

УДК 536.42:[678.046.9:621.3.035.221.642]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВЫХ НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ПЕНТАПЛАСТ – AgI

Г. В. РОКИЦКАЯ¹⁾, Н. И. ШУТ¹⁾, М. А. РОКИЦКИЙ¹⁾

¹⁾Национальный педагогический университет им. М. П. Драгоманова,
ул. Пирогова, 9, 02000, г. Киев, Украина

Отмечено, что изучение закономерностей взаимодействия компонентов полимерных композиционных материалов – одна из фундаментальных и комплексных задач физики полимеров. Перспективными для оценки внутренних напряжений между компонентами полимерных композиционных материалов являются системы с дисперсными наполнителями, которым свойственны фазовые переходы и аномальное dilatометрическое поведение. Установлено, что один из наполнителей с такими свойствами – иодид серебра (AgI). Проведены исследования температурных зависимостей удельной теплоемкости системы пентапласт – AgI. Выполнено разделение бимодальных зависимостей $c_p = f(T)$ в области фазовых неустойчивостей компонентов композитов на составляющие. Определены параметры эндотермических процессов, а также проведена оценка величины физического взаимодействия компонентов системы.

Ключевые слова: теплоемкость; композит; полимер; суперионик; взаимодействие.

DETERMINATION OF THE PHASE INSTABILITY PARAMETERS FOR PENTON – AgI SYSTEM

G. V. ROKITSKAYA^a, N. I. SHUT^a, M. A. ROKITSKIY^a

^aNational Pedagogical Dragomanov University, Pirogov street, 9, 02000, Kiev, Ukraine
Corresponding author: galinadarla@gmail.com

The studying of interaction between the components of polymer composite materials (PCM) – is one of the fundamental complex and multifaceted problems of polymer physics. Perspective to identify internal stresses between PCM components are the systems with dispersed fillers which are characterized by phase transitions and abnormal dilatometric behavior. A good representative of fillers with such properties is silver iodide. In this research the temperature dependences of the specific heat of penton – silver iodide (AgI) system have been studied. The bimodal $c_p = f(T)$ dependences in the phase instability region of the composite components have been subdivided into their constituents. The parameters of endothermic processes have been determined; the physical interaction magnitude of the system components has been estimated.

Key words: heat capacity; composite; polymer; superionic; interaction.

Образец цитирования:

Рокицкая Г. В., Шут Н. И., Рокицкий М. А. Определение параметров фазовых неустойчивостей системы пентапласт – AgI // Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика. 2017. № 2. С. 95–101.

For citation:

Rokitskaya G. V., Shut N. I., Rokitskiy M. A. Determination of the phase instability parameters for penton – AgI system. *J. Belarus. State Univ. Phys.* 2017. No. 2. P. 95–101 (in Russ.).

Авторы:

Галина Васильевна Рокицкая – аспирантка кафедры общей и прикладной физики физико-математического факультета. Научный руководитель – Н. И. Шут.

Николай Иванович Шут – академик Национальной академии педагогических наук Украины, доктор физико-математических наук; профессор кафедры общей и прикладной физики физико-математического факультета.

Максим Александрович Рокицкий – кандидат физико-математических наук; доцент кафедры общей и прикладной физики физико-математического факультета.

Authors:

Galina Rokitskaya, postgraduate student at the department of general and applied physics, faculty physics and mathematics. galinadarla@gmail.com

Nikolay Shut, academician of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, doctor of science (physics and mathematics); professor at the department of general and applied physics, faculty physics and mathematics. mishut1@ukr.net

Maksim Rokitskiy, PhD (physics and mathematics); associate professor at the department of general and applied physics, faculty physics and mathematics. maksal@bigmir.net

Развитие науки и техники, в частности космической, требует непрерывного совершенствования и миниатюризации используемого оборудования. В связи с этим возникает потребность в изучении и использовании конструкционных материалов с совершенно новыми свойствами. К таким материалам, которые широко применяются и интенсивно исследуются, относятся твердые электролиты – суперионные проводники (суперионики). Среди твердых электролитов особое внимание привлекает иодид серебра – AgI [1], который, кроме фазового перехода диэлектрик – суперионик, характеризуется аномальным dilatометрическим поведением, приводящим к скачкообразному изменению его объема [2].

Несмотря на многие положительные свойства твердых электролитов, в большинстве случаев их нельзя использовать в сложных погодных условиях и агрессивных средах. В связи с этим актуальной является разработка новых, устойчивых к воздействию внешней среды и не теряющих свойства суперионной проводимости материалов. Таковыми могут стать полимерные композиционные материалы (ПКМ), в которых в качестве дисперсного наполнителя используются твердые электролиты, а полимерной матрицей являются химически стойкие полимеры.

