

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-1-49-56

УДК 620.75

Методики исследований химических характеристик полимерных материалов

Доктора техн. наук, профессора В. В. Кузьмич¹⁾, И. И. Карпунин¹⁾, канд. техн. наук, доц. Ю. С. Почанин¹⁾, Т. Ф. Балабанова¹⁾, докт. хим. наук Н. Г. Козлов²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Метод измерения химического сопротивления полимера путем погружения образцов в химический реагент – стандартная процедура испытаний, используемая в химической промышленности (стандарты ASTM D543, ИСО 155). Такой способ использовался только для сравнительной оценки химического сопротивления различных материалов в ряде типичных реагентов. Результаты, получаемые этим методом, не дают прямой оценки возможности применения данного материала для того или иного изделия, используемого в контакте с различными химическими средами. Необходимо иметь в виду такие ограничения используемых результатов испытаний, как продолжительность воздействия среды, температура и концентрация реагента в среде. Если предполагается применение в условиях, когда изделие непрерывно взаимодействует с жидкостью, то результаты кратковременных испытаний могут использоваться только для исключения наименее подходящих материалов. Оборудование для испытаний включало прецизионные химические весы, микрометр, контейнер для иммерсионной среды, термостат для задания и поддержания необходимой температуры и приборы для измерений физических свойств. Размеры и тип испытуемого образца определяются формой материала, который предназначен для испытаний. При испытаниях в каждом реагенте требуются, по крайней мере, три образца. Для каждого образца измеряются изменения размеров и веса. Образец помещается в контейнер на семь суток в стандартной лабораторной атмосфере, причем он не должен касаться дна или стенок контейнера.

Ключевые слова: метод оценки, иммерсионная среда, размер, вес, химическая среда, температура, концентрация, реагенты, лабораторная атмосфера

Для цитирования: Методики исследований химических характеристик полимерных материалов / В. В. Кузьмич [и др.] // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 1. С. 49–56. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-1-49-56

Methods for Investigation of Chemical Characteristics in Polymer Materials

V. V. Kuzmich¹⁾, I. I. Karpunin¹⁾, Yu. S. Pochanin¹⁾, T. F. Balabanova¹⁾, N. G. Kozlov²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Institute of Physical Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. A method for measuring polymer chemical resistance by dipping specimens in chemical reagents is a standard investigation procedure used in chemical industry (Standards ASTM D543, ISO 155). Such method has been used only for comparative evaluation of chemical resistance for various materials in a number of typical reagents. The results obtained with the help of the method do not provide the possibility directly to estimate application of the given material for this or that products which are used in contact with various chemical environments. It is necessary to take into account such limitations of

Адрес для переписки

Кузьмич Василий Васильевич
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 14,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-96-48
oup@bntu.by

Address for correspondence

Kuzmich Vasilii V.
Belarusian National Technical University
14 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-96-48
oup@bntu.by

the used testing results as duration of environmental exposure, temperature and reagent concentration in the medium. If it is assumed that the method is applied under conditions when a product is continuously contacting with liquid then the results of short-term testings can be used only with the purpose to exclude the least adequate materials. Testing equipment has included a precision chemical balance, a micrometer, a container for immersion medium, a thermostat for setting and maintaining the required temperature and devices for measuring physical properties. Dimensions and type of a test specimen are specified by the shape of material which is used for testing. At least three specimens are needed for testing in every reagent. Changes in dimension and weight are measured for every specimen. The specimen is placed in container for 7 days in standard laboratory atmosphere where it should not touch a bottom or walls of the container.

