

ков, В.В. Анохин, Е.Ф. Маслов // Пожаровзрывобезопасность – 2016, № 2. – С. 5–9.

5. Дмитриев В.В. Напольные покрытия как неотъемлемая часть интерьера медицинских учреждений / В.В. Дмитриев // Поликлиника – 2015, № 4. – С. 18–20.

6. Альмембаев М.М. Пожарная опасность объектов культуры с материалами и конструкциями из древесины и лакокрасочными покрытиями. 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Миржан Маратович Альмембаев. – Москва, 2015. – 200 с.

7. Манаева А.Р. Программа поддержки принятия решений при выборе пожаробезопасных напольных покрытий для жилых зданий / А.Р. Манаева // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614077; заявка № 2017611115; дата постановки 13.02.2017 г.; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 6.04.2017 г.

#### The Analysis of Fire Danger of Social Facilities with Use as Floor Coverings of Linoleum on the Basis of Polyvinyl Chloride

A.R. Manaeva, teacher of department of health and safety of the Surgut State University; Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Surgut

e-mail: chem88@ya.ru

**Summary.** In article influence of floor coverings on increase in fire loading of buildings and constructions

of social appointment is considered. It is shown that combustible floor coverings in case of fire cause smoke of ways of evacuation, thereby reducing visibility and causing a condition of «panic».

**Keywords:** buildings and constructions, floor coverings, evacuation at the fire.

#### References:

1. Makhviladze G.M., Shamshin A.V., Yakush S. E., Zykov A.P. A pilot and numerical study of the non-stationary phenomena at the fires indoors. *Physics of burning and explosion*. 2006. Volume 42. No. 6. pp. 112–120.

2. Eremina T.Yu., Konstantinova N.I., Grigorieva M.P. Methodology of assessment of characteristics of fire danger of floor coverings in Russia and EU countries. *Construction materials, equipment, technologies of the 21st century*. 2014. No. 5. pp. 33–37.

3. Plotnikova G.V., Volkova A.I., Seleznyev V.Yu., Kovalko A.S. Assessment of fire danger of floor coverings by production of fire investigation. *Bulletin of the East Siberian institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*. 2013. No. 3 (66). pp. 76–83.

4. Kolesnikov E.Yu., Anokhin V.V., Maslov E.F. Main problems of methodology of the analysis of risk of accidents. *Explosion fire safety*. 2016. No. 2. pp. 5–9.

5. Dmitriev V.V. Floor coverings as integral part of an interior of medical institutions. *Policlinic*. 2015. No. 4. pp. 18–20.

6. Almembraev M.M. Fire danger of objects of culture with materials and designs from wood and paint and varnish coverings. Fire and industrial safety. *The thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences*. 2015. Moscow 200 p.

7. Manaeva A.R. The program of support of decision-making at the choice of fireproof floor coverings for residential buildings. *Certificate on the state registration of the computer program No. 2017614077; application No. 2017611115; date of statement 2/13/2017; it is registered in the Register of the computer programs 4/6/2017.*

## Применение рентгеноструктурного анализа при определении компонентного состава в моделях терморазрушения

### А.Р. Манаева

преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности Сургутского Государственного Университета; ХМАО-Югра, г. Сургут

e-mail: chem88@ya.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрено применение рентгеноструктурного анализа для определения компонентного состава напольных покрытий, а также определения степени кристалличности. Определена связь между ды-

мообразующей способностью и составом НП, а также вид дымоподавителей при различном температурном воздействии.

**Ключевые слова:** здания и сооружения, напольные покрытия, дымообразующая способность.

При развитии пожара в помещении материалы покрытий полов, находясь в зоне относительно низких температур, воспламеняются и горят в последнюю очередь. Воздействие пожара приводит к их термическому разложению, при котором выделяется большое количество токсичных газообразных



веществ и дыма. Напольные покрытия (НП) при возникновении пожара – это основной источник опасности для людей. Учитывая, что НП по своей химической природе представляют собой полимерные композиции, в состав которых входят горючие и легко воспламеняющиеся вещества с высокой дымообразующей способностью и токсичностью продуктов горения, можно спрогнозировать их негативное влияние на пожарную опасность объектов социального назначения, снизить реальную угрозу для жизни и здоровья людей при возникновении пожара [1].