Особый интерес представляют исследования полимерных композиционных материалов, содержащих дисперсные наполнители, которые характеризуются фазовыми нестабильностями в окрестности температур фазовых превращений полимерной матрицы. Такая особенность наполнителей позволяет фиксировать и оценивать влияние не только дисперсной составляющей ПКМ на свойства и структуру полимерной матрицы, но и полимера на наполнитель, а также дает возможность говорить о качественной и количественной оценках взаимодействия компонентов систем такого рода.

В качестве полимерной матрицы для изучения систем с активно взаимодействующими компонентами целесообразно использовать полимеры, которые могут кристаллизоваться и имеют в своем составе полярные группы, например пентапласт [3]. Такие композиционные системы выгодно отличаются наличием в исследуемом температурном интервале двух фазовых нестабильностей – плавления и стеклования аморфной составляющей полимерной матрицы [4], что в перспективе позволит получить более полную и глубокую информацию о взаимовлиянии компонент подобных систем.

Цель исследования – установление закономерностей взаимовлияния компонентов ПКМ – пентапласта и иодида серебра, а также получение количественной оценки величины этого взаимодействия.

Для изготовления образцов использовался порошкообразный пентапласт промышленного производства марки БП. Исходный порошок диспергировали механическим способом с последующим фракционированием с помощью лабораторных сит марки УКС-СЛ-200 с диаметром ячеек 50 и 40 мкм. Перед прессованием порошок пентапласта был выдержан в вакуумном шкафу в течение 24 ч при 323 К для удаления летучих низкомолекулярных примесей.

Дисперсный наполнитель – иодид серебра – синтезировали из особо чистых KI и AgNO₃. Раствор KI вливали при постоянном перемешивании в раствор AgNO₃. Смешивание растворов и промывку осадка AgI проводили в темноте. Остаток переносили на фильтровальную бумагу и сушили при 383 К. Размер частиц контролировали с помощью оптического микроскопа ПМТ-3 (Украина). Дисперсный AgI преимущественно характеризовался наличием частиц размерами 2–8 мкм, форма которых подобна прямоугольному параллелепипеду с соотношением сторон 1 : 1 : 3 и 1 : 1 : 2. Поскольку иодид серебра проявлял определенную способность к агрегации в околосферические образования (диаметр 40–60 мкм), непосредственно перед изготовлением образцов его дополнительно механически диспергировали. Контроль чистоты исходного AgI осуществляли методом рентгенофазового анализа.

В целях выбора лучшего режима формирования образцы после предварительного механического смешивания готовили в следующем $p - T - t$ -режиме: нагрев – со скоростью 3,5 К/мин, выдержка – при 483 К в течение 15 мин под давлением 20 МПа, охлаждение из расплава – со скоростью 0,5 К/мин, что соответствует оптимальным технологическим условиям переработки композита с учетом свойств как наполнителя, так и полимерной матрицы.

Исследование удельной теплоемкости в интервале температур 74–493 К проведено с помощью дифференциального сканирующего калориметра Кальве [5], модифицированного для определения теплофизических и релаксационных параметров полимерных материалов. Плотность и пористость определены методом гидростатического взвешивания [6].

Выше температуры стеклования пентапласта зависимость удельной теплоемкости композитов системы пентапласт – AgI от температуры ($c_p = f(T)$) практически линейная. Процессы предплавления для исходного пентапласта начинаются после 393 К, а для диспергированного – при 383 К (рис. 1), что наиболее вероятно объясняется менее совершенной структурой кристаллической составляющей полимера. Процессу плавления соответствует эндотермический пик на температурной зависимости теплоемкости с максимумом при 454 К для исходного пентапласта (что хорошо согласуется с данными [3]) и при 445 К – для диспергированного.

В ряде работ исследовалось влияние изотермического отжига, пластификации [3; 7] и наполнения различными материалами [8] на структуру и теплофизические свойства пентапласта. Проведенные авторами работ [3; 7; 8] исследования позволили установить эффективное действие модификаторов на пентапласт, но практически не дали никакой информации о взаимодействии полимера и наполнителя.

Как известно [9], в основе физико-химического взаимодействия компонентов ПКМ лежит комплекс явлений, связанных с адгезией и являющихся результатом межмолекулярного взаимодействия, ионных или металлических связей на поверхности раздела адгезив – субстрат и интенсивно (по кубическому закону $\sim 1/r^3$) уменьшающихся с увеличением расстояния. Вследствие длинноцепочечного строения высокомолекулярных соединений и формирования различного рода надмолекулярных образований такие силы проявляются в полимерах на расстояниях, ориентировочно равных 100–150 нм.

Наряду с силами адгезионного происхождения было обнаружено появление в ПКМ значительных внутренних напряжений, возникновение которых вызвано значительно большим в сравнении с наполнителем коэффициентом термического сжатия полимерