

Методы контроля свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов (обзор)

Methods of control of properties of polymer packaging materials for foodstuffs

И.Ю. УХАРЦЕВА¹, Е.А. ЦВЕТКОВА², В.А. ГОЛЬДАДЕ^{2,3}

I.YU. UKHARTSEVA¹, E.A. TSVETKOVA², V.A. GOLDADE^{2,3}

¹УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»

²УО «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины»

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Республика Беларусь

¹Belarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives,

²F. Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

³V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NAS of Belarus, Gomel, Belarus

ukhartseva@yandex.ru

Представлен краткий обзор по современным методам контроля функциональных и эксплуатационных свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов и охарактеризованы их особенности. Показано, что контроль качества полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов является ключевым при определении возможности их использования по назначению. Результаты испытаний позволяют оценить возможности и ограничения, провести оптимизацию технологического процесса и получить упаковку высокого качества.

Ключевые слова: пищевые продукты, полимерные упаковочные материалы, свойства, контроль

Modern methods of control of functional and operational properties of packaging materials for foodstuffs are presented and their features are characterized. It is shown that quality control of polymer packaging materials for food products is key in determining the possibility of their intended use. The testing results enable assessing the possibilities, limitations and optimizing the process and get high-quality packaging.

Keywords: foodstuffs, polymer packaging materials, properties, control

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-48-56

В настоящее время потребность в полимерных упаковочных материалах растет быстрыми темпами. Успешное развитие упаковочных полимерных материалов для длительного хранения продуктов питания обусловлено эффективностью полимеров, а их производство является сравнительно недорогим и практичным. Полимерные упаковочные материалы сохраняют высокое качество пищевых продуктов в течение длительного времени хранения, эффективно представляют товар при продаже, удобны при распаковке продукта, имеют минимальный вес и стоимость, а также могут гибко реагировать на различные внешние воздействия, которые приводят к изменениям в составе и свойствах пищи.

Полимерные упаковочные материалы позволяют защищать продукцию от внешних воздействий благодаря ряду их ценных потребительских свойств – высокой прочности, эластичности, химической стойкости, возможности сварки и склеивания, низкой влаго- и газопроницаемости [1, 2]. К таким материалам предъявляются самые различные требования. Соответственно этим требованиям устанавливаются критерии оценки качества и методы испытаний свойств материалов. Все методы испытания можно условно разделить на три группы:

- методы, с помощью которых получают характеристики упаковочных материалов и тары;
- методы определения качества упаковки как конечного изделия (оценка надежности конструкции, формы, оформления и т.д.);
- методы оценки свойств промежуточных продуктов и изделий в процессе их изготовления (приемно-сдаточные испытания, технический контроль).

Первую группу методов чаще всего применяют с целью выбора материалов, наиболее пригодных для изготовления конкретных видов упаковки, с учетом их назначения и особенностей конструкции. Оценка свойств, проведенная по этим методам, позволяет

предсказать с известным приближением поведение материала в различных условиях эксплуатации. Эти методы являются общими, в большинстве своем стандартизованы и широко распространены.

Вторая группа методов, несмотря на широкие исследования в области качественной оценки упаковки, недостаточно разработана и стандартизована. Отдельные производители разрабатывают свои критерии оценки качества и методы испытаний. В этой группе методов отсутствуют единые показатели, характеризующие различные свойства однотипной упаковки.

Третья группа методов оценки свойства упаковки в процессе их изготовления (полуфабрикатов, исходного сырья) выбирается обычно в зависимости от условий производства, наличия оборудования и приборов, технологических факторов и других специфических условий каждого отдельного предприятия [3].

В работе [4] предложена следующая классификация методов испытаний упаковочных материалов (рис. 1):



Рис. 1. Классификация методов испытаний упаковочных материалов [4].

Каждая из этих групп методов включает множество подгрупп, поэтому применение какого-либо метода зависит от конкретных условий и определения того или иного свойства.

Немаловажными для упаковочных материалов на основе высокомолекулярных соединений, как и для материалов иного состава, являются показатели прочности.

К методам определения прочностных свойств относят:

- определение формоустойчивости;
- определение виброустойчивости;
- определение сопротивления удару;
- оценку прочности сварных швов.

Формоустойчивость характеризует способность упаковки противостоять значительной деформации в течение гарантийного срока хранения упакованного продукта. Проверку проводят без нагрузки и под нагрузкой. В первом случае испытания осуществляют на цилиндрических флаконах емкостью около 0,5 л при отношении диаметра к высоте 1:3 (цилиндрическая форма легче деформируется) или на образцах проверяемой упаковки. При заполнении их продуктом и выдержке без нагрузки при комнатных условиях испытание на формоустойчивость может проводиться в течение гарантийного срока хранения товара.

При испытании под действием статической нагрузки образцы упаковки заполняют продуктом, герметично укупоривают, устанавливают в транспортную тару (ящики из гофрированного картона, бумажные пакеты, пакеты из термоусадочной пленки) и сверху помещают плиту с грузом, масса которого выбирается эквивалентной массе штабеля при складировании ящиков друг на друга. Упаковка считается выдержавшей испытания, если не наблюдается необратимой деформации образцов, растрескивания, образования микротрещин, изломов, смятия горловины или углов и других дефектов. Определение формоустойчивости под нагрузкой может быть проведено также по методике, разработанной на основе рекомендаций международного стандарта ISO.

Определение *виброустойчивости* основано на воспроизведении в лабораторных условиях вибрационных нагрузок, испытываемых упаковкой при транспортировании. Частота, амплитуда колебаний и нагрузка выбираются в зависимости от вида транспорта, используемого при перевозке грузов. При испытаниях мелкую потребительскую упаковку также укладывают в транспортную тару, которую затем помещают на рабочую площадку стола. Упаковка считается выдержавшей испытания, если испытываемые образцы не имеют нарушений герметичности, видимых необратимых деформаций или других дефектов. Общие условия проведения испытаний регламентируются государственными и международными стандартами.

Сопротивление удару – важная характеристика упаковки при транспортировке продуктов. Наиболее чувствительна к ударным нагрузкам упаковка из полистирола, жесткого поливинилхлорида, полиакрилонитрила. Поэтому особое значение приобретают методы испытания на удар упаковки из этих материалов. Например, для определения сопротивления удару при падении наибольшее распространение получили следующие три метода [3]:

- кумулятивный метод, при котором каждый образец испытывают до повреждения при падении с постоянно возрастающей высоты. При этом интервал между высотами падения должен сохраняться постоянным. Высоту, при падении с которой сохраняется 50% не разрушенной упаковки, принимают в качестве нормы сопротивления удару;
- метод выборочного испытания (ступенчатый), при котором образец сбрасывают однократно с различной высоты, начиная от оптимальной (например, 1,2 м). При этом каждый следующий образец сбрасывают с высоты, которая на определенную величину (например, на 0,2 м) меньше или больше – в зависимости от того, поврежден или не поврежден предыдущий. Затем рассчитывают среднюю норму сопротивления удару;
- метод раздельного падения, при котором разное число образцов однократно сбрасывают с различной высоты. За норму принимают высоту, при падении с которой разрушилось меньше 50% образцов.