Известно [2], что, подбирая необходимую степень кристаллизации полимера, можно добиться улучшения эксплуатационных характеристик изделия из полимерных материалов, оптимизировать процесс производства. Одним из наиболее современных и эффективных методов определения фазового состава и степени кристалличности является метод рентгеноструктурного анализа (РСА). Главной задачей РСА является изучение строения элементарной кристаллической ячейки: определение симметрии, параметров элементарных ячеек, координат атомов, энергетических параметров атомов, длин связей и углов между атомами [3]. Определение фазового состава основано на том, что каждая фаза имеет определенную кристаллическую структуру с определенными периодами решетки. Дифракционная картина многофазной системы представляет собой наложение дифракционных картин отдельных фаз. При этом интенсивность линий пропорциональна количеству данной фазы в образце. Метод РСА также позволяет определить степень кристалличности, под которой понимают отношение объема кристаллической части полимера к общему объему полимера. Также методом РСА возможно установить атомную структуру вещества. Для этого требуется определить конфигурацию ячейки, группу симметрии и координаты атомов структуры. Определить группу симметрии и координаты базисных атомов можно, вычислив интенсивности дифракции по всем направлениям движения  $(x, y, z)$ . Периодичность в конфигурации ячейки позволяет определить электронную плотность через ряд Фурье:

$$\rho(x, y, z) = \frac{1}{V} \sum F_{hkl} \cdot \exp[-2\pi i(hx + ky + lz)], \quad (1)$$

где  $V$  – объем элементарной ячейки;  $F_{hkl}$  – коэффициенты Фурье, структурные амплитуды.

С помощью уравнения (1) можно собрать значения дифракции по всем направлениям движения в ячейке и получить изображение строения атома.

Рентгеновский луч является плоской монохроматической электромагнитной волной, которая вызывает движение электронов в атомах. Это в свою очередь вызывает образование сферических электромагнитных волн, для которых характерна интерференция. При встрече волны с тем кристаллом, ориентация которого по отношению к падающему излучению удовлетворяет закону Вульфа-Брэгга [4] (уравнение (2)), происходит отражение лучей от каждого направления движения в кристалле.

$$2d \sin \varphi = n\lambda \quad (2)$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние в кристалле;  $\varphi$  – угол между плоскостями кристалла и падающими и отраженными рентгеновскими лучами;  $n$  – порядок дифракционного максимума.

В качестве объектов исследования были использованы образцы НП на основе поливинилхлорида (ПВХ) фирмы «ТАРКЕТТ» («Tango-4», «Moda-602», «Acczent timber»). Стандартные образцы и анализируемые пробы для РСА готовили следующим образом: образцы представляли собой круги диаметром около 25 мм, располагались лицевой стороной к источнику излучения. Время экспозиции 60 с, сила тока 212 мА. РСА проводили с помощью дифрактометра ДРОН-4-07 в  $Cu-K\alpha$  ( $\lambda = 0,154060$  нм) излучении с графитовым монохроматором на дифрагированном пучке при напряжении 45 кВ и силе тока 40 мА. Съемку дифрактограмм осуществляли с шагом  $0,02^\circ$  и временем выдержки 5 секунд для каждого шага. Анализ дифрактограмм выполнялся с использованием программы MAUD (метод Ритвельда). Идентификацию фаз проводили с использованием порошковой базы данных PDF-2. Дифракционную картину получали с помощью рентгеновского дифрактометра с фокусировкой по Бреггу-Брентано (рис. 1).

