

# Исследование структуры и свойств Structure and properties investigation

**Физические методы  
исследования и контроля**

**Physical methods  
of investigation and monitoring**

DOI: 10.26896/1028-6861-2017-83-11-29-34

УДК (UDC) 543–4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ПРИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОМ АНАЛИЗЕ

© Н. Я. Варкентин, О. А. Караваева

АО Чепецкий механический завод, г. Глазов, Россия; e-mail: NYVarkentin@rosatom.ru, nvarkentin@yandex.ru

*Статья поступила 28 апреля 2017 г.*

Рассмотрено применение защитных полимерных пленок в практике рентгенофлуоресцентного анализа. Обобщены данные нормативных документов в части требований к рентгеновским пленкам. Проведены обзор и сравнение физико-химических свойств пленок, реализуемых на территории России. На примере  $K\alpha$ -линий элементов Al, Si и Ti показано влияние типа применяемого полимера на поглощение интенсивности вторичной флуоресценции. Исследована зависимость интенсивности флуоресценции от атомного номера излучающего элемента для различных типов полимеров. Отмечена возможность использования хлор- и серосодержащих пленок в качестве фильтров вторичной флуоресценции. Приведены требования нормативных документов и фактические данные по разнотолщинности на примере полипропиленовой пленки. Рассчитаны снижения и колебания интенсивностей флуоресценции аналитических линий легких элементов в зависимости от неравномерности физико-химических свойств применяемых пленок. Приведена оценка влияния примесных элементов в материале полимера на интенсивность их аналитических линий. Проведен анализ эксплуатационных свойств пленок, на основе которого различные типы полимеров рекомендованы для определенных аналитических задач.

**Ключевые слова:** рентгеновская защитная пленка; ослабление интенсивности; полипропилен; полиэтилентерефталат; майлар; разнотолщинность.

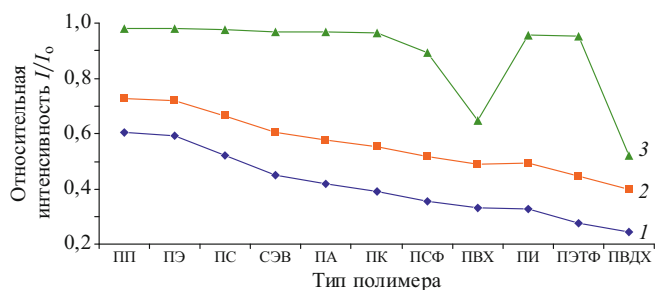
## PROTECTIVE POLYMER FILMS IN X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS

© N. Ya. Varkentin and O. A. Karavaeva

*Submitted April 28, 2017.*

Some aspects of using protective polymer films in practice of x-ray fluorescence are considered. Data of practice guidelines regulating the measurement procedure in part of the requirements for x-ray films, are summarized. Data of practice guidelines regulating the measurement procedure in part of the requirements regarding x-ray films, are summarized. A review and comparison of the physical and chemical properties of films presented on the Russian market are analyzed. The influence of the polymer type on the absorption of secondary fluorescence intensity is shown for the  $K\alpha$  lines of Al, Si, and Ti. The analysis of the dependence of fluorescence intensity on the atomic number of the radiating element is considered for different polymer types. Chlorine- and sulfur-containing films can be used as filters of secondary fluorescence. Regulatory requirements for different thicknesses of films and actually different thicknesses are specified for a polypropylene film. Decreases and fluctuations of the fluorescence intensity of the analytical lines of light elements are calculated as a function of the unevenness of physical and chemical properties of the films thus used. The influence of impurities present in the polymer material on the intensity of the analytical lines of these elements is estimated. Important from a practical point of view performance characteristics of the films are analyzed. Recommendations regarding the types of polymers are specified depending on the analytical tasks being solved.

**Keywords:** x-ray protective film; decrease in intensity; polypropylene; polyethylene terephthalate; Mylar; thickness difference.