На сопротивление полимерной упаковки удару в основном влияют: ударная вязкость исходного полимерного материала, толщина стенки и вместимость упаковки, ее форма и конструкция.

Прочность сварных швов материала характеризует надежность готовой упаковки из того или иного материала. Этот показатель можно определить на разрывной машине любого типа путем оценки прочности при расслаивании сварного шва. Прочность сварных швов выражают также в процентах от прочности основного полимерного термопластичного материала, подвергнутого термической

сварке. Прочность сварных швов можно оценить и путем измерения максимального избыточного давления воздуха, нагнетаемого внутрь пакета из полимерного или комбинированного материала со сварными швами, не вызывающего нарушения герметичности пакета.

Испытание на сжатие заключается в приложении сжимающей нагрузки к упаковке, помещенной между двумя плитами пресса. Таким образом определяют нагрузку, при которой упаковка разрушается, теряет свою устойчивость, или ее деформация превышает предельное значение. Метод испытания определяется требованиями стандартов на конкретные виды упаковки.

Если упаковка в процессе эксплуатации испытывает вибрацию, то необходимо определить ее *виброзащитные свойства*. Сущность метода состоит в воздействии на упаковку с изделиями гармонической или случайной вибрации с заданными параметрами. Испытания проводят на вибростенде (вибростоле) в соответствии с требованиями действующих стандартов [3, 5].

Важным свойством упаковки является *герметичность*, которая проверяется путем создания в ней избыточного давления при погружении в воду. Появление пузырьков воздуха свидетельствует о ее негерметичности. За рубежом разработан специальный автомат для проверки герметичности упаковки без погружения её в воду. В этом случае нарушение герметичности определяют по резкому падению давления. Также разработан метод испытания упаковки на герметичность под вакуумом.

Существуют стандартные методики определения *стойкости упаковочного материала к растрескиванию*. Однако такие методики не дают окончательного ответа о поведении материала при воздействии агрессивных сред. На величину этого показателя существенное влияние оказывают форма и объем упаковочного средства, укупорки, некоторые технологические факторы. Поэтому этот показатель может быть количественно оценен только при проведении испытаний непосредственно на реальных образцах. Практический опыт применения, например, упаковки из полиэтилена для жидких и пастообразных продуктов показывает, что растрескивается, прежде всего, упаковка для продуктов, содержащих поверхностно-активные вещества.

Определение *стойкости к воздействию жидких сред* основано на наблюдении за проникновением подкрашенной жидкости в материал. Способ позволяет просто и быстро получить данные о стойкости, водостойкости, спиртостойкости и т.д. полимерных пленок. По этому способу на поверхность материала наносят жидкость, подкрашенную красителем, хорошо в ней растворимым, контрастирующим с цветом поверхности материала. Отсутствие на поверхности материала окрашенного пятна свидетельствует об устойчивости его к действию данной жидкости за испытываемый отрезок времени. Это время может меняться (например, при определении стойкости к некоторым жидкостям) от 5–10 минут (для полиэтилена низкой плотности) до многих тысяч часов (для целлофана и полиамида). Принято считать материалы полностью устойчивыми к действию данной жидкой среды, если окрашенное пятно не появляется на поверхности материала в течение 24 часов. Указанный способ может быть использован для определения сплошности полимерных покровных слоев многослойных и комбинированных упаковочных материалов [3, 6].

Испытание на *устойчивость к воздействию дождя* (в водяных брызгах) позволяет оценить влагозащитные свойства упаковки. Его проводят в камере, в которой упаковку подвергают воздействию водяных брызг в течение определенного периода времени. При этом упаковка содержит именно ту продукцию, для которой она предназначена. Упаковка считается выдержавшей испытания, если после воздействия дождя она соответствует требованиям, указанным в стандартах.

При испытании на *пыленепроницаемость* на упаковку воздействуют циркулирующей пылеобразной смесью в течение заданного времени, затем определяют проникновение пыли из внешней среды в упаковку. В качестве основы пыли используют измельченные диатомит, кварцевый песок и люминесцентный порошок, который после облучения ультрафиолетовыми лучами меняет окраску. Время проведения испытаний регламентируется стандартами на конкретный вид упаковки. Упаковку принято считать

пыленепроницаемой, если ни в одном из образцов не обнаружено проникновения пылеобразной смеси.

Наряду с анализом возможности проникновения пыли из внешней среды в упаковку проводят определение *проницаемости продукта из упаковки во внешнюю среду*. В этом случае образцы упаковки, заполненной продуктом, испытывают на вибропрочность или удар при свободном падении. Для определения прочности упаковки при свободном падении на пол вокруг испытательной аппаратуры или на плиту вибрационного стола кладут бумагу, отличающуюся по цвету от упаковки продукта. Проникновение упакованного продукта через упаковку определяют визуально – по наличию этого продукта на бумаге. Упаковку считают выдержавшей испытание, если продукт ни из одного образца упаковки не проник во внешнюю среду. В противном случае упаковка считается пылепроницаемой [3].

В техническую документацию часто вносят показатели, характеризующие *состояние поверхности упаковки*. При гладкой наружной поверхности полимерная упаковка приобретает повышенный блеск и более эстетичный вид. Кроме того, состояние поверхности упаковки является важным фактором при решении некоторых технических вопросов, в том числе выбора способа ее полиграфического оформления, способа «активирования» поверхности, типа фасовочно-упаковочных автоматов, способа сварки, долговечности печатных форм. В связи с этим возникает необходимость определения таких показателей, как шероховатость поверхности, степени активации поверхности, адгезии печатных красок.

Определение *шероховатости поверхности* предусматривает замер неровностей на некоторых ее участках. Испытания проводят на профилографе-профилометре в соответствии с действующим стандартом и определяют класс шероховатости. Шероховатость поверхности можно также определять с помощью двойного микроскопа Линника МИС-П. На контролируемую поверхность направляют узкую полосу света и фиксируют отклонение линии пересечения световой плоскости с поверхностью тары. Однако этот метод применяется нечасто из-за большой погрешности прибора.