При съемке на дифрактометре образец закрепляется в центре гониометра – устройства, измеряющего углы поворота образца и счетчика. На образец направляется пучок лучей из источника, находящегося на окружности гониометра. Для из-

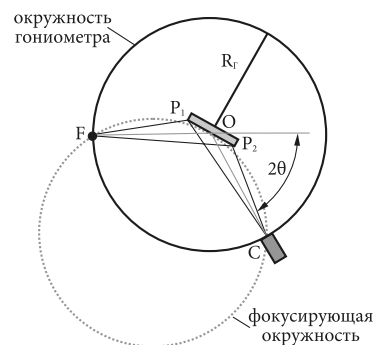


Рис. 1. Ход лучей в дифрактометре с фокусировкой по Бреггу-Брентано  
O – образец, F – фокус трубки, C – счетчик

мерения интенсивности дифрагированных лучей используют счетчик. Угол поворота счетчика  $2\theta$  измеряется от направления прошедшего пучка. Смещаясь каждый раз на определенный угол  $\Delta 2\theta$ , счетчик производит в каждой точке дифракционного спектра измерение интенсивности [4]. При повороте счетчика на угол  $2\theta$  регистрируется отражение от плоскостей  $\{hkl\}_i$ , для которых выполняется условие дифракции:

$$2d_{hkl}\sin\theta_1 = n\lambda. \quad (3)$$

Рентгенограмма записывалась в виде зависимости интегральной интенсивности дифракции от угла  $2\theta$ . Степень кристалличности полимеров определяли по формуле [3]:

$$\chi_c = \frac{(I - I_a) - K}{(I_c - I_a)_i}, \quad (4)$$

где  $I$  – интенсивность рассеяния от исследуемого образца;  $I_a$  – интенсивность рассеяния от аморфного эталонного образца;  $I_c$  – интенсивность рассеяния от кристаллического эталона;  $K$  – константа, которую определяют по наклону кривой зависимости  $I - I_a$  от  $I_c - I_a$ ;  $\chi_c$  – степень кристалличности.

$$\frac{S_{кр.} \cdot 100}{S_{общ.}} = \frac{S_{кр.} \cdot 100}{S_{кр.} + S_{ам}}, \quad (5)$$

где  $S_{кр.}$  – площадь кристаллической части;  $S_{ам}$  – площадь аморфной части.

Простейший вариант эксперимента в РСА: анализируемый объект помещается в пучок рентгеновских лучей и измеряется интенсивность рассеянного излучения (рис. 2).

У всех видов линолеума состав середины представлял собой аморфно-кристаллическую структуру из поливинилхлорида и наполнителя. У образца «Мода-602» наполнитель на основе карбоната кальция ( $CaCO_3$ ); у образца «Акцент тимбер» наполнитель также на основе карбоната кальция ( $CaCO_3$ ) с небольшими включениями гидроксида алюминия

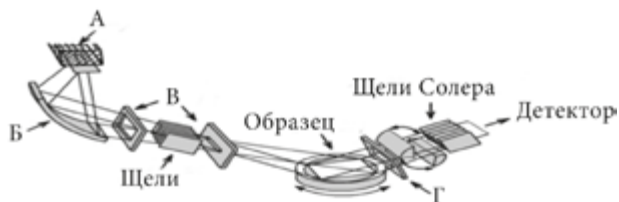


Рис. 2. Оптическая схема порошкового рентгеновского дифрактометра (по Пушаровскому Д.Ю.):

А – рентгеновская трубка; Б – монохроматор; В – ограничивающие щели; Г – приемная щель

$Al(OH)_3$ ; он входит в состав каолинита. У образца «Танго-4» наполнитель также на основе карбоната кальция ( $CaCO_3$ ). Покрытие у всех исследуемых образцов представляет собой аморфно-кристаллическую структуру, состоящую из ПВХ. Низ у всех изученных образцов представляет собой аморфно-кристаллическую структуру, хотя степень кристалличности больше, чем в середине. Также имеются небольшие включения гиббеита (рис. 3-5).