**Рис. 1.** Относительная интенсивность  $I/I_0$  флуоресценции  $K\alpha$ -линий Al (1), Si (2) и Ti (3) в зависимости от материала пленки

При анализе порошковых проб, подготовленных как с использованием прессования, так и без него, для предотвращения их рассыпания и возможного выхода из строя рентгеновской трубки применяют тонкие защитные полимерные пленки. Размещаемые между окном трубки и поверхностью пробы они влияют на интенсивность регистрируемого вторичного излучения. Пленка рассеивает и поглощает аналитический и фоновый сигналы. Эффективность же пропускания излучения зависит от длины волны аналитической линии, толщины и материала пленки. При этом помимо коэффициента ослабления важны такие параметры, как механическая прочность и радиационная стойкость.

Цель работы — исследование свойств защитных полимерных пленок и применение их при рентгенофлуоресцентном анализе (РФА).

При РФА-анализе использование пленок, как известно, влияет на результаты измерений. Так полипропиленовые (ПП) пленки особенно прозрачны для длинноволнового излучения, так как не содержат кислорода [1]. Применение пленки из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) при регистрации излучения легких элементов нецелесообразно, поскольку она обладает более высоким коэффициентом поглощения. Интенсивность излучения натрия, прошедшего через ПП-пленку, в пять раз больше, чем в случае ПЭТФ той же толщины [2].

Использование пленок регламентировано. Так, при определении серы в углеводородных материалах РФА-методами при изменении типа и толщины пленки, а также при применении каждого нового рулона или партии пленки необходима повторная градуировка прибора [3, 4]. Согласно [5] применение полиэфирных (ПЭ), поликарбонатных (ПК) и полиимидных (ПИ) пленок предпочтительнее. Однако необходимо учитывать, что примеси или изменение толщины могут оказать влияние на результат измерения низкого содержания серы. Также в некоторых типах пленок возможно присутствие следовых количеств Si, Ca, S [6], Al, Ti, V и других элементов, входящих в состав катализаторов (триэтилалюминий, четыреххлористый титан и др.), применяемых при производстве полимерных материалов [7].

В табл. 1 приведены некоторые физико-химические характеристики полимерных пленок различного назначения [8 – 11], а также расчетные массовые коэффициенты ослабления интенсивности аналитических линий широко распространенных примесных элементов (Al, Si и Ti).

Отметим, что ПИ, ПА и ПСФ — обобщенные названия широкого класса полимеров, включающих десятки соединений (и, соответственно, марок пленок) [9 – 11]. Наиболее распространены следующие марки полимерных пленок (см. табл. 1): ПИ — марка ПМ, ПМ-А и ПМ-1 (на основе полипиромеллитимида); ПА — марка РА 6 (на основе капролактама); ПСФ — марка PES (на основе полиэфирсульфона).