Keywords: evaluation method, immersion medium, dimension, weight, chemical medium, temperature, concentration, reagents, laboratory atmosphere

For citation: Kuzmich V. V., Karpunin I. I., Pochanin Yu. S., Balabanova T. F., Kozlov N. G. (2017) Methods for Investigation of Chemical Characteristics in Polymer Materials. *Science and Technology*, 16 (1), 49–56. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-1-49-56 (in Russian)

Методы определения стойкости пластмасс к химическим реагентам

Методы определения стойкости пластмасс к действию химических сред описаны в ГОСТ 12020–72. Сущность методов заключается в определении изменения массы, линейных размеров и механических свойств стандартных образцов пластмасс в ненапряженном состоянии и растрескивания их в напряженно-деформированном состоянии после выдержки в течение определенного периода времени в реагентах – жидких химических веществах, растворах твердых химических веществ и технических жидких средах (топливе, масле и т. п.). Результаты испыта-

ний, полученные по настоящему стандарту, позволили установить:

- сравнительную стойкость пластмасс в данной химической среде;
- сравнительную стойкость испытуемой пластмассы в различных химических средах;
- влияние введенных в пластмассу добавок на стойкость в данной химической среде или в нескольких химических средах.

Метод определения изменения массы образцов пластмасс после выдержки в химических реагентах также применяют для нахождения количества экстрагируемых веществ при воздействии на них химических реагентов [1]. Рекомендуемый перечень химических реагентов для определения стойкости полимерных материалов представлен в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1

Рекомендуемый перечень химических реагентов
Recommended list of chemical reagents

Наименование реагента	Концентрация, %
Кислота серная:	
по ГОСТ 4204–66	3; 30
по ГОСТ 4204–66, плотность 1,84 г/см ³	Концентрированная
Кислота азотная:	
по ГОСТ 4461–67	10; 40
по ГОСТ 4461–67, плотность 1,41 г/см ³	Концентрированная
Кислота соляная:	
по ГОСТ 3118–67	10
по ГОСТ 3118–67, плотность 1,19 г/см ³	Концентрированная
Кислота хромовая	40
Кислота фтористоводородная по ГОСТ 10484–63	40
Кислота уксусная по ГОСТ 61–69	5; 100
Кислота лимонная по ГОСТ 3652–69	10
Кислота олеиновая по ГОСТ 10475–63	100
Натрия гидрат окиси (натр едкий) по ГОСТ 4328–66	1; 10; 60
Натрий хлористый по ГОСТ 4233–66	10; 3

Окончание табл. 1

Наименование реагента	Концентрация, %
Натрия гипохлорит	10
Натрий углекислый по ГОСТ 84–66	2; 20
Аммиак водный:	
по ГОСТ 3760–64	10
по ГОСТ 3760–64, плотность 0,90 г/см ³	–
Водорода перекись (пергидроль) по ГОСТ 10929–64	3; 30
Ацетон по ГОСТ 26-03–71	100
Этилацетат по ГОСТ 8981–71	100
Спирт этиловый гидролизный высшей очистки	50; 96
Метанол-яд по ГОСТ 1942–63	100
Дихлорэтан технический по ГОСТ 1942–63	100
Углерод четыреххлористый по ГОСТ 5827–68	100
Гептан нормальный эталонный по ГОСТ 4375–48	100
Бензол по ГОСТ 5955–68	100

Характеристика оборудования для испытаний

Оборудование для испытаний включало прецизионные химические весы, микрометр, контейнер для иммерсионной среды, термостат для задания и поддержания необходимой температуры и приборы для измерений физических свойств. Размеры и тип испытуемого образца определяли формой материала, который предназначался для испытаний. При испытаниях в каждом реагенте требуются, по крайней мере, три образца. Для каждого образца измеряются изменения размеров и веса. Образец помещали в контейнер на семь суток в стандартной лабораторной атмосфере, причем он не должен касаться дна или стенок контейнера. После семидневной выдержки в жидкости образец вынимали из контейнера и взвешивали. Также измеряли его размеры. Этот же порядок испытаний сохраняется и в том случае, если проводятся измерения изменений механических свойств после пребывания в реагенте. Механические свойства исходных образцов и образцов после испытаний погружением в среду измеряли по стандартной процедуре, которая описана в соответствующей спецификации. К результатам испытаний относятся также наблюдения потери отражательной способности поверхности, набухание, образование мути, появление крейзов и пузырей.