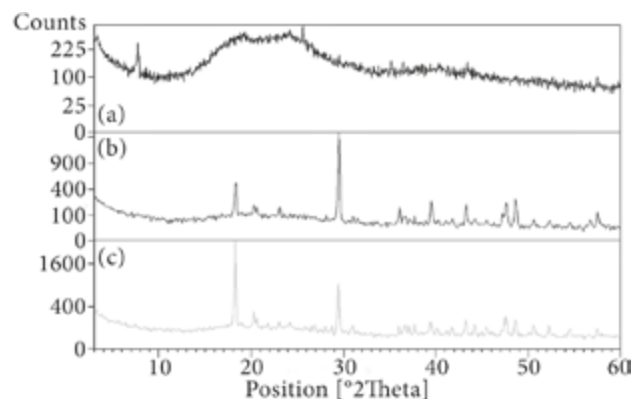


Рис. 3. Дифрактограмма образца «Акцент тимбер» (съемка с трех плоскостей: а – покрытие; б – середина; с – нижняя часть)

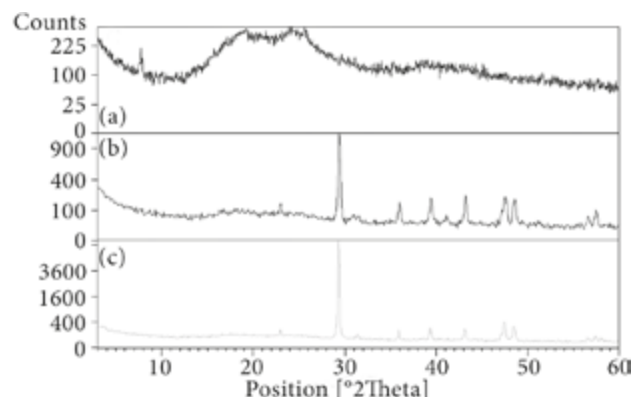


Рис. 4. Дифрактограмма образца «Мода-602» (съемка с трех плоскостей: а – покрытие; б – середина; с – нижняя часть)

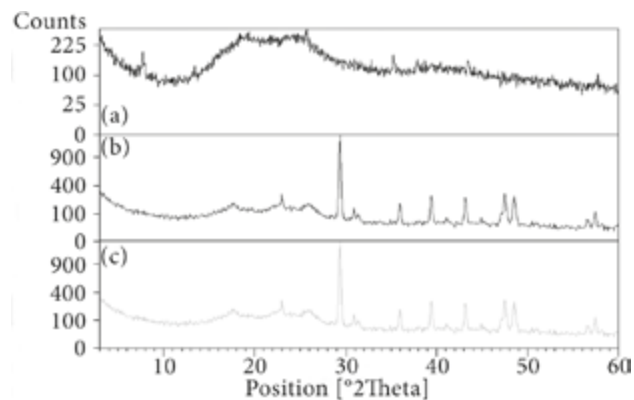


Рис. 5. Дифрактограмма образца «Танго-4» (съемка с трех плоскостей: а – покрытие; б – середина; с – нижняя часть)



По дифрактограмме видно: два аморфных гало и группа кристаллических пиков над ними, которые соответствуют ПВХ, и мелкие пики, которые соответствуют каолину. В образце «Мода-602» большой кристаллический пик на  $30,5^\circ$ , это, скорее всего, кристаллы кальцита в верхнем слое. Степень кристалличности для образца «Мода-602» равна 14,687%; «Акцента тимбер» – 5,38%; «Танго-4» – 8,701%. Расчеты проводили с использованием программного пакета PDXL (рис. 6).