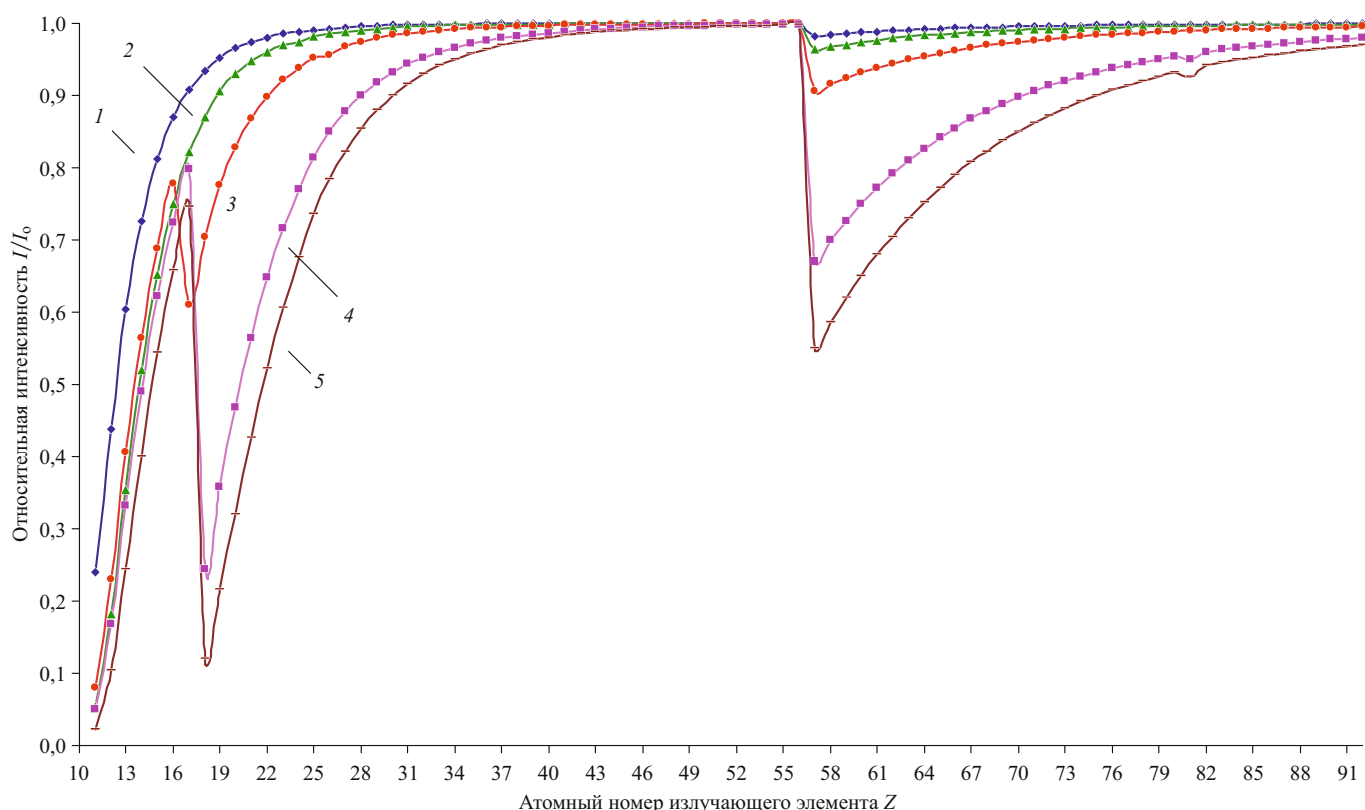
Степень поглощения пленкой вторичного флуоресцентного излучения зависит от типа химического соединения полимера, плотности и толщины пленки. Ослабление начальной интенсивности флуоресценции  $I_0$ , прошедшей через слой  $d$  материала (в том числе и рентгеновской пленки), описывает уравнение:

$$I = I_0 \exp(-\mu \rho d),$$

где  $\mu$  — массовый коэффициент поглощения материалом соответствующей линии флуоресценции,

**Таблица 1.** Физико-химические свойства полимерных материалов

| Полимер (маркировка, зарубежное наименование или торговая марка) | Химическая формула                                                            | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Массовый коэффициент ослабления аналитической линии $K\alpha$ , см <sup>2</sup> /г |     |     |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
|                                                                  |                                                                               |                              | Al                                                                                 | Si  | Ti  |
| Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)                              | (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>                                 | 0,94 – 0,96                  | 555                                                                                | 351 | 22  |
| Полипропилен (ПП, Prolen)                                        | (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>                                 | 0,90 – 0,91                  | 555                                                                                | 351 | 22  |
| Полиэтилентерефталат (ПЭТФ, Mylar или Hostaphan)                 | (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>                 | 1,35 – 1,40                  | 928                                                                                | 585 | 36  |
| Полиамид (ПА)                                                    | (C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> ON) <sub>n</sub>                              | 1,13 – 1,15                  | 763                                                                                | 482 | 30  |
| Полиимид (ПИ, Kapton)                                            | (C <sub>22</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> N <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> | 1,25 – 1,47                  | 821                                                                                | 518 | 32  |
| Поливинилхлорид (ПВХ)                                            | (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>                               | 1,30 – 1,50                  | 789                                                                                | 509 | 311 |
| Поликарбонат (ПК)                                                | (C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>                | 1,20                         | 786                                                                                | 496 | 31  |
| Полистирол (ПС)                                                  | (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>                                 | 1,05 – 1,13                  | 597                                                                                | 378 | 23  |
| Поливинилиденхлорид (ПВДХ)                                       | (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>                 | 1,59 – 1,71                  | 857                                                                                | 554 | 394 |
| Сополимер этилена с винилацетатом (СЭВ)                          | (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>                 | 0,92 – 0,95                  | 849                                                                                | 536 | 33  |
| Полисульфон (ПСФ)                                                | (C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> SO <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>                | 1,24                         | 836                                                                                | 530 | 90  |