В течение последних 20 лет полимерные материалы широко используются в различных

областях и повседневно находятся в контакте с самыми различными химическими соединениями [1–10]. Поэтому важно оценить, не оставляют ли эти соединения пятен на изделии, что особенно существенно в условиях домашнего применения. Методы испытаний, предложенные для оценки возможности образования пятен, относятся к случайному контакту с различными пачкающими агентами. Оценка влияния длительного контакта должна проводиться по другим методикам. Некоторые типы добавок могут оказывать существенное влияние на эффект образования пятен.

Для проведения испытаний необходимо иметь камеру, аппликатор, замкнутый контейнер для хранения маловязкой жидкости. Для испытаний использовали разнообразие загрязняющих реагенты. К числу наиболее популярных относятся: пищевые продукты, предметы косметики, растворители, моющие и чистящие средства, фармацевтические изделия, прохладительные напитки, желе, чай, кровь, кофе, отбеливающие вещества, крем для обуви, цветные мелки, губная помада, жидкость для удаления лака с ногтей и многие др.

Характеристика образцов для испытаний

Для проведения испытаний могут использоваться любые образцы, лишь бы они имели достаточно большую гладкую ровную поверхность, чтобы их можно было испытать и визуально наблюдать за результатами. Перед

началом испытаний любых декоративных ламинатов с термореактивным связующим необходимо протереть их шероховатой влажной тряпкой или пемзой, чтобы поверхность не была блестящей. Затем поверхность следует промыть мягким мылом. Испытуемый реагент наносится на образец с помощью аппликатора, при этом образуется тонкое покрытие. Если испытывается маловязкая жидкость, то образец надо погрузить в стеклянный контейнер, в который налита эта жидкость. Затем контейнер плотно закрывается, и образец выдерживается в жидкости

в течение 16 ч при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$. После завершения опыта избыточное количество химического реагента удаляется с образца, и результаты изучаются визуально. В зависимости от конкретных требований остаточные загрязнения (пятна) могут быть допустимыми или нет. Цвет пластмассы играет существенную роль в оценке пятна загрязнения. Поэтому при проведении эксперимента необходимо учитывать цвет изделия, для которого проводятся испытания.

Во многие композиции на основе полимеров входят соли различных металлов – свинца, меди, сурьмы, которые используются в виде пигментов, стабилизаторов, наполнителей и добавок иного назначения. Когда они контактируют с посторонними материалами, содержащими серу, например сероводородом, легко образуются пятна загрязнения. Так, если композиция на основе поливинилхлорида, содержащая в качестве стабилизатора свинец, смешивается с композицией, стабилизированной соединениями олова, в которые входит сера, то появляются совершенно отчетливо видимые пятна. К числу наиболее часто встречающихся посторонних агентов, содержащих серу, относятся резины, а также выбросы промышленных предприятий. Методика загрязнения соединениями серы изложена в стандарте ASTM D1712.

Испытания, в которых определяется стойкость пластмассы к образованию пятен под действием серосодержащих веществ, очень просты. Для этого достаточно иметь свежеприготовленный раствор сероводорода и испытуемый образец любых размеров и формы. Часть образца погружается в насыщенный раствор сероводорода на 15 мин. Для сравнения ис-

пользуется контрольный образец из другого материала, обладающий известным сопротивлением к образованию пятен под влиянием соединений серы. Через 15 мин испытуемый образец вынимается из раствора и сопоставляется с исходным и контрольным образцами на предмет образований пятен загрязнения.

Влияние подбора материала для конкретных условий его применения

Наиболее важный и трудный вопрос для инженера-конструктора – правильно подобрать материал для конкретных условий его применения. В этом отношении сопротивление воздействию химических веществ должно рассматриваться как одно из основных свойств при правильном выборе материала. Первичным и удобным источником информации относительно химического сопротивления полимера являются данные, публикуемые поставщиком материала. Такие данные обычно получают на основании простейших испытаний методом погружения. Для большинства полимеров, испытываемых под нагрузкой, характерно образование трещин в условиях длительного воздействия на них определенных жидкостей. Этот эффект имеет место даже в том случае, когда те же жидкости не вызывают образования трещин в ненапряженных образцах, так что простые испытания на погружение не дают адекватных результатов.