Степень «активности» поверхности характеризует *качество обработки поверхности* пластмасс перед полиграфическим оформлением. Качество обработки может быть проверено путем приложения гуммированного ярлыка к испытываемой поверхности. Если поверхность не обработана, то ярлык легко удаляется, если же поверхность обработана, то при отделении от нее ярлык рвется или отслаивается. По другому методу измеряют силу, которую нужно приложить для отслаивания липкой ленты от поверхности полимера: большая сила отслаивания соответствует более высокому качеству обработки поверхности. Также используются способы испытания с применением растворов красителей. При наличии сплошной равномерной окраски после высушивания образца в вертикальном положении, поверхность считается достаточно хорошо обработанной [3, 6].

Одной из основных характеристик поверхности, определяющих адгезию к печатным краскам, является *смачиваемость*. Величина смачиваемости поверхности определяется по краевому углу, образованному каплей жидкости с поверхностью, на которую она нанесена, или по углу скатывания капли дистиллированной воды или другого растворителя с поверхности образца исследуемого материала.

Применяют два основных способа измерения краевого угла (угла смачивания): проектирование контура капли и измерение с помощью горизонтального оптического микроскопа. По первому способу на экран проецируется увеличенное изображение капли воды, помещенной на испытываемую поверхность и освещаемой дуговой лампой. Для измерения угла скатывания на небольшой испытуемый образец материала, вырезанный из стенки упаковки, наносят каплю дистиллированной воды и измеряют угол, при котором начинается скатывание капли. Установлено, что максимальная адгезия печатных красок к полимерной упаковке достигается при угле скатывания, равном 55–70°.

При качественном контроле обработки поверхности смачивающими агентами служат различные смеси формамида с этиленгликолем, характеризующиеся различным поверхностным натяжением. По этой методике пленку жидкости наносят кистью на

вертикальную поверхность испытываемого изделия и измеряют время удерживания этой пленки на поверхности. Считается, что поверхностное натяжение пленки соответствует натяжению смачивания исследуемой поверхности, если пленка удерживается на этой поверхности 2 с.

Адгезия печатных красок к поверхности полимерной упаковки может быть оценена разными методами: с использованием липкой ленты, по степени истирания печатных красок, методом решетчатых надразов, отслаиванием слоя краски при перегибе окрашенной поверхности. При проведении испытаний по первому способу полосу липкой ленты определенных размеров плотно наклеивают на поверхность тары с нанесенной печатью, после чего ее срывают одним рывком. При визуальном контроле на липком слое ленты не должны обнаруживаться частицы краски. Для определения адгезии печатных красок к поверхности полимера, выражаемой степенью истирания, на образцы упаковки наносят слой краски. Истирание краски проводят на специальном приборе с помощью мелкозернистой наждачной бумаги, степень истирания определяют по разности коэффициентов ее яркости на поверхности полимерной упаковки до и после их истирания (%). Испытания нанесением решетчатых надразов проводят с использованием прибора, с помощью которого на поверхности упаковки выполняют крестовые надрезы. Качество схватывания краски с поверхностью определяется характером кромок среза (гладкие или отскачившие). Степень адгезии красочного покрытия к поверхности пленочной полимерной упаковки может также характеризоваться числом двойных изгибов пленки до наступления отслаивания покрытия от материала.

В таблицах 1 и 2 приведены некоторые методы испытаний и относящиеся к ним международные стандарты DIN, ISO, ASTM, а также гармонизированные с ними стандарты, действующие в странах СНГ, в соответствии с которыми могут выполняться испытания полимерных упаковочных материалов, наиболее часто применяемых в упаковочной отрасли [3, 5].

Разработаны методы оценки *долговечности* полимерных упаковочных материалов и методы оценки их структуры и электрофизических свойств [7]. С целью прогнозирования прочностных свойств полимерных упаковочных материалов в различных условиях эксплуатации при интегральном и дифференциальном воздействии различных факторов окружающей среды был разработан ряд режимов испытаний, имитирующих основные метеорологические факторы путем создания температурных, световых и влажностных перепадов. Каждый ускоренный режим старения включал в себя суточный цикл испытаний, при котором определенное время образцы находились при нормальных условиях («отдых»). Кроме того, были учтены технологические возможности и наиболее удобное время эксплуатации оборудования [8]. Для получения сравнительных данных наряду с ультрафиолетовым (УФ) излучателем применяли электронагреватель с медным излучателем (диапазон инфракрасного (ИК) излучения $\lambda = 800\text{--}1000\text{ нм}$).

Для измерения деформации материалов под действием электромагнитных излучений был разработан оригинальный прибор [7], схема которого приведена на рис. 2.

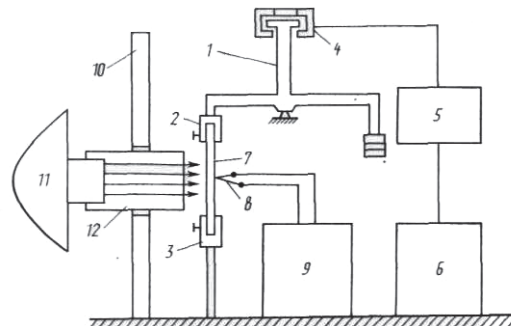


Рис. 2. Схема прибора для измерения микродеформаций пленок при обработке электромагнитным излучением в условиях одноосного растяжения. 1 – рычажный нагружатель одноосного растяжения пленочных образцов; 2 – подвижный зажим; 3 – неподвижный зажим; 4 – индукционный датчик; 5 – ВЧ генератор; 6 – потенциометр; 7 – пленочные образцы; 8 – термopapa; 9 – измеритель температуры; 10 – штатив; 11 – источник излучения; 12 – лампа УФ излучения (диапазон длин электромагнитных волн 240–320 нм).

Таблица 1. Стандарты на некоторые методы испытаний полимерных упаковочных материалов.