**Рис. 2.** Расчетная зависимость относительной интенсивности  $I/I_0$   $K\alpha$ - и  $L\alpha$ -линий от атомного номера  $Z$  излучающего элемента (1 — ПП; 2 — ПЭТФ; 3 — ПСФ; 4 — ПВХ; 5 — ПВДХ)

$\text{см}^2/\text{г}$ ;  $\rho$  — плотность материала,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $d$  — толщина поглощающего слоя, см.

На рис. 1 представлена расчетная зависимость относительной интенсивности  $I/I_0$  флуоресценции  $\text{AlK}\alpha$ -,  $\text{SiK}\alpha$ - и  $\text{TiAlK}\alpha$ -линий от материала пленки (толщина 10 мкм).

Видно, что при определении легких элементов оптимально применение ПП- и ПЭ-пленок. По сравнению с ними широко распространенные ПЭТФ-пленки ослабляют интенсивность флуоресценции практически в два раза больше. Таким же большим ослаблением характеризуется пленка из ПИ, рекомендуемая для определения серы в нефтепродуктах только благодаря ее большей химической стойкости к органическим растворителям.

Очень существенно влияние ПВХ- и ПВДХ-пленок на ослабление коротковолнового излучения тяжелых элементов (например,  $\text{Ti}$ , см. рис. 1) за счет наличия атомов хлора. Это необходимо учитывать, хотя подобный тип пленок редко применяют в аналитических исследованиях.

На рис. 2 приведена расчетная зависимость относительной интенсивности  $I/I_0$   $K\alpha$ -линий [для  $Z$  от 11 ( $\text{Na}$ ) до 56 ( $\text{Ba}$ )] и  $L\alpha$ -линий [для  $Z$  от 57 ( $\text{La}$ ) до 92 ( $\text{U}$ )] от атомного номера  $Z$  излучающего элемента (толщина пленки 10 мкм).

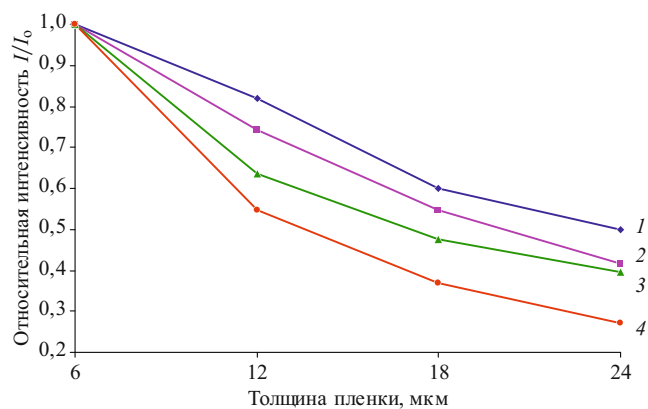
Видно, что интенсивность экспоненциально растет, достигая почти единицы, для «легких» пленок (на рис. 1 приведены данные только для ПП и ПЭТФ).

Благодаря наличию в структуре молекул более тяжелых атомов соответственно  $\text{S}$  и  $\text{Cl}$  ПСФ и ПВХ/ПВДХ имеют пики поглощения флуоресценции в областях  $Z$  17–25 (для  $K\alpha$ -линий) и 57–67 (для  $L\alpha$ -линий), что можно использовать, применяя эти пленки в качестве фильтров вторичной флуоресценции для уменьшения эффекта, связанного с наложением аналитических линий.

В процессе производства толщина пленки всегда имеет некоторые отклонения от номинала (разнотолщинность). Допускается отклонение от номинальной толщины  $\pm 10\%$  [12–15], а ПЭ-пленки —  $\pm 20\%$  [16].

**Таблица 2.** Толщины образцов рентгеновской ПП-пленки

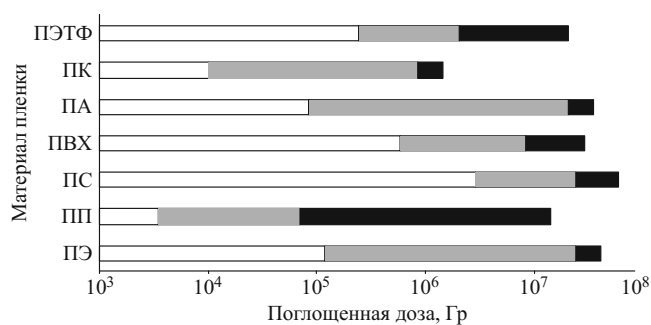
| Номинальная толщина в партии пленки, мкм | Разброс действительных значений толщины в образцах, мкм | Среднее, мкм | Относительное среднеквадратическое отклонение толщины, % |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|
| 4                                        | 3,9 – 4,0                                               | 4,0          | 1,3                                                      |
|                                          | 4,0 – 4,2                                               | 4,1          | 1,8                                                      |
|                                          | 3,9 – 4,0                                               | 4,0          | 1,2                                                      |
| 6                                        | 5,5 – 6,0                                               | 5,9          | 2,9                                                      |
|                                          | 6,0 – 6,2                                               | 6,0          | 1,4                                                      |
| 10                                       | 9,9 – 10,0                                              | 10,0         | 0,5                                                      |
|                                          | 10,0                                                    | 10,0         | 0                                                        |
|                                          | (по всей площади)                                       |              |                                                          |
|                                          | 10,0                                                    | 10,0         | 0                                                        |
|                                          | (по всей площади)                                       |              |                                                          |



**Рис. 3.** Относительная интенсивность  $I/I_0$  флуоресценции в зависимости от толщины пленки (1 и 3 — ПЭТФ (SiKα- и AlKα-линии); 2 и 4 — ПП (AlKα- и SiKα-линии))

Динамика непрерывного процесса экструзионного формирования определяет быстро и медленно меняющуюся разнотолщинность пленки по длине. В первом случае временной период колебания толщины достигает 100 с. Причиной «быстрой» продольной разнотолщинности может быть, например, неравномерная во времени подача расплава полимерного материала из щели фильеры вследствие пульсации несовершенных экструзионных прессов или систем дозирования, колебаний температуры, дрейфа охлаждающего воздуха. Относительно скоротечные процессы изменения толщины могут также вызываться нестабильностью пленочного рукава, ошибками системы регулирования диаметра рукава или несовершенной конструкцией системы внутреннего охлаждения, большими вариациями скорости тянущих или охлаждающих валов, повышенной температурой зоны загрузки и др. «Медленная» продольная разнотолщинность, при которой изменения толщины занимают часы и даже дни, чаще всего связана с загрязнением фильтров расплавом полимерного материала и его неоднородностью, а также, например, с неисправностями системы охлаждения пленочного рукава [17].

Толщину рентгеновских ПП-пленок измеряли вертикальным оптиметром ИКВ-3 в разных местах образца (размер соответствовал требуемому для покрытия прессованной таблетки с пробой). Полученные результаты (табл. 2) подтверждают фактическое наличие разнотолщинности. Наиболее стабильная разнотолщинность зафиксирована в партии пленки номинальной толщиной 10 мкм. Для более тонких пленок от-



**Рис. 4.** Пороговые значения доз для необратимых радиационных изменений прочности при растяжении пленок (□ — незначительные изменения; ■ — уменьшение в пределах 25 %; ■ — сильное уменьшение вплоть до разрушения)

клонения толщины достигали 3 % от номинального значения.

За счет вращения пробы разнотолщинность в пределах одного образца пленки играет незначительную роль в искажении интенсивности флуоресценции легких элементов. При применении рентгеновских пленок из разных партий «медленная» продольная разнотолщинность при прочих равных условиях может существенно повлиять на результат измерения.

Отметим, что требования потребителей в полиграфической и упаковочной отраслях гораздо жестче условий, определенных государственными стандартами. Например, допуск по толщине термоусадочных пленок, предназначенных для скоростного полуавтоматического упаковывания, составляет  $\pm 4 - 6$ , а разброс толщин пленок для ламинирования —  $\pm 2$  % [17].

