. М., Иванова, Т. В., Любешкина, Е.Г., & Розанцев, Э. Г. (2009). *Тара и упаковка*. Колос.
- Банникова, О. А. (2012). *Влияние технологических параметров процесса экструзионного ламинирования на свойства комбинированного материала «полиэтилен-бумага»* [Кандидатская

Таблица 3

Прочность сварного шва, Н/м (г/см)

Наименование материала	Прочность сварного шва, Н/м (г/см)
Комбинированный многослойный материал на основе металлизированной бумаги производства АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»	231
Комбинированный многослойный материал на основе алюминиевой фольги производства «Tetra Pak»	256
Комбинированный многослойный материал на основе металлизированной полиэтиленовой пленки производства «Галилео Нанотех»	473

- диссертация]. Москва, Россия.
- Безнаева О.В. (2014). *Антимикробная упаковка на основе физически модифицированных пленочных материалов* [Кандидатская диссертация] Москва.
- Бляйш, Г. (2010). Качественная упаковка и производственный процесс. *Молочная промышленность*, 6, 18-19.
- Загидуллин, А. И., Гарипов, Р. М., Хасанов, А. И., Григорьев, А. Ю., & Козлов, А. А. (2015). Влияние параметров сварки на барьерные свойства сварного шва термоусадочных многослойных пленок. *Вестник Технологического университета*, 18(7) 111-114.
- Зелке, С., Кутлер, Д., & Хернандес Р. (2011). *Пластиковая упаковка. Профессия*.
- Зуев, Б. М., Зуев, М. Б., Улитин, Н. В., Дебердеев, Р. Я., & Дебердеев, Т. Р. (2012). Определение оптических и механических свойств полимеров. *Пластические массы*, 7, 7-9.
- Кирш, И. А., Фролова, Ю. В., Безнаева, О. В., Помохова, Д. А., & Тихомиров, А. А. (2017). Создание упаковочных полимерных материалов с антимикробными свойствами. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 7, 3(22), 145-152.
- Локшин, М. З., Макаров, Г. С., & Сиротинский, М. С. (2002). Актуальные вопросы производства и применения алюминия для упаковки. *Цветные металлы*, 12, 47-55.
- Серова, В. Н. (2014). Влияние металлизации и праймирования полиэтилентерефталатной упаковочной пленки на качество красочных слоев, нанесенных на нее способом флексографской печати. *Вестник технологического университета*, 17(12) 65-68.
- Серова, В. Н. (2015). Влияние нанопокрывтия из оксида алюминия на свойства полиэтилентерефталатной упаковочной пленки и нанесенной на нее печатной краски. *Клеи. Герметики. Технологии*, 8, 36-41.
- Серова, В. Н., & Носкова, Э.Н. (2016). Оптические характеристики и светостойкость полимерных упаковочных пленок и нанесенных на них красочных слоев. *Вестник Технологического университета*, 19(15), 61-63.
- Федотова, О. Б. (2007). Роль упаковки в молочной промышленности. *Молочная промышленность*, 5, 4-6.
- Федотова, О. Б., Макаркин, Д. В., Соколова, О. В., & Дунченко, Н. И. (2019). Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен. *Вопросы питания*, 88(2), 101-110.
- Шалыгина, А. М., & Калинина, Л. В. (2007). *Общая технология молока и молочных продуктов*. КолосС.
- Anan'ev, V. V., Bannikova, O. A., & Chalykh, A. E. (2011). Adhesion properties of a paper (cardboard)-polyethylene combined material obtained by the extrusion laminator method. part 2. *International Polymer Science and Technology*, 38(9), 9-10. doi: 10.1177/0307174X1103800903
- Alvarez, V. B., & Pascall, M. A. (2011). Packaging. In *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)* (pp.16-23). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00387-3>
- Bayus, J., Ge, Ch., & Thorn, B. (2016). A preliminary environmental assessment of foil and metallized film centered laminates. *Resources, Conservation and Recycling*, 115, 31-41 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.024>
- Bishop, Ch. A., & Mount, E. M. (2016). Vacuum metallizing for flexible packaging. In John R. Wagner, Jr. (Ed.), *Multilayer Flexible Packaging* (Second Edition), 15, 235-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37100-1.00015-6>
- Chalykh, A. E., & Zlobin, V. B. (1988). Modern Ideas About Diffusion in Polymer Systems, *Russian Chemical Reviews*, 57(6), 504-519. <https://doi.org/10.1070/RC1988v057n06ABEH003367>
- Coles, R., McDowell, D., & Kirwan., M. J. (2009). *Food Packaging Technology. Packaging technology series*. Wiley.
- Goydan, R., Carroll, T. R., Schwoppe, A. D., & Gruenfeld, M. (1990). Evaluation of Polyester and Metallized-Polyethylene Films for Chemical Protective Clothing Applications. *Plastic Film and Sheeting*, 6(2), 106-116. <https://doi.org/10.1177/875608799000600204>
- Gupta, S., Dixit, M., Sharma, K., & Saxena, N. S. (2009). Mechanical study of metallized polyethylene terephthalate (PET) films. *Surface and Coatings Technology*, 204(5), 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.08.051>
- Haidara H., Vallat M. F., Schultz J., & Lutgen P. (1990). Films polymeres metallises: Mesure de l'adhesion polymere-metal [Metallized polymer films: Measurement of polymer-metal adhesion]. *European Polymer Journal*, 26(8), 907-910. [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(90\)90166-2](https://doi.org/10.1016/0014-3057(90)90166-2)
- Jang W., Rawson I., & Grunlan J. C. (2008). Layer-by-layer assembly of thin film oxygen barrier. *Thin Solid Films*, 516(16), 4819-4825.
- Klaiman, K., Ortega, D. L., & Garnache, C. (2016). Consumer preferences and demand for packaging material and recyclability. *Resources, Conservation and Recycling*, 115, 1-8.
- Kerry, J. (2012). 9: *Aluminium foil packaging. Packaging Technology*. Woodhead Publishing Limited.