Свойство материала	Метод определения, ГОСТ	Метод определения, DIN, ISO, ASTM
Толщина	ГОСТ 17035 Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов	DIN 53370 Пленка полимерная. Определение толщины механическими толщиномерами.
Плотность	ГОСТ 15139 Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы).	DIN EN ISO 1183-1 Пластмассы. Метод определения плотности неясных пластмасс. Часть 1. Метод погружения, метод с применением жидкостного пикнометра и метод титрования.
Показатель текучести расплава	ГОСТ 11645 Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов	DIN EN ISO 1133 Пластмассы. Определение индекса текучести расплава термопластов по массе (MFR) и по объему (MVR).
Предел прочности и относительное удлинение при растяжении	ГОСТ 11262 Пластмассы. Метод испытания на растяжение.	DIN EN ISO 527-2 Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 2. Условия испытаний для литевых и экструзионных пластмасс. DIN EN ISO 527-3 Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 3: Условия испытания пленок и листов. ASTM D 882-02 Определение прочности при растяжении тонких листов.
Модуль упругости при изгибе	ГОСТ 9550 Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе. ГОСТ 4648 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.	DIN EN ISO 178 Пластмассы. Определение свойств при изгибе.
Стойкость к растрескиванию	ГОСТ 13518 Пластмассы. Метод определения стойкости полиэтилена к растрескиванию под напряжением.	DIN EN ISO 22088-1, 2, 3, 4 Пластмассы. Определение устойчивости к растрескиванию под воздействием окружающей среды. Часть 1. Общие требования. Часть 2. Метод с применением постоянной растягивающей нагрузки. Часть 3. Метод изогнутой полоски. Часть 4. Метод вдавливания шарика или булавки.
Твердость	ГОСТ 4670 Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика. ГОСТ 24622 Пластмассы. Определение твердости по Роквеллу. ГОСТ 24621 Пластмассы и эбонит. Определение твердости по Шору.	DIN EN ISO 2039-1,2 Пластмассы. Определение твердости. Часть 1. Метод с применением шарикового индентора по Бринеллю. Часть 2. Твердость по Роквеллу. ISO 868 Эбонит и пластмассы. Определение инденторной твердости с помощью дюрометра (твердость по Шору).
Ударная вязкость	ГОСТ 19109 (ссылка на ISO 180). Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Изоду. ГОСТ 4647 Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи.	DIN EN ISO 180-2007 Пластмассы. Определение ударной прочности по Изоду. DIN EN ISO 179-1 Пластмассы. Определение ударной прочности по Шарпи. Часть 1. Неинструментальный метод испытания на удар. DIN EN ISO 179-2 Часть 2. Испытание на удар с приборами.
Температура хрупкости	ГОСТ 16782 Пластмассы. Метод определения температуры хрупкости при ударе.	ISO 974 Пластмассы. Определение температуры хрупкости при ударе.
Температура размягчения по Вика	ГОСТ 15088 Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика.	DIN EN ISO 306 Пластмассы. Термопластичные материалы. Определение температуры размягчения по Вика.
Определение водопоглощения	ГОСТ 4650 Пластмассы. Метод определения водопоглощения.	DIN EN ISO 62 Пластмассы. Определение водопоглощения.
Определение содержания воды	ГОСТ 11736 Пластмассы. Метод определения содержания воды.	DIN EN ISO 15512 Пластмассы. Определение содержания воды.
Стойкость к термоокислительному старению	Не используется	DIN 53383-2 Полиэтилен высокой плотности. Определение устойчивости к окислению методом старения в печи. DIN EN ISO 4577 Пластмассы. Полипропилен и сополимеры пропилена. Определение термоокислительной стабильности на воздухе. Метод с применением печи.
Газопроницаемость	ГОСТ 23553 (соответствует ISO 2556) Пластмассы. Манометрический метод определения газопроницаемости.	DIN EN ISO 2556 Пластмассы. Определение газопроницаемости пленки и тонких листов при атмосферном давлении. Манометрический метод. ISO 15105-1 Пластмассы. Пленка и листы. Определение скорости проникновения газов. Часть 1. Метод определения по перепаду давления. ISO 15105-2 Пластмассы. Пленка и листы. Определение скорости проникновения газов. Часть 2. Метод равного давления. DIN 53380-1, 2, 3, 4. Часть 1. Объемный метод испытания пленки. Часть 2. Манометрический метод испытания пленок. Часть 3. Метод с применением специального газа-носителя, для пленок. Часть 4. Метод абсорбции в ИК-диапазоне диоксида углерода, для пленок. ASTM D 1434 Метод определения показателей газопроницаемости тонких полимерных пленок и листов (манометрический и объемный методы). ASTM D 3985 Метод определения показателя кислородопроницаемости.

Таблица 1. Продолжение.

Паропроницаемость	ГОСТ 21472 Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости.	DIN 53122-1 Пленка полимерная и эластомерная, бумага, картон и другие листовые материалы. Определение паропроницаемости. Часть 1. Гравиметрический метод. DIN EN ISO 15106-1, 2, 3, 4 Пластмассы. Пленка и листы. Определение паропроницаемости. Часть 1. Метод с применением гигрометра. Часть 2. Метод с применением детектора ИК-излучения. Часть 3. Метод с применением электролитического детектора. Часть 4. Метод с применением газохроматографического детектора. ASTM D 1249 Метод определения паропроницаемости тонких пленок с применением ИК-детектора.
Светопропускание	ГОСТ 15875 Пластмассы. Методы определения коэффициента пропускания и мутности.	ASTM D 1003 Светопропускание прозрачных пленок.
Блеск		ASTM D2457 Метод определения блеска полимерных пленок.
Белизна		ASTM E 313-05 Определение степени белизны и желтизны
Статический и динамический коэффициенты трения	ГОСТ 11629 Пластмассы. Метод определения коэффициента трения.	DIN EN ISO 8295 Пластмассы. Пленка и листы. Метод определения коэффициентов трения. ASTM D 1894 Метод определения статического и динамического коэффициентов трения.
Диапазон термосваривания и прочность сварного шва	ГОСТ 32736 Тара потребительская из комбинированных материалов. Технические условия.	DIN 55529 Тара и упаковка. Определение прочности на раздир сварного шва, сделанного из гибкого упаковочного материала. ASTM F88-07 Метод испытания прочности сварного шва тонких полимерных листов.
Геометрические размеры после нагревания	ГОСТ Р 54106 Пленки и листы полимерные. Метод определения размеров после нагревания.	DIN EN ISO 11501 Пластмассы. Пленка и листы. Определение размеров после нагревания. ASTM D 1204 Определение геометрических размеров тонких пленок и листов после нагревания.
Усадочное натяжение термоусадочных пленок	ГОСТ 25951 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия.	DIN EN ISO 14616 Пластмассы. Термоусадочные пленки из полиэтилена, этиленовых сополимеров и их смесей. Определение усадочного напряжения и напряжения сжатия.
Поверхностное натяжение	ГОСТ Р 54105 Пленки и листы полимерные. Метод определения натяжения при смачивании.	DIN ISO 8296 Пластмассы. Пленки и листы. Определение натяжения при смачивании.
Сопротивление слипанию		DIN EN ISO 11502 Пластмассы. Пленки и листы. Определение сопротивления слипанию.
Возможность применения для контакта с пищевыми продуктами	ГОСТ 22648 Пластмассы. Методы определения гигиенических показателей. Инструкция 880. Инструкция по санитарно-химическому исследованию изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами.	Директива 2002/72/EC + стандартные методы определения миграции различных веществ в пищевые имитанты.

Исследование процессов разрушения полимерных пленок под действием УФ облучения различной интенсивности показало, что их долговечность обратно пропорциональна интенсивности облучения. При этом суммарное количество энергии ультрафиолетовой части спектра, необходимое для разрушения, вероятно, является величиной, постоянной для каждого вида полимера [9, 10].

Методы оценки структуры и электрофизических свойств полимерных упаковочных материалов дают существенно больший объем информации, чем традиционные, имеют широкую область применения, поддаются автоматизации и легко встраиваются в современные информационно-вычислительные комплексы [11]. К ним можно отнести метод термоактивационной токовой спектроскопии – электретно-термический анализ (ЭТА) [12]. Функциональная схема измерительного комплекса ЭТА представлена на рисунке 3.

Установка включает измерительную ячейку с двумя алюминиевыми электродами и термокамеру. Изоляцию электродов осуществляют с помощью термостойких диэлектриков (фторопласт-4, керамика), обеспечивающих сопротивление изоляции не менее 1012 Ом. В составе измерительного комплекса имеется автоматическое устройство для программируемого повышения температуры в термокамере (контроллер-терморегулятор с термопарой), а также пикоамперметр, обеспечивающий измерение термостимулированного тока (ТСТ) в диапазоне 10^{-13} – 10^{-5} А с погрешностью не более 5%. Характер спектра ТСТ зависит от природы материала и несет информацию о типах центров захвата носителей заряда, их энергии и, в конечном счете, о внутренней структуре электрета.

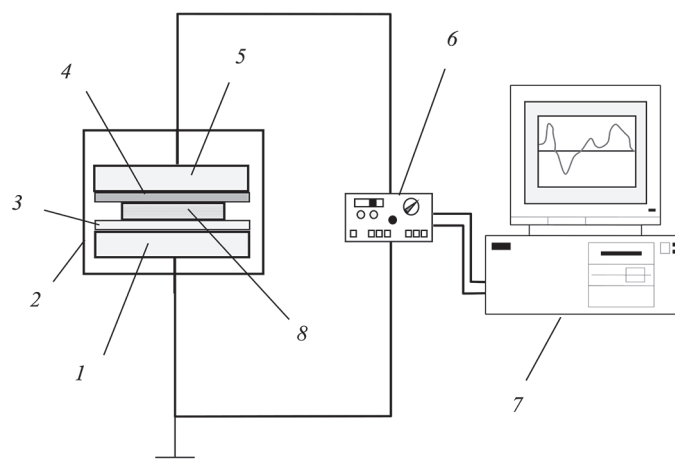


Рис. 3. Схема измерительного комплекса для регистрации и записи термостимулированных токов. 1 – нижний электрод (Al); 2 – разборный экран; 3 – нижняя прокладка (фольга Al); 4 – верхняя прокладка (тефлон); 5 – верхний электрод (Al); 6 – усилитель-преобразователь; 7 – персональный компьютер; 8 – анализируемый образец.

Полученная база данных спектров ТСТ подвергается математической обработке путем цифровой фильтрации средствами OriginLab 7.0 с получением величины остаточного заряда электрета ($Q_{ост}$, Кл) по ГОСТ 25209 [13].

Среди современных методов исследования структуры упаковочных материалов и изменений, происходящих в них в процессе

использования, применяют также спектроскопические методы – инфракрасную и лазерную спектроскопию [6, 14–16]. Среди методов инфракрасной спектроскопии широко используют метод ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием, а среди методов лазерной спектроскопии – внутрирезонаторную лазерную спектроскопию и спектроскопию комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия). Методом внутрирезонаторной лазерной спектроскопии определяют в веществе следовые количества таких элементов как Na, Li, Ba, Sr, V и редкоземельных металлов. Спектроскопию комбинационного рассеяния применяют для изучения органических и неорганических веществ в любых агрегатных состояниях. По спектрам комбинационного рассеяния идентифицируют вещества, определяют химические связи и группы в молекулах, изучают изомерию, обнаруживают микропримеси.

Наряду с идентификацией упаковочных материалов по структуре и физико-механическим свойствам проводят испытания по их

термическим свойствам (теплостойкость, температура плавления), применяя пробы на горение. В этом случае образцы оценивают по их способности к горению, легкости к воспламенению, характеру горения, цвету и характеру пламени, запаху продуктов горения.

При затруднении в определении наименования полимера по органолептическим признакам, физическим и термическим свойствам производят дополнительные исследования материала на химическую стойкость различными методами. Обычно к таким методам прибегают при арбитражных спорах, когда природу упаковки иным путем установить невозможно. Для этого полимер подвергают пиролизу, и в продуктах горения определяют наличие характерных для данного полимера атомов или групп атомов, склонных к специфическим реакциям, в результате которых имеет место определенный индикаторный эффект [17, 18]. Более простые способы определения полимерных материалов основаны на их растворимости [6].

Таблица 2. Стандарты на испытания рулонных многослойных полимерных и комбинированных материалов.

Свойства материалов	Метод испытания ГОСТ	Метод испытания DIN или ISO
Стабильность геометрических размеров	ГОСТ Р 54106 Пленки и листы полимерные. Метод определения размеров.	DIN 53377 Пленки пластмассовые. Определение стабильности размеров.
Стойкость к прокалыванию	ГОСТ 12.4.118 Пленочные полимерные материалы и искусственная кожа. Метод определения стойкости к проколу.	DIN EN 14477 Упаковочные материалы. Методы испытания. Определение стойкости к проколу.
Адгезионная прочность между отдельными слоями многослойного упаковочного материала, изготовленного с применением клеев	ГОСТ 28966.1 ГОСТ 28966.2 Клеи. Метод определения прочности при расслаивании и отслаивании.	ISO 8510-2 Клеи. Испытание на отслаивание образца из склеенных гибкого и жесткого материалов. Часть 2. Отслаивание под углом 180 град. DIN EN 28510-1-1 Клеи. Испытание на отслаивание образца из склеенных гибкого и жесткого материалов. Часть 1. Отслаивание под углом 90°. DIN EN 28510-2 Клеи. Испытание на отслаивание образца из склеенных гибкого и жесткого материалов. Часть 2. Отслаивание под углом 180°.
Ударная прочность	ГОСТ Р 53655.1 Пленки и листы полимерные. Определение ударной прочности методом свободнопадающего груза.	DIN EN ISO 7765-1 Пленка и листы пластмассовые. Определение ударной прочности методом свободно падающего груза. Часть 1. Ступенчатый метод. DIN EN ISO 7765-2 Часть 2. Испытание на прокол с измерительной аппаратурой.
Сопротивление раздиру	ГОСТ 26128 Пленки полимерные. Метод определения сопротивления раздиру.	DIN EN ISO 6383-1, 2 Пластмассы. Пленка и листы. Определение сопротивления раздиру. Часть 1. Раздвоенные образцы. Часть 2. Метод Эльмендорфа.
Количество остаточного растворителя в упаковочном материале	ГОСТ 26359 Пластмассы. Метод определения содержания летучих веществ.	DIN EN 13628-1 Тара и упаковка. Гибкий упаковочный материал. Определение остаточных растворителей методом статической газовой хроматографии в паровой фазе. Часть 1. Абсолютные методы. DIN EN 13628-2 Определение остаточных растворителей методом статической газовой хроматографии в паровой фазе.
Диапазон термосваривания и прочность сварного шва		DIN 55529 Тара и упаковка. Определение прочности на раздир сварного шва, сделанного из гибкого упаковочного материала. ASTM F88-07 Метод испытания прочности сварного шва тонких полимерных листов
Возможность применения для контакта с пищевыми продуктами	ГОСТ 22648 Пластмассы. Методы определения гигиенических показателей. Инструкция 880 Инструкция по санитарно-химическому исследованию изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами.	Директива 2002/72/EC + стандартные методы определения миграции различных веществ в пищевые имитанты.

Таблица 3. Модельные среды для исследования упаковочных материалов для пищевых продуктов.

Наименование продукта	Модельные растворы
Мясо, рыба свежая	Дистиллированная вода, 0,3%-ный раствор молочной кислоты
Мясо, рыба соленая и копченая	Дистиллированная вода, 0,5%-ный раствор молочной кислоты
Молоко, молочные продукты и молочные консервы	Дистиллированная вода, 0,3%-ный раствор молочной кислоты, 3%-ный раствор молочной кислоты
Колбаса вареная, мясные, рыбные и овощные консервы, маринованные и квашенные овощи, пасты и др.	Дистиллированная вода, 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащий 2% поваренной соли; нерафинированное подсолнечное масло
Фрукты, ягоды, фруктовые и овощные соки, безалкогольные напитки, пиво	Дистиллированная вода, 2%-ный раствор лимонной кислоты
Алкогольные напитки, вина	Дистиллированная вода, 20%-ный раствор этилового спирта, 2%-ный раствор лимонной кислоты
Водки, коньяки	Дистиллированная вода, 40%-ный раствор этилового спирта
Спирт пищевой, ликеры, ром	Дистиллированная вода, 96%-ный раствор этилового спирта
Готовые блюда и горячие напитки (чай, кофе, молоко и др.)	Дистиллированная вода, 1%-ный раствор уксусной кислоты

Как известно, полимерные материалы обладают определенной проницаемостью, которая в зависимости от химической природы полимера и содержимого упаковочного материала колеблется в довольно широких пределах. При установлении возможности применения упаковки из отдельных полимерных материалов для упаковывания тех или иных продуктов следует принимать во внимание потери продукта, изменение массы упаковки, прочностных свойств, вид материала, ароматопроницаемость, изменение продукта после хранения в полимерной упаковке. Определение химической стойкости упаковки проводят на стандартных образцах в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами.

Определение количества вымываемых веществ имеет большое значение при определении качества упаковки, так как эти вещества, мигрируя в пищевые продукты и в воздушную среду, могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека. В связи с этим органы здравоохранения устанавливают для полимерных упаковочных материалов предельно допустимые концентрации соответствующих мономеров, стабилизирующих добавок, красителей и других химических веществ, входящих в состав полимерного материала. Представляют интерес методы идентификации и количественного определения очень малых концентраций химических веществ, поглощаемых пищевыми продуктами. Например, для определения производных полициклических углеводородов в полимерных упаковочных материалах используют люминесцентный анализ. Для определения содержания малых количеств мономера винилхлорида (до 1 мг/кг) в упаковочных материалах на основе поливинилхлорида используют газожидкостную хроматографию, а с помощью газохроматографического метода определяют содержание бензола и его производных в образцах полистирола общего назначения (блочного), ударопрочного полистирола марок УПМ и УПС, вспенивающегося полистирола марки ПСВ [6, 14].

Для исследования «активных материалов», содержащих в своем составе различные добавки, которые при определенных условиях выделяются в упаковочное пространство, оказывая воздействие на продукт, разработан метод изотермической деполяризации (рис. 4) с использованием анализатора дисперсных систем АДС-1 [19]. Метод состоит в наложении электромагнитного возмущения на дисперсную систему, находящуюся в замкнутом объеме, с последующей регистрацией ее отклика, что позволяет дифференцировать наполнители по их влиянию на поляризационные характеристики наполнителей с целью регулирования анизотропии их свойств. Это открывает новые пути для разработки упаковочных материалов, обеспечивающих пролонгированное действие введенных в них компонентов (антиоксидантов, консервантов и т.д.) [19, 20].

Важным этапом при контроле качества упаковочных материалов для пищевых продуктов являются санитарно-гигиенические исследования. Упаковочный материал не должен изменять физиологические или органолептические свойства упакованной продукции или выделять в них вредные вещества в тех количествах, которые превышают допустимые нормы миграции с точки зрения гигиены. Поэтому в состав упаковочного материала не должны входить вещества с высокой токсичностью, которые обладают кумулятивными свойствами, а также специфическим действием на организм.

В комплекс гигиенической оценки упаковочного материала входят органолептические, санитарно-химические и токсикологиче-

ские исследования. Наличие ярко выраженных дефектов материала и постороннего запаха при органолептической оценке является причиной отказа от применения материала в непосредственном контакте с пищевым продуктом.

Санитарно-химические исследования проводят путем определения компонентов упаковочного материала в вытяжках, получаемых при экспозиции (выдержке) образцов исследуемого материала в модельной среде (таблица 3) при определенных температурно-временных условиях [21, 22]. В приготовленных вытяжках химическими методами определяют содержание веществ, входящих в рецептуру материала, а также содержание тяжелых металлов [22, 23].

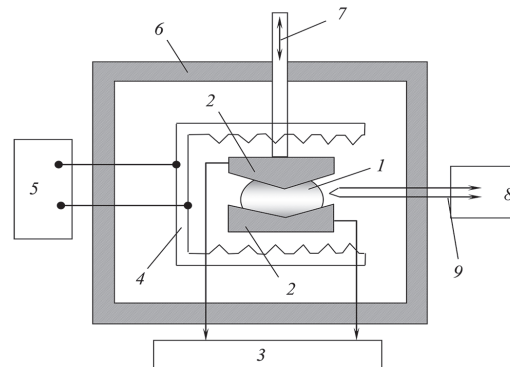


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки для проведения изотермической деполяризации. 1 – исследуемый образец; 2 – электроды; 3 – АДС-1; 4 – нагреватель; 5 – источник питания для нагревателя; 6 – термостабилизирующая измерительная камера; 7 – микрометрический винт; 8 – вольтметр; 9 – термopapa.