Помимо разнотолщинности, материалу пленок свойственно и непостоянство плотности. Так, плотность ПЭТФ меняется от 1,332 (аморфная) до 1,515 г/см<sup>3</sup> (кристаллическая структура). Плотность же ПЭТФ-пленок находится в диапазоне 1,37 – 1,40 г/см<sup>3</sup> и зависит от молекулярной массы исходного полимера и технологических параметров изготовления (в первую очередь температурного режима кристаллизации).

В табл. 3 приведены расчетные отклонения интенсивности флуоресценции (AlKα-линия) при отклонении плотности и толщины от номинальных значений.

Видно, что неравномерность физико-химических характеристик может вносить заметный вклад в погрешность измерения концентрации легких элементов. Так, из-за колебаний плотности и толщины ( $\pm 2,0$  и  $\pm 1,5$  %) широко применяемой ПЭТФ-пленки отклонение интенсивности вторичной флуоресценции дос-

**Таблица 3.** Расчетное отклонение интенсивности AlKα-линии при отклонениях номинальных характеристик пленки

| Тип полимерного материала | Плотность, г/см <sup>3</sup> |               | Толщина, мкм |               | Отклонение от интенсивности при номинальных характеристиках, % |
|---------------------------|------------------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------------------------------------------------|
|                           | Номинальная                  | Отклонение, % | Номинальная  | Отклонение, % |                                                                |
| ПП                        | 0,91                         | $\pm 2,0$     | 10           | $\pm 1,5$     | $\pm 1,8$                                                      |
| ПК                        | 1,20                         |               |              |               | $\pm 3,3$                                                      |
| ПЭТФ                      | 1,37                         |               |              |               | $\pm 4,4$                                                      |

Таблица 4. Физико-химические свойства полимерных пленок, полезные при РФА-анализе

| Тип полимерного материала                                       | Температура плавления, °C | Температура деструкции, °C | Прочность при растяжении, кгс/см <sup>2</sup> | Относительное удлинение, % |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| ПЭТФ                                                            | 255 – 265                 | Более 300                  | 1400 – 2900                                   | 60 – 180                   |
| ПП (неориентированная пленка изоактической структуры)           | 165 – 170                 | Более 300                  | 300 – 400                                     | 400 – 800                  |
| ПП (ориентированная пленка изоактической структуры)             |                           |                            | 1000 – 2000                                   | 15 – 50                    |
| ПК (промышленных марок на основе 2,2-бис-(4-оксифенил) пропана) | 220 – 270                 | Более 330                  | 560 – 780                                     | 50 – 110                   |

тигает  $\pm 4,4$  % от интенсивности, регистрируемой при номинальных значениях.

На изменение флуоресценции также влияет содержание воды в полимерном материале. «Свободный объем» в полимере (например, внутри ПИ-пленки объем пор может составлять  $6 \pm 1$  %) — место, куда диффундируют вода, ее пары и другие вещества [18]. ПЭТФ способен поглощать до 2 % воды, а в ПА-матрице объемная доля фазы свободной воды составляет около 4 % [19, 20].

При концентрации измеряемых элементов на уровне процентов примеси играют незначительную роль, однако при содержании  $\sim 10^{-2} - 10^{-3}$  % их вклад в общую интенсивность флуоресценции может быть существенным.

На рис. 3 приведена зависимость относительной интенсивности  $I/I_0$  флуоресценции AlK $\alpha$ - и SiK $\alpha$ -линий от толщины пленки (проба — фтористая соль циркония, содержание Al и Si в пробе — 0,001 и 0,008 %). Толщину имитировали наложением нескольких слоев ПП- и ПЭТФ-пленок (исходная толщина — 6 мкм).

При увеличении толщины пленки интенсивности флуоресценции AlK $\alpha$ - и SiK $\alpha$ -линий снижаются, а характер снижения в целом согласуется с приведенным ранее уравнением. Можно утверждать, что даже в случае присутствия в пленках Al и Si их содержание настолько мало, что флуоресценция полностью поглощается собственным материалом пленки.