Важно понять природу воздействий, вызывающих образование трещин полимеров [1–5]. Вначале происходит замещение связей «полимер – полимер» на связи «полимер – растворитель» вследствие понижения когезионной энергии поверхностных слоев материала, на который воздействует жидкость. При этом вновь образовавшиеся связи «полимер – растворитель» не вносят вклад в прочность полимера. Если приложенные напряжения превысят когезионную прочность такого ослабленного слоя полимера, то происходит разрыв. Тип и количество разрывов зависят от характера распределения напряжений в материале. Далее растворитель проникает в глубь полимера, и трещина становится более резко выраженной.

Эффект образования трещин в напряженных образцах в той или иной мере присущ всем полимерам [1, 6–10]. Однако при этом сущест-

венно, чтобы действовали либо внешние, либо внутренние напряжения. Наибольшую сложность здесь представляют внутренние напряжения, возникшие при литье, поскольку практически невозможно полностью избавиться от этих напряжений. Можно лишь минимизировать их влияние путем правильного конструирования формы, оптимизации технологического режима и отжига изделия после его изготовления. При одновременном воздействии напряжений и химического агента можно установить такое «критическое напряжение», ниже которого растворитель не оказывает воздействия на полимер. Под критическим напряжением понимают такое минимальное напряжение, при котором обнаруживаются первые признаки образования трещин в образце, находящемся под воздействием химического агента.

Для определения уровня критического напряжения предложены два способа испытаний. Согласно первому из них, часто рассматриваемому как тест на оценку растворителя, используют обычную испытательную машину, с помощью которой осуществляется растяжение, и стандартный образец. Испытания состоят в том, что создаются растягивающие напряжения, и после этого образец немедленно подвергается воздействию растворителя. Это воздействие осуществляется либо разбрызгиванием жидкости по поверхности образца, либо протиранием поверхности тампоном, смоченным этой жидкостью. Воздействие продолжается в течение 1 мин, после чего образец рассматривается невооруженным глазом на предмет обнаружения следов образовавшихся трещин. Если трещины отсутствуют, то уровень напряжений повышается, и эксперимент повторяется. Полагается, что материал стоек в данной среде, если следов образования трещин не наблюдается вплоть до предела текучести.

Одним из недостатков этого метода является необходимость использования большого количества образцов для того, чтобы определить критическое напряжение. Другой фактор – насколько долго полимер подвергается действию химического агента. Вполне вероятно, что воздействие растворителя на полимер проявится только при достаточно длительной экспозиции. Поскольку на практике нецелесообразно проводить длительные эксперименты,

необходимой оказалась разработка ускоренного метода испытаний. Такой метод основывается на выполнении измерений либо при повышенной температуре, либо при более высоких напряжениях.

Как правило, не существует адекватной альтернативы испытанию изделия в реальных условиях применения. Однако лабораторные измерения могут дать полезную информацию относительно поведения материала, контактирующего с жидкостью, под действием различных напряжений. Значения критических напряжений, установленных для различных пар «полимер – растворитель», весьма полезны для оценки уровня остаточных напряжений в изделии.

Альтернативный метод оценки стойкости полимера, находящегося под действием напряжений, к образованию трещин обладает определенными преимуществами по сравнению с описанным выше. Согласно этому методу, образец размерами 4×1×0,03 дюйма прижимается к поверхности лекала, имеющей эллиптическую форму. Схема установки образца показана на рис. 1.

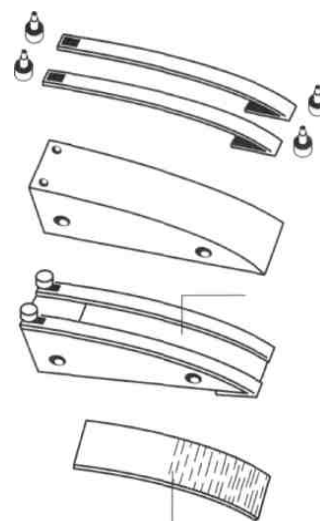


Рис. 1. Схема испытаний образца на стойкость к образованию трещин
Fig. 1. Scheme for testing a specimen for resistance against crack formation

Трещины возникают на определенной части образца, и точка, в которой трещины отсутствуют, отвечает критическому напряжению. Конкретное значение напряжения в этой точке

предварительно рассчитывается. Если по истечении 1 мин трещины вообще не образуются, то эксперимент повторяется при продолжительности погружения в жидкость, составляющей до нескольких часов. Испытания могут проводиться при повышенных температурах, что ускоряет процесс образования трещин. Важнейшее преимущество этого метода состоит в том, что в одном опыте на одном образце оценивается действие напряжений в широком диапазоне из значений.