Органами здравоохранения регламентируются также предельно допустимая величина суммарной миграции в модельные среды (50–60 мг/кг продукта) и нормативы миграции отдельных наиболее токсичных компонентов упаковочных материалов. Санитарно-гигиенические показатели безопасности и нормативы веществ, выделяющихся из упаковки, контактирующей с пищевой продукцией, приведены в таблице 4 [24].

Токсикологические исследования проводят на живых объектах (микроорганизмы, насекомые, крысы, кролики, морские свинки, обезьяны и другие животные). Они заключаются в скормлении подопытным животным вытяжек из исследуемого материала, а также введении под кожу или в желудок животного компонентов экстракта с последующим изучением биологического действия вводимых веществ на живой организм. Степень токсичности вещества или материала определяется дозой в организме, вызывающей летальный исход не менее чем у 50% экспериментальных особей в течение периода наблюдения (показатель ЛД₅₀). Сильнодействующие и высокотоксичные вещества имеют значения ЛД₅₀ < 200 мг на 1 кг массы, среднетоксичные – 200–1000 мг/кг. Если ЛД₅₀ выше 1000 мг/кг, то токсичность материала или вещества характеризуется как малая [26]. В зависимости от результатов токсикологических исследований устанавливают основной гигиенический критерий материала – допустимое количество миграции (ДКМ) веществ из упаковочного материала в продукт или модельную среду. Соответствие ДКМ должно гарантировать безопасность для здоровья людей при неограниченно продолжительном приеме упакованной продукции.

Таблица 4. Санитарно-гигиенические показатели безопасности полимерных упаковочных материалов.

Наименование материала изделия	Контролируемый показатель	ДМК, мг/л	ПДК в питьевой воде, мг/л	Класс опасности	ПДК с.с., мг/м ³ в атм/возд.	Класс опасности
1. Полиэтилен (ПЭВД, ПЭНД), полипропилен, сополимеры пропилен с этиленом, полибутилен, полиизобутилен, комбинированные материалы на основе полиолефинов	Формальдегид	0,100	–	2	0,003	2
	Ацетальдегид	–	0,200	4	0,010	3
	Этилацетат	0,100	–	2	0,100	4
	Гексан	0,100	–	4	–	–
	Гептан	0,100	–	4	–	–
	Гексен	–	–	–	0,085	3
	Гептен	–	–	–	0,065	3
	Ацетон	0,100	–	3	0,350	4
	Спирты					
	Метиловый	0,200	–	2	0,500	3
	Пропиловый	0,100	–	4	0,300	3
	Изопропиловый	0,100	–	4	0,600	3
	Бутиловый	0,500	–	2	0,100	3
	Изобутиловый	0,500	–	2	0,100	4
2. Полистирол блочный, ударопрочный	Стирол	0,010	–	2	0,002	2
	Спирты					
	Метиловый	0,200	–	2	0,500	3
	Бутиловый	0,500	–	2	0,100	3
	Формальдегид	0,100	–	2	0,003	2
	Бензол	–	0,010	2	0,600	2
	Толуол	–	0,500	4	0,020	3
	Этилбензол	–	0,010	4	0,030	3
3. Поливинилхлоридные пластики	Ацетальдегид	–	0,200	4	0,010	3
	Ацетон	0,100	–	3	0,350	4
	Винил хлористый	0,01	–	2	0,01	1
	Спирты					
	Метиловый	0,200	–	2	0,500	3
	Пропиловый	0,100	–	4	0,300	3
	Изопропиловый	0,100	–	4	0,600	3
	Бутиловый	0,500	–	2	0,100	3
	Изобутиловый	0,500	–	–	0,100	4
	Бензол	–	0,010	–	0,100	2
	Толуол	–	0,500	4	0,600	3
	Цинк (Zn)	1,000	–	3	–	–
	Олово (Sn)	–	2,000	3	–	–
	Диоктилфталат	2,00	–	3	0,020	–
4. Полиамид 6 (поликапроамид, капрон)	Дибутилфталат	Не допускается				
	Е-капролактамы	0,500	–	4	0,060	3
	Бензол	–	0,010	2	0,100	2
	Фенол	0,050	–	4	0,003	2
5. Полипропилен-оксид	Метилацетат	–	–	3	0,070	4
	Ацетон	0,100	0,200	3	0,350	4
	Формальдегид	0,100	0,100	2	0,003	2
	Ацетальдегид	–	–	4	0,010	3
6. Полиэтилен-терефталат и сополимеры на основе терефталевой кислоты	Ацетальдегид	–	0,200	4	0,010	3
	Этиленгликоль	–	1,000	3	1,000	–
	Диметилтерефталат	–	1,500	4	0,010	–
	Формальдегид	0,100	–	2	0,003	2
	Спирты					
	Метиловый	0,200	–	2	0,500	–
	Бутиловый	0,500	–	2	0,100	3
	Изобутиловый	0,500	–	2	0,100	4
	Ацетон	0,100	–	3	0,350	4

Данные по химической стойкости полимерных материалов в пищевых средах приведены в таблице 5 [25].

Закключение

Представлен краткий обзор по современным методам контроля функциональных и эксплуатационных свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов и охарактеризованы их особенности. Показано, что контроль качества свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов является ключевым при определении возможности их использования по назначению. Результаты испытаний позволяют оценить возможности и ограничения, провести оптимизацию технологического процесса и получить упаковку высокого качества.

Литература

- Ханчич, О.А. Экспресс-метод исследования упаковочных полимерных пленок / О.А. Ханчич, В.Б. Ларионов, С.А. Кузнецова // Электронный журнал Cloud of Science. – 2013. – No. 3 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://cloudofscience.ru> 35.
- Бристон, Дж.Х., Полимерные пленки. Пер. с англ. / Дж. Х. Бристон, Л.Л. Катан. – М.: Химия, 1993. – 381 с.
- Беляев, П.С. Испытания тары и упаковки. Лабораторный практикум. Утверждено Методическим советом ТГТУ в качестве методических указаний для студентов магистратуры, обучающихся по направлению 261700.68 «Технология полиграфического и упаковочного производства» / П.С. Беляев, А.А. Букин, Д.Л. Полушкин. – Тамбов, 2014. – 117 с.
- Как сделать конкурентное преимущество из упаковки? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.advertology.ru/article26300.htm>.
- Стандарты на методы контроля пленочных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://refdb.ru/look/2536742-p2.html>.
- Ухарцева, И.Ю. Методы и средства исследования: курс лекций для студентов специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение и экспертиза продовольственных товаров» / И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова – Гомель: учреждение образования Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, 2013. – 212 с.