Помимо поглощающих свойств при практическом использовании важны и другие качества пленок, например, радиационная стойкость, характеризующая способность полимера противостоять воздействию ионизирующего излучения. При радиационном воздействии различают два вида необратимых процессов, вызывающих наиболее значительные изменения свойств полимерных материалов: деструкция (процесс разрыва главной цепи полимера, распада узлов пространственной сетки и отрыва боковых групп, сопровождающийся уменьшением средней молекулярной массы полимера) и сшивка (процесс образования химических связей и пространственно сшитой структуры, сопровождающийся, напротив, увеличением молекулярной массы). Оба процесса происходят обычно одновременно, однако их эффективность зависит от вида полимера. Полимеры, указанные в табл. 1, за исключением ПВДХ [21], относятся к преимущественно деструктирующим видам.

Радиационная стойкость количественно характеризуется пороговым значением поглощенной дозы ионизирующего излучения, при которой полимерный материал становится непригодным к применению. На рис. 4 приведены пороговые значения доз для необратимых радиационных изменений прочности при растяжении пленок.

Видно, что из наиболее широко применяемых на практике ПП наименее стоек при облучении, а ПЭТФ обладает гораздо более лучшими показателями. Отметим, что максимальной радиационной стойкостью характеризуются ПИ [11, 21] (на рис. 4 не приведены).

В табл. 4 приведены физико-химические эксплуатационные свойства полимерных пленок, полезные при их использовании в РФА-анализе [22].

Таким образом, высокие прочностные характеристики позволяют широко использовать ПЭТФ-пленку при выполнении массовых анализов, однако при измерении интенсивности флуоресценции легких элементов, содержащихся в пробе на уровне предела определения, лучше применять ПП-пленку, как обладающую минимальными поглощающими свойствами. Вместе с тем ПП следует использовать с известной осторожностью, чтобы исключить разрыв и расплавление пленки при длительных экспозициях на мощных рентгеновских трубках.

## ЛИТЕРАТУРА

- Афонин В. П., Гуничева Т. Н., Пискунова Л. Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. — Новосибирск: Наука, 1984. — 227 с.
- Артамонов Д. О., Иванов П. А., Орлова О. В. Применение метода фундаментальных параметров при определении химического состава пластовых вод на рентгенофлуоресцентном спектрометре / Литология, петрография, минералогия, геохимия. 2013. № 1(13). С. 79 – 84.
- ГОСТ Р 51947–2002. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии. — М.: Госстандарт, 2002. — 12 с.
- ГОСТ Р ЕН ИСО 20847–2010. Определение содержания серы в автомобильных топливах методом рентгенофлуоресцентной энергодисперсионной спектрометрии. — М.: Стандартинформ, 2012. — 16 с.
- СТБ 1420–2003. Определение содержания серы методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. — Минск: НП РУП БелГИСС, 2003. — 13 с.
- ГОСТ Р 52660–2006. Метод определения содержания серы рентгенофлуоресцентной спектрометрией с дисперсией по длине волны. — М.: Стандартинформ, 2007. — 15 с.
- Воробьев В. А., Андрианов Р. А. Технология полимеров. Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1980. — 303 с.
- Донцова Э. П. Сравнительная оценка свойств и перспективы применения биаксиально-ориентированных полимерных пленок в России / Полимерные материалы. 2006. № 6. С. 14 – 20.