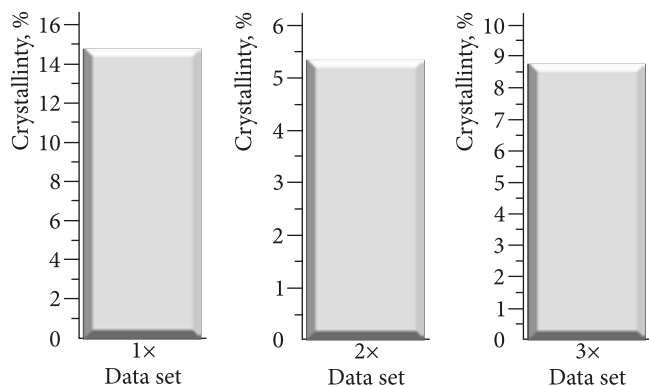


Рис. 6. Пример использования программного пакета PDXL для расчета степени кристалличности образцов (слева образец «Мода-602», в центре – «Акцент тимбер», справа – «Танго-4»)

В работе [5] определялась дымообразующая способность данных марок НП. Определена связь между дымообразующей способностью и составом НП. При температурном воздействии в диапазоне  $200...300^\circ\text{C}$  материалы обладают умеренной дымообразующей способностью (Д2). Предположительно это связано с наличием в составе дымоподавителей, определенных методом PCA. Главным образом это соли и оксиды переходных металлов (титана, меди и железа), которые, действуя в конденсированной фазе, вызывают сильный разогрев и почти полное экзотермическое сгорание твердого остатка без дымовыделения. Выявленные в значительных концентрациях соединения молибдена и цинка изменяют механизм деструкции ПВХ, снижая содержание аренов в продуктах пиролиза, которые рассматриваются как предшественники дымообразования, приводя к увеличению коэффициента дымообразования  $D_m$ . В составе не выявлено соединений алюминия, магния и сурьмы ( $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Sb_2O_3$ ), которые могли бы существенно снизить  $D_m$ .

#### Литература

1. Альмембаев М.М. Пожарная опасность объектов культуры с материалами и конструкциями из древесины и лакокрасочными покрытиями. 05.26.03 - Пожарная и промышленная безопас-

ность. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Миржан Маратович Альмембаев. – Москва, 2015. – 200 с.

2. Тагер А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – М.: Научный мир, 2007. – 576 с.

3. Хиславский А.Г. Рентгеноспектральные экспрессные методы анализа полимерных материалов / А.Г. Хиславский. – Л., Химия, 1976. – С. 36.

4. Горелик С.С. и др. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. доп. и перераб. – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.

5. Исаков Г.Н., Манаева А.Р. Анализ дымообразующей способности напольных покрытий на основе поливинилхлорида в условиях пожара / Г.Н. Исаков, А.Р. Манаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т. 17, № 2, 2015. – С. 43-47.

#### Application of the X-Ray Diffraction Analysis when Determining Component Structure in Thermo Destruction Models

A.R. Manaeva, teacher of department of health and safety of the Surgut State University; Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Surgut

e-mail: chem88@ya.ru

**Summary.** In article application of the X-ray diffraction analysis for determination of component structure of floor coverings (FC) and also definitions of degree of crystalline is considered. Communication between smoke-generating ability and the structure of FC and also a type of smoke suppressors is defined at various temperature influence.

**Keywords:** buildings and constructions, floor coverings, smoke-generating ability.

#### References:

1. Almembraev M.M. Fire danger of objects of culture with materials and designs from wood and paint and varnish coverings. Fire and industrial safety. The thesis for a degree of candidate of technical sciences. 2015. Moscow, 200 p.

2. Tager A.A. Physics chemistry of polymers. The edition 4 processed and added. Scientific world. 2007. Moscow, 576 p.

3. Khislavskiy A.G. X-ray spectral express methods of the analysis of polymeric materials. Chemistry. 1976. Leningrad, P. 36.

4. Gorelik S.S., Skakov Yu.A., Rastorguev L.N. X-ray and electron-optical analysis. Manual for higher education institutions. 3rd edition. Moscow Institute of Steel and alloys. 1994. Moscow, 328 p.

5. Isakov G.N., Manaeva A.R. The analysis of smoke-generating ability of floor coverings on the basis of polyvinylchloride in the conditions of the fire. News of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences. Volume 17. No. 2. 2015. pp. 43-47.