Таблица 5. Химическая стойкость полимерных материалов в пищевых средах.

Среда	Концентрация, %	Температура, °С	Стойкость полимеров			
			ПВХ	полиэтилен низкой плотности	полиметилметакрилат	полиизобутилен
Винная кислота	50	40	С	С	С	С
	50	60	С	С	С	С
Глицерин	100	60	С	С	С	С
	100	100	НС	НС	НС	С
Глюкоза	Насыщенная	20	С	С	ОС	С
		60	С	С	НС	С
Дрожжи жидкие пекарские	—	30	С	С	С	С
Жирные кислоты	—	60	С	ОС	ОС	НС
Жиры растительные	—	20	С	С	С	НС
и животные	—	60	С	НС	С	НС
Кровь свежая	—	20	С	С	С	С
	—	—	—	—	—	—
Лимонная кислота	50	40	С	С	С	С
	50	60	ОС	С	С	С
Масло сливочное	—	40	С	НС	ОС	С
Молочная кислота	3	50	С	С	С	С
То же	10	40	С	С	С	С
То же	10	60	ОС	С	С	С
То же	10	90	НС	НС	НС	С
То же	10	60	ОС	С	ОС	С
Мясной бульон (рН 7,2—7,4)	—	85	НС	НС	НС	ОС
Мясной фарш (рН 5,5—7,4)	—	20	С	ОС	С	С
Сахарный сироп	70	60	С	С	С	С
Сахарный сироп инвертный	—	20	С	ОС	ОС	ОС
Сыр плавленый (содержание жира 35%, рН 5,2—5,8)	45	70	ОС	С	ОС	С
Сыворотка подсырная (35—100°Т)	—	70	С	С	С	С
Творог кислый (содержание хлористого натрия 2,5%; 30—400°Т)	—	20	С	С	С	С

Условные обозначения: С (стойк) – при указанных концентрации и температуре среды в течение до 30 суток не происходит химического разрушения полимера; НС (не стойк) – в среде полимер быстро разрушается и его применение недопустимо; ОС (относительно стойк) – применение термопласта в среде условно допустимо; полимер может быть использован для изготовления изделий, временно подвергающихся действию данной среды; °Т – градусы Тернера.

- Ухарцева, И. Долговечность полимерных материалов. Дифференциальное и интегральное влияние различных факторов / И. Ухарцева, Л. Корейская // LAP Lambert Academic Publishing. Omni-Scriptum GmbH & Co. KG, Deutschland / Германия, 2014. – 95 p.
- Корейская, Л.С. Исследование эксплуатационных свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов / Л.С. Корейская, И.Ю. Ухарцева // Вестник Российского университета кооперации. – 2012. – №4(10). – С. 103–110.
- Ухарцева, И.Ю. Фотодеформации как показатель упругих свойств полимерных пленочных материалов. / И.Ю. Ухарцева, Л.С. Корейская, Т.И. Александрова / Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami - 2012» 07–15 listopada 2012 roku Volume 17. Chemia i chemiczne technologie. Fizyka: Przemysł. Nauka i studia – s. 37–40.
- Ухарцева, И.Ю. Метод оценки упругих свойств полимерных упаковочных материалов / И.Ю. Ухарцева, Л.С. Корейская / Качество товаров: теория и практика: материалы докладов Международной научно-практической конференции, Витебск, Беларусь, 15–16 ноября, 2012 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – С. 129–131.
- Гольдаде, В.А. Электретные пластмассы: физика и материаловедение / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук // Под ред. В.А. Белого. – Мн.: Наука и техника. – 1987. – 231 с.
- Гороховатский, Ю.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков / Ю.А. Гороховатский, Г.А. Бордовский. – М.: Наука, 1991. – 248 с.
- Патент РФ 2210071, G01N 25/18. Способ проведения термостимулированной токовой спектроскопии диэлектрических материалов // А.Г. Кравцов, С.В. Зотов, В.А. Гольдаде. Опубл. 10.08.2003, Бюл. № 22.
- Гольдаде, В.А. Физика конденсированного состояния / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 657 с.
- Зарапин, В.Г. Электрофизические методы и приборы контроля качества продукции: тексты лекций для студентов специальности 1-54 03 01 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» / В.Г. Зарапин. – Минск: БГТУ, 2006. – 130 с.
- Основы аналитической химии: В 2 кн. 2-е изд., перераб. и доп. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения / Под ред. акад. Золотова Ю.А. – М.: Высшая шк., 2000. – 351 с.
- Калинина, Л.С. Химические методы исследования синтетических смол и пластических масс / Л.С. Калинина [и др.]. – М.: Химия, 1983. – 205 с.
- Новиков, Г.И. Общая и экспериментальная химия: учеб. пособие для химических и химико-технологических вузов / Г.И. Новиков, И.М. Жарский. – Минск: Соврем. шк., 2007. – 832 с.
- Шаламов, И.В. Исследование электрофизических свойств жидкодисперсных систем методом изотермической деполяризации / И.В. Шаламов, И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде // Материаловедение. – 2003. – № 3. – С. 26–30.
- Ухарцева, И.Ю. Применение метода изотермической деполяризации в пищевой промышленности / И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова, Ж.В. Кадолич // Потребительская кооперация. – 2016. – №2 (53). – С. 77–81.
- Ухарцева, И.Ю. Гигиенические аспекты газоселективных упаковочных пленок / И.Ю. Ухарцева, В.А. Гольдаде // Пластические массы. – 2005. – №9. – С. 43–44.
- Инструкция 880. Инструкция по санитарно-химическим исследованиям изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. Утв. 2.02.1971 зам. главного санитарного врача СССР Д.Н. Лоранским. – М., 1972. – 155 с.
- Основы аналитической химии: В 2 кн. 2-е изд., перераб. и доп. Кн. 2. Методы химического анализа / Под ред. акад. Ю.А. Золотова – М.: Высшая шк., 2000. – 494 с.
- Современные упаковочные материалы для пищевых продуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrocart.com/97/sovremennye-upakovochnye-materialy-dlya-pishhevyyx-produktov>.
- Генель, С.В. Гигиенические требования к полимерным материалам, применяемым в пищевой промышленности / С.В. Генель, М.Г. Шевченко, В.Д. Феофанов. М.: «Медицина», 1972. – 196 с.
- Деликатная, И.О. Безопасность товаров (продовольственных): учеб. Пособие / И.О. Деликатная, И.Ю. Ухарцева. – Минск: Выш. шк., 2012. – 252 с.