

Введение Постоянно возрастающие требования к безопасности и качеству продуктов питания в соответствии с мировыми стандартами привели к динамическому росту производства гибкой упаковки в мире. Согласно данным, которые ежемесячно публикуют исследовательские компании, оборот гибкой полимерной упаковки на мировом рынке к 2015-2016 годам составит около 70 млрд. долларов. Данная упаковка медленно, но уверенно вытесняет и замещает традиционные виды тары: пластиковые и стеклянные бутылки, картонную тару для напитков, металлические банки для консервов и другую продукцию [1]. Для продления сроков хранения пищевых продуктов все чаще выбираются специальные многослойные термоусадочные барьерные пленки [2-5]. В зависимости от основного полимера в составе материала, количества слоев и типа добавок, физические свойства пленки могут отличаться. Однако эксплуатационные свойства при этом разнятся незначительно [2, 3]: - термоусадочные барьерные пленки, имеют низкую паро- и газонепроницаемость, что способствует продлению срока сохранности продукта; - термоусадочные барьерные пленки легко поддаются спайке, даже при наличии кислотных и жирных загрязнений; - данные пленки достаточно прочны, они не боятся деформации, устойчивы к разрыву; - термоусадочные барьерные пленки могут использоваться как при низких, так и при высоких температурах, что позволяет применять этот материал для заморозки продуктов и стерилизовать некоторые из них. Однако наиболее существенным преимуществом для термоусадочных барьерных пленок является возможность снижения толщины упаковочного материала до 28 микрон с сохранением высоких защитных свойств. Данное улучшение барьерных свойств на фоне снижения толщины материала обусловлено высокой двуслойной ориентацией плёнки. Технология производства термоусадочных барьерных пленок позволяет уменьшить количество барьерного материала в функциональном слое со значительной экономией средств на стоимости сырья, уменьшить вес упаковки и количество отходов по сравнению с традиционными барьерными плёнками [6]. При этом материалы в данной технологии используются те же, что и для производства обычных барьерных пленок. Однако нарушение сплошности барьерного слоя или резкое уменьшение его толщины в процессе производства пленки может негативно сказаться на барьерных свойствах материала и, соответственно, на сохранности пищевой продукции, упакованной в такой материал. В связи с чем, встает вопрос о создании методики постоянного контроля толщины отдельных слоев многослойных полимерных пленочных материалов в процессе их производства. Основная часть На 9-ислойной экструзионной установке модели 650/9 фирмы «GAP S.r.l» были произведены 2 пленки двух разных типов: с высокобарьерными свойствами и с среднебарьерными свойствами. В качестве материалов, отвечающих за барьерные свойства, использовались полиамид (PA) и сополимер этилена и винилового спирта (EVOH). В качестве сварного слоя был

использован полиолефиновый пластомер (POP). Соединение отдельных слоев осуществлялось адгезивами (Tie). Структура пленок имела следующий вид: PA/Tie/Tie/PA/EVON/PA/Tie/Tie/POP - высокобарьерная; POP/POP/Tie/PA/Tie/PA/Tie/POP/POP - среднебарьерная. Толщину слоев производимой пленки контролировали измерением с помощью цифрового оптического микроскопа «Keyence VH-Z500R» в поляризованном проходящем свете при отборе срезов пленки в процессе их производства. На рисунке 1 приведены фотографии поперечного среза пленок, полученные на цифровом микроскопе при 1000-кратном увеличении. На фотографиях можно увидеть, что обе пленки имеют всего по семь слоев. Однако если сравнивать толщины данных слоев (табл. 1), то видно, что толщины крайних слоев среднебарьерной пленки соответствуют соответственно сумме толщин A+B и H+I слоев рецептуры. А для высокобарьерной пленки толщина второго слоя соответствуют сумме B+C слоев рецептуры, толщина шестого слоя - G+H соответственно. а б а - среднебарьерная пленка; б - высокобарьерная пленка

Рис. 1 - Фотографии поперечного среза пленок при 1000-кратном увеличении в проходящем свете

Таблица 1 - Толщина слоев термоусадочных пленок

Слой	Материал	Толщина слоя по рецептуре, мкм	Толщина слоя произведенной пленки, мкм
A	POP	5	15,2
B	POP	5,5	5,5
C	Tie	5	4,87
D	PA	7	7,5
E	Tie	5	5,27
F	PA	7	6,69
G	Tie	5	5,88
H	POP	5	12,57
I	POP	5,5	5,5
Итого:		50	57,98