9. Барвинский И. А., Барвинская И. Е. Литье пластмасс. — М.: Инженерная фирма АБ Универсал, 2005.
10. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В. Полиимиды — класс термостойких полимеров. — М.: Наука, 1983. — 328 с.
11. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. — СПб.: Профессия, 2006. — 624 с.
12. ГОСТ 27386–87. Материалы электроизоляционные пленкосоудержающие. Общие технические условия. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 15 с.
13. ГОСТ 25250–88. Пленка поливинилхлоридная для изготовления тары под пищевые продукты и лекарственные средства. Технические условия. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 24 с.
14. ГОСТ 12998–85. Пленка полистирольная. Технические условия. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. — 12 с.
15. ГОСТ 24234–80. Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия. — М.: Стандартиформ, 1992. — 18 с.
16. ГОСТ 10354–82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия. — М.: Стандартиформ, 2007. — 23 с.
17. Смышляев А. Р., Бердышев Б. В., Губерман Ф. Коррекция толщины полимерных пленок в процессе их изготовления / Полимерные материалы. 2007. № 11. С. 6–12.
18. Роуленд С. Вода в полимерах. — М.: Мир, 1984. — 555 с.
19. Сажин Б. С., Дмитриева Л. Б., Сажин В. Б. Сорбционная способность и влияние сорбируемой влаги на структуру полиэтилентерефталата / Успехи в химии и химической технологии. 2008. Т. 22. № 4. С. 115–118.
20. Тутов Е. А., Бормонтов Е. Н., Павленко М. Н. МДП структура с полиамидным диэлектриком в условиях сорбции паров воды / Журнал технической физики. 2005. Т. 75. № 8. С. 85–89.
21. Милинчук В. К., Тупиков В. И. Радиационная стойкость органических материалов. Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 272 с.
22. Каргин В. А. Энциклопедия полимеров. — М.: Советская энциклопедия, 1972.
5. State Standard STB 1420–2003. Determination of sulphur content by the method of x-ray fluorescent spectrometry. — Minsk: NP RUP BelGISS, 2003. — 13 p. [in Russian].
6. State Standard GOST R 52660–2006. A method of determining of sulphur content by the x-ray fluorescent spectrometry with dispersion along wavelength. — Moscow: Standartinform, 2007. — 15 p. [in Russian].
7. Vorob'ev V. A., Andrianov R. A. Polymer technology. Textbook for high schools. — Moscow: Vysshaya shkola, 1980. — 303 p. [in Russian].
8. Dontsova É. P. Comparative evaluation of properties and prospects of application of biaxial oriented polymeric films in Russia / Polimer. Mater. 2006. N 6. P. 14–20 [in Russian].
9. Barvinskii I. A., Barvinskaya I. E. Casting of plastics. — Moscow: Izd. Inzhenernaya firma AB Universal, 2005.
10. Bessonov M. I., Koton M. M., Kudryavtsev V. V. Polyimides are a class of heat-resistant polymers. — Moscow: Nauka, 1983. — 328 p. [in Russian].
11. Mikhailin Yu. A. Heat-resistant polymers and polymeric materials. — St. Petersburg: Professiya, 2006. — 624 p. [in Russian].
12. State Standard GOST 27386–87. MElectric insulating and film containing materials. General technical conditions — Moscow: IPK Izd-vo standartov, 1999. — 15 p. [in Russian].
13. State Standard GOST 25250–88. PVC film for manufacturing of packing for food and medicines. Technical conditions. — Moscow: Izd-vo standartov, 1989. — 24 p. [in Russian].
14. State Standard GOST 12998–85. Polystyrene film. Technical conditions. — Moscow: IPK Izd-vo standartov, 1985. — 12 p. [in Russian].
15. State Standard GOST 24234–80. Polyethylene terephthalate film. Technical conditions. — Moscow: Standartinform, 1992. — 18 p. [in Russian].
16. State Standard GOST 10354–82. Polyethylene film. Technical conditions. — Moscow: Standartinform, 2007. — 23 p. [in Russian].
17. Smyshlyaev A. R., Berdyshev B. V., Guberman F. Correction of polymer film thickness during the production process / Polimer. Mater. 2007. N 11. P. 6–12 [in Russian].
18. Rowland S. Water in polymers. — Moscow: Mir, 1984. — 555 p. [Russian translation].
19. Sazhin B. S., Dmitrieva L. B., Sazhin V. B. Sorption capacity and the effect of hygroscopic water on structure of polyethylene terephthalate / Usp. Khimii Khim. Tekhnol. 2008. Vol. 22. N 4. P. 115–118 [in Russian].
20. Tutov E. A., Bormontov E. N., Pavlenko M. N. MIS structure with polyamide dielectric under conditions of sorption of water vapour / Zh. Tekhn. Fiz. 2005. Vol. 75. N 8. P. 85–89.
21. Milinchuk V. K., Tupikov V. I. Radiating stability of organic materials. The directory. — Moscow: Énergoatomizdat, 1986. — 272 p. [in Russian].
22. Kargin V. A. The encyclopedia of polymers. — Moscow: Sovetskaya éntsiklopediya, 1972 [in Russian].

## REFERENCES