Химическое сопротивление образца растрескиванию

Химическое сопротивление образованию трещин под воздействием окружающей среды определяется по стандартам ASTM D1693, ИСО 4599. Растрескивание под воздействием окружающей среды относится к испытаниям на хрупкое разрушение полиэтиленовых образцов, начинающееся с образования трещин на поверхности, или же на разрушение изделий под воздействием многоосного напряжения при контакте с внешней средой, в условиях, когда при отсутствии этой среды разрушение вообще бы не происходило. При таких испытаниях может появиться наложение внутренних и внешних напряжений, а в качестве внешней среды могут быть различные газообразные, жидкие, полутвердые и твердые вещества. Для того чтобы произошло разрушение под воздействием окружающей среды, необходимо выполнение нескольких условий. Во-первых, важнейшим фактором является присутствие концентрации напряжений или надреза. Нужно также, чтобы имелись напряжения – внутренние, сохранившиеся после изготовления изделия, или внешние. И, наконец, разрушение не происходит, если отсутствует внешний агент, под воздействием которого образуются трещины.

Образование трещин под действием окружающей среды не следует смешивать с иными случаями их образования, например под влиянием растворителя и высокой температуры. Появление трещин в изделиях из полиэтилена приводит к преждевременному их разрушению, что обусловлено присутствием моющих веществ, воды, солнечного света, масел или иных активных компонентов, встречающихся на практике, обычно в условиях, когда происхо-

дили сильные деформации изделия. Это явление имеет чисто физическую природу, причем набухание или иные явления, приводящие к ослаблению материала, отсутствуют.

Именно полиэтилен в наибольшей степени чувствителен к воздействиям такого рода, образуя крейзы или трещины под воздействием внешней среды. Рассматриваемое явление особенно характерно для полиэтиленовой изоляции кабелей, на которую часто наносят смазку, содержащую поверхностно-активные вещества, облегчающие сборку электрических схем. В этих случаях в полиэтилене, который в лабораторных условиях демонстрирует прекрасную стойкость к воздействию химических агентов, образуются глубокие трещины, проникающие вплоть до проводника.

Сопротивление полиэтилена воздействию химических реагентов может быть повышено увеличением его молекулярной массы, снижением напряжений путем выбора правильного технологического режима формования изделий и введением в состав композиций эластомеров. Кроме того, наблюдалось, что сужение молекулярно-вещного распределения заметным образом улучшало сопротивление полиэтилена образованию трещин по сравнению с материалами с теми же средними молекулярными массами и той же плотностью. Образование крупных кристаллических элементов структуры и ориентация материала усугубляют проблему.

Рассмотрим образец размерами 1,5×1,0 дюйма, который аккуратно вырезается с помощью острого лезвия и устройства гильотинного типа (рис. 2). Затем образец перегибается на 180° с тем, чтобы сторона, по которой производился надрез, оказалась наружной и была под прямым углом к линии перегиба. Образец устанавливали на держателе, смонтированном в испытательную трубку. Немедленно после этого в трубку заливали химический реагент, с которым проводили испытания. Этим реагентом может быть моющее вещество, мыльный раствор или любое органическое вещество. Трубку помещали в термостат, в котором поддерживали постоянную температуру: $(50 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ или $(100 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ – в зависимости от выбора условий испытания. После заданного времени образец вынимали из трубки и визуально определяли образование трещин.