- <https://doi.org/10.1533/9780857095701.2.163>
- Manfredi, M., Fantin, V., Vignali, G., & Gavara, R. (2015). Environmental assessment of antimicrobial coatings for packaged fresh milk. *Journal of Cleaner Production*, 9515, 291-300. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.048
- Michele S. Pinto, M. S., Pires, A. S. P., Sant'Ana, H. M. P., Soares, N. F. F., & Carvalho, A. F. (2014). Influence of multilayer packaging and microfiltration process on milk shelf life. *Food Packaging and Shelf Life*, 1, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.01.006>
- Madhusudan, P., Chellukuri, N., & Shivakumar, N. (2018). Smart packaging of food for the 21st century – A review with futuristic trends, their feasibility and economics. *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 1, 21018-21022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.494>
- Robertson, G. L. (2016). *Food Packaging: Principles and Practice*. Third Edition. CRC Press.
- Sidwell, J. (2007) Chemical migration from multi-layer packaging into food. In book: *Chemical Migration and Food Contact Materials* (pp.346-370). Rapra Technology. <https://doi.org/10.1533/9781845692094.3.346>

Modernization of Milk Packaging as a Result of Replacing Aluminum Foil with Metallized Polyethylene

Vladimir V. Ananyev

Moscow Polytechnic University

38 Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation

E-mail: vovan261147@yandex.ru

Olga A. Bannikova

Moscow State University of Food Production

11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation

E-mail: bannikova2106@rambler.ru

Ali Alkheer

Moscow Polytechnic University

38 Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation

E-mail: alkheerali@gmail.com

This paper discusses the possibility of modernizing the production technology of combined packaging polymer materials used for packaging milk and dairy products. Multilayered and combined film materials consist of layers of low-density polyethylene and paper, sometimes combined with layers of aluminum foil or aluminum-metallized paper. Experiments on the possibility of replacing foil or metallized paper with metallized polyethylene should be considered as a promising research trend. Metallized films are cheaper than aluminum foil, and have a number of technological and operational advantages such as less weight, reduce or even eliminate damage to the layers when the material bends or deformations of the package. In addition, replacing the foil with metallized polyethylene increases the level of adhesive interaction between the layers of the combined material. At the same time, the costs of manufacturing this kind of material not only do not increase, but also can even be significantly reduced. Experimental studies and tests of the obtained samples had shown that combined materials based on metallized films have a lower defect rate compared to foiled materials. Experimental studies and tests of the obtained samples had shown that combined materials based on metallized films have a lower defect rate compared to foiled materials. This improves a number of films' properties -reduces their permeability to gases (for most food products, this indicator is important for oxygen) and water vapor, reduces the number of through holes, while increasing the strength indicators, and reduces the consumption of materials for packaging.

Keywords: combined packaging materials, adhesive strength, metallized polyethylene, extrusion lamination, foil

References

- Ananyev V. V., Bannikova, O. A., Beznaeva, O. V., Chalykh, A. E., Stepanenko, V. Yu., Petrova, T. F. (2019). Improving the quality of combined packaging materials by ultrasonic processing. *Klei. Germetiki. Tekhnologii [Glues. Sealants. Technologies]*, 9, 21-26.
- Aksenova, T. I., Ananyeva, V. V., Dvoretzskaya, N. M., Ivanova, T. V., Lyubeshkina, E. G., & Rozantsev, E. G. (2009). *Tara i upakovka [Containers and packaging]*. Kolos.
- Bannikova, O. A. (2012). *Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov processa ekstruzionnogo laminirovaniya na svoystva kombinirovannogo materiala «polyeten-bumaga» [Influence of technological parameters of the extrusion lamination process on the properties of the combined material "polyethylene-paper"] [Candidate dissertation]*. Moscow.
- Beznaeva, O. V. (2014). *Antimikrobnaya upakovka na osnove fizicheskii modifitsirovannykh plenochnykh materialov [Antimicrobial packaging based on physically modified film materials] [Candidate dissertation]*. Moscow.
- Bleisch, G. (2010). High-quality packaging and production process. *Molochnaya promyshlennost [The dairy industry]*, 6, 18-19.
- Zagidullin, A. I., Garipov, R. M., Khasanov, A. I., Grigoriev, A. Yu., & Kozlov, A. A. (2015). Influence of welding parameters on the barrier properties of the weld of heat-shrink multilayer films. *Vestnik Teh-*

- nologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 18(7), 111-114.
- Zelke, S., Kutler, D., & Hernandez, R. (2011). *Plastikova upakovka* [Plastic packaging]. *Professiya*.
- Zuev, B. M., Zuev, M. B., Ulitin, N. V., Deberdeev, R. Ya., & Deberdeev, T. R. (2012). Determination of optical and mechanical properties of polymers. *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 7, 7-9.
- Kirsh, I. A., Frolova, Yu. V., Beznaeva, O. V., Pomogova, D. A., & Tikhomirov, A. A. (2017). Creation of packaging polymer materials with antimicrobial properties. University news. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya* [Applied chemistry and biotechnology], 7, 3(22), 145-152.
- Lokshin, M. Z., Makarov, G. S., & Sirotinsky, M. S. (2002). Current issues of production and application of aluminum for packaging. *Tsvetnyie metally* [Non-ferrous metals], 12, 47-55.
- Serova, V. N. (2014). Influence of metallization and priming of polyethylene terephthalate packaging film on the quality of the colorful layers applied to it by flexographic printing. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the technological University], 17(12), 65-68.
- Serova, V. N. (2015). Influence of aluminum oxide nanocoating on the properties of polyethylene terephthalate packaging film and printing ink applied to it. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technologies], 8, 36-41.
- Serova V. N. (2016). Noskova E. N. Optical characteristics and light resistance of polymer packaging films and applied colorful layers. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the technological University], 19(15), 61-63.
- Fedotova, O. B. (2007). The role of packaging in the dairy industry. *Molochnaya promyshlennost* [The dairy industry], 5, 4-6.
- Fedotova, O. B., Makarkin, D. V., Sokolova, O. V., & Dunchenko, N. I. (2019). Development and research of the nutritional and biological value and consumer properties of a gluten-free fermented milk product with flour. *Voprosy pitaniya* [Questions of nutrition], 88(2), 101-110.
- Shalygina, A. M., & Kalinina, L. V. (2007). *Obshchaya tekhnologiya moloka i molochnykh produktov* [General technology of milk and dairy products]. Kolos.
- Anan'ev, V. V., Bannikova, O. A., & Chalykh, A. E. (2011). Adhesion properties of a paper (cardboard)-polyethylene combined material obtained by the extrusion laminator method. part 2. *International Polymer Science and Technology*, 38(9), 9-10. doi: 10.1177/0307174X1103800903
- Alvarez, V. B., & Pascall, M. A. (2011). Packaging. In *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)* (pp.16-23). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00387-3>
- Bayus, J., Ge, Ch., & Thorn, B. (2016). A preliminary environmental assessment of foil and metallized film centered laminates. *Resources, Conservation and Recycling*, 115, 31-41 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.024>
- Bishop, Ch. A., & Mount, E. M. (2016). Vacuum metallizing for flexible packaging. In John R. Wagner, Jr. (Ed.), *Multilayer Flexible Packaging* (Second Edition), 15, 235-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37100-1.00015-6>
- Chalykh, A. E., & Zlobin, V. B. (1988). Modern Ideas About Diffusion in Polymer Systems, *Russian Chemical Reviews*, 57(6), 504-519. <https://doi.org/10.1070/RC1988v057n06ABEH003367>
- Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (2009). *Food Packaging Technology. Packaging technology series*. Wiley.
- Goydan, R., Carroll, T. R., Schwoppe, A. D., & Gruenfeld, M. (1990). Evaluation of Polyester and Metallized-Polyethylene Films for Chemical Protective Clothing Applications. *Plastic Film and Sheeting*, 6(2), 106-116. <https://doi.org/10.1177/875608799000600204>
- Gupta, S., Dixit, M., Sharma, K., & Saxena, N. S. (2009). Mechanical study of metallized polyethylene terephthalate (PET) films. *Surface and Coatings Technology*, 204(5), 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.08.051>
- Haidara H., Vallat M. F., Schultz J., & Lutgen P. (1990). Films polymeres metallises: Mesure de l'adhesion polymere-metal [Metallized polymer films: Measurement of polymer-metal adhesion]. *European Polymer Journal*, 26(8), 907-910. [https://doi.org/10.1016/0014-3057\(90\)90166-2](https://doi.org/10.1016/0014-3057(90)90166-2)
- Jang W., Rawson I., & Grunlan J. C. (2008). Layer-by-layer assembly of thin film oxygen barrier. *Thin Solid Films*, 516(16), 4819-4825.
- Klaiman, K., Ortega, D. L., & Garnache, C. (2016). Consumer preferences and demand for packaging material and recyclability. *Resources, Conservation and Recycling*, 115, 1-8.
- Kerry, J. (2012). *9: Aluminium foil packaging. Packaging Technology*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095701.2.163>
- Manfredi, M., Fantin, V., Vignali, G., & Gavara, R. (2015). Environmental assessment of antimicrobial coatings for packaged fresh milk. *Journal of Cleaner Production*, 9515, 291-300. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.048
- Michele S. Pinto, M. S., Pires, A. S. P., Sant'Ana, H. M. P., Soares, N. F. F., & Carvalho, A. F. (2014). Influence of multilayer packaging and microfiltration process on milk shelf life. *Food Packaging and Shelf Life*, 1, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.01.006>
- Madhusudan, P., Chellukuri, N., & Shivakumar, N.

- (2018). Smart packaging of food for the 21st century – A review with futuristic trends, their feasibility and economics. *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 1, 21018-21022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.494>
- Robertson, G. L. (2016). *Food Packaging: Principles and Practice*. Third Edition. CRC Press.
- Sidwell, J. (2007) Chemical migration from multi-layer packaging into food. *In book: Chemical Migration and Food Contact Materials* (pp.346-370). Rapra Technology. <https://doi.org/10.1533/9781845692094.3.346>