Высокобарьерная пленка

Слой	Материал	Толщина слоя по рецептуре, мкм	Толщина слоя произведенной пленки, мкм
A	PA	14,3	14,39
B	Tie	9,35	18,85
C	Tie	8,8	8,8
D	Pa	8,25	7,91
E	EVON	4,4	3,85
F	PA	8,25	7,5
G	Tie	7,15	18,45
H	Tie	7,7	7,7
I	POP	41,8	49,26
Итого:		110	120,21

Данный эффект может быть объяснен тем, что данные слои производятся из одних и тех же материалов, обладающих одним и тем же коэффициентом преломления, поэтому оптический микроскоп не может разделить данные слои на отдельные составляющие. На промежуточном этапе можно сделать предварительный вывод, что при помощи цифрового оптического микроскопа можно вести периодический контроль толщины отдельных слоев многослойных полимерных пленочных материалов в процессе их производства. Однако данный метод контроля подразумевает наличие дорогостоящего оборудования. Поэтому было предложено оценить точность воспроизведения толщины барьерных слоев в произведенном полимерном пленочном материале косвенным методом - по величинам паро-, газопроницаемости и физико-механическим показателям. Для этого из произведенных партий пленок была произведена выборка материалов, для контроля их эксплуатационных показателей. Отбор рулонов для выборки производили методом случайного отбора, т.е. таким образом, чтобы каждый рулон в партии имел одинаковую вероятность быть отобранным. Отбор рулонов для выборки производили в зависимости от объема партии (табл. 2).

Таблица 2 - Объем выборки образцов

Количество рулонов в партии, шт.	Объем выборки (количество рулонов в выборке), шт.
от 1 до 5	5
от 6 до 99	20
от 100 и более	Все

Для произведенных пленок определяли следующие показатели: - общую

толщину пленки на электронном толщиномере марки PARAM CHY-C2 [7]; - коэффициент термической усадки с помощью термосушильного шкафа UT 4610 [8]; - проницаемость по водяному пару на приборе для определения паропроницаемости TSY-W3 [9]; - проницаемость по кислороду на приборе для определения кислородопроницаемости UL1- C2 [10]; - проницаемость по углекислому газу на приборе для определения газопроницаемости PERME VAC-V1 [11]; - прочность при растяжении на разрывной машине PARAM XLW [12]; - относительное удлинение при разрыве на разрывной машине PARAM XLW [12]; - прочность сварного шва на разрывной машине PARAM XLW [12, 13]; - мутность пленки на шаровом спектрофотометре ЛОМО СФ-46 [14]; - блеск пленки на блескомере БФ 5-20/20 [15]. Результаты испытаний полученных пленок приведены в таблице 3. Из таблицы видно, что произведенные пленки обладают высокими коэффициентами термической усадки как в продольном, так и поперечном направлениях. Пленки прозрачные, обладают высокими прочностными характеристиками. Что касается барьерных свойств, то полученные величины паро- и газопроницаемости соответствуют классу произведенных пленок. И на основании этого можно с уверенностью утверждать о соответствии толщины барьерных слоев произведенных пленок требованиям рецептуры.

Таблица 3 - Свойства термоусадочных барьерных пленок

Наименование параметра	Единица измерения	Измеренное значение
Среднебарьерная пленка		
Высокобарьерная пленка		
Толщина	мкм	51,6 115,4
Коэффициент термической усадки в продольном направлении	%	34,4
Коэффициент термической усадки в поперечном направлении	%	34,8
Проницаемость по водяному пару	г/(м ² ×24 часа)	34
Проницаемость по кислороду	см ³ /(м ² ×24 часа)	9,581
Проницаемость по углекислому газу	см ³ /(м ² ×24 часа)	5,0
Прочность при растяжении, не менее в продольном направлении	МПа	191,1
Прочность при растяжении, не менее в поперечном направлении	МПа	14,0
Относительное удлинение при разрыве, не более в продольном направлении	%	509,5
Относительное удлинение при разрыве, не более в поперечном направлении	%	19,8
Прочность сварного шва, не менее Н/15 мм	Н/15 мм	63,64
Мутность, не более %	%	49,62
Блеск, не менее ед. блеска	ед. блеска	50,0

Таким образом, контроль толщины барьерных слоев при производстве многослойных пленок можно осуществлять при помощи прямого измерения с использованием цифровых оптических микроскопов или косвенным способом - по изменению барьерных характеристик производимых материалов. А наиболее точные результаты контроля, как видится нам, возможны при совместном использовании обоих методов.