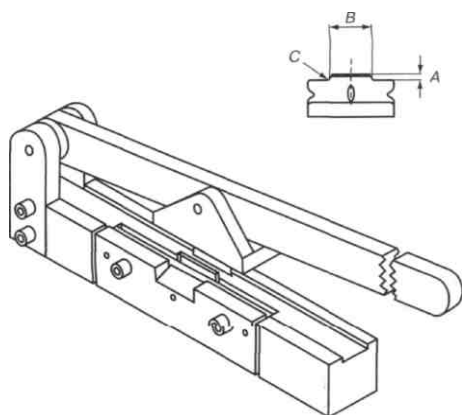


Рис. 2. Устройство для обрезания образцов

Fig. 2. Device for specimen cutting-off

Санитарно-гигиенические характеристики исследуемых образцов

Комплекс показателей, которые могут вызвать потенциальную опасность полимерных изделий для здоровья человека, и их соответствие гигиеническим требованиям, предъявляемым к материалам конкретного назначения, определяет санитарно-гигиеническую характеристику. Независимо от области применения полимерных материалов они должны удовлетворять общему требованию – не выделять в окружающую среду вредных веществ в количествах, вызывающих неблагоприятное действие на организм человека. Соответствие полимерных материалов санитарно-гигиеническим требованиям испытывают путем проведения:

- санитарно-химического исследования по идентификации и определению концентрации веществ, мигрирующих из материала в контактирующие с ним среды;
- токсикологического исследования по выявлению возможного токсического действия материала и содержащихся в нем химических веществ на организм.

К упаковочным материалам пищевой, косметической и фармацевтической продукции предъявляются наиболее жесткие требования. При выборе упаковочного материала для таких видов продукции в первую очередь следует обеспечить необходимый уровень санитарно-гигиенических характеристик. Обязательным условием применения упаковочного материала для указанной продукции должно быть наличие

гигиенического сертификата, подтверждающего физиологическую безвредность упаковки для человека (ранее основанием для применения материала для этих целей было разрешение, выдаваемое Министерством здравоохранения).

Санитарно-гигиенические требования включают следующие положения:

- в состав упаковочного материала не должны входить высокотоксичные вещества, обладающие кумулятивными свойствами и специфическим действием на организм (канцерогенность, мутагенность, аллергенность и др.);
- упаковочный материал не должен изменять органолептические и физиологические свойства продукции, а также выделять вредные вещества в количествах, превышающих допустимые с гигиенической точки зрения уровни миграции.

ВЫВОДЫ

1. При выборе методик исследования нужно учитывать комплекс показателей. В процессе санитарно-гигиенического исследования, проводимого специально сертифицированными для этой цели организациями, определяется, какие соединения и в каких количествах переходят (мигрируют) из упаковочного материала в контактирующую с ним пищевую или другую продукцию, потребляемую человеком. При выборе оборудования с целью упрощения испытаний, как правило, исследуют не конкретные пищевые продукты, а искусственные модельные среды, имитирующие свойства того или иного реального пищевого продукта. Для мяса и свежей рыбы при испытаниях применяют модельный раствор – дистиллированную воду, 0,3%-й раствор молочной кислоты; для молока, молочных продуктов – дистиллированную воду, 3%-й раствор молочной кислоты; для вареных колбас, мясных, рыбных и овощных консервов, маринованных и квашеных овощей – дистиллированную воду, 2%-й раствор уксусной кислоты, содержащий 2 % поваренной соли, нерафинированное подсолнечное масло и т. д. Для жирных продуктов в качестве модельных сред используют гептан, диэтиловый эфир, циклогексан, ацетон, парафиновое масло, какао-масло, синтетические полиглицериды. Органи-

ми здравоохранения регламентируются как предельно допустимая величина суммарной (интегральной) миграции в модельные среды (50–60 мг/кг продукта), так и нормативы миграции отдельных наиболее токсичных соединений (тяжелых металлов, органических растворителей, мономеров и других компонентов упаковочных материалов, красителей и др.).

2. В процесс выбора оборудования для определения комплекса гигиенической оценки упаковочного материала входят органолептические, санитарно-химические и токсикологические исследования. Органолептическая оценка (запах, привкус и др.) проводится комиссией на закрытой дегустации по трехбалльной системе (от 0 до 3): 0 – лучшая оценка; 1 – допустимая оценка; 2 и 3 – недопустимые или допустимые с ограничением. Наличие ярко выраженных дефектов материала, а также постороннего запаха 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 при определенных температурно-временных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения: ГОСТ 24888–81. М.: Изд-во стандартов, 1981. 18 с.
2. Максанова, Л. А. Высокомолекулярные соединения и материалы на их основе, применяемые в пищевой промышленности / Л. А. Максанова. М.: Колос, 2005. 213 с.
3. Avérous, L. Environmental Silicate Nano-Biocomposites, Green Energy and Technology / L. Avérous, E. Pollet. Лондон: Springer-Verlag, 2012. 450 p.
4. Полимерные пленки: пер. с англ. под ред. Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2006. 352 с.
5. Мэллой, Р. А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением / Р. А. Мэллой; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2008. 519 с.
6. Шварц О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф. В. Эбеллинг, Б. Фурт. СПб.: Профессия, 2005. 320 с.
7. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий: ГОСТ 14.004–83 (СТ СЭВ 2521–80). Взамен ГОСТ 14.004–74; введ. 01.07.1983. М.: Изд-во стандартов, 1983. 8 с.

8. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий: ГОСТ 3.1109–82 (СТ СЭВ 2064–79, СТ СЭВ 2522–80, СТ СЭВ 2523–80). Взамен ГОСТ 3.1109–73; введ. 01.01.1983. М.: Изд-во стандартов, 1982. 18 с.
9. Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и приборостроении. Основные термины, определения и обозначения: ГОСТ 23004–78. Введ. 01.01.79. М.: Изд-во стандартов, 1978. 25 с.
10. Пономарева, В. Т. Использование пластмассовых отходов за рубежом / В. Т. Пономарева, Н. Н. Лихачева, З. А. Ткачик // Пластические массы. 2002. № 5. С. 44–48.

Поступила 10.06.2016

Подписана в печать 29.08.2016

Опубликована онлайн 30.01.2017

REFERENCES

1. State Standard 24888–81 (1981). Plastic Materials, Polymers and Synthetic Resin. Chemical Names, Terms and Definitions. Moscow, Publishing House of Standards. 18 (in Russian).
2. Maksanova L. A. (2005) *High-Molecular Compounds and Materials on their Basis Which are Applied in Food Industry*. Moscow, Publishing House “Kolos”. 213 (in Russian).
3. Avérous L., Pollet E. (2012) *Environmental Silicate Nano-Biocomposites. Green Energy and Technology*. London, Springer-Verlag. 450. DOI: 10.1007/978-1-4471-4108-2.
4. Zaikov E. (Translation) (2006) *Polymer Films*. Saint-Petersburg, Professiya Publ. 352 (in Russian).
5. Malloy R. A. (2010) *Plastic Part Design for Injection Molding*. 2nd. Cincinnati, Hanser Publications. 472. DOI: 10.3139/9783446433748.fm.
6. Shvarts O., Ebeling F. V., Furt B. (2005) *Recycling of Plastic Materials*. Saint-Petersburg, Professiya Publ. 320 (in Russian).
7. State Standard 14.004–83 (1983) Technological Preparation of Production. Terms and Definitions of Basic Notions. Moscow, Publishing House of Standards. 8 (in Russian).
8. State Standard 3.1109–82 (1982) Unified System of Technological Documentation. Terms and Definitions of Basic Notions. Moscow, Publishing House of Standards. 18 (in Russian).
9. State Standard 23004–78 (1978) Mechanization and Automation of Technological Processes in Mechanical Engineering and Instrumentation. Moscow, Publishing House of Standards. 25 (in Russian).
10. Ponomareva V. T., Likhacheva N. N., Tkachik Z. A. (2002) *Abroad Application of Plastic Material Waste. Plastic Masses* [Plastic Masses], (5), 44–48 (in Russian).

Received: 10.06.2016

Accepted: 29.08.2016

Published online: 30.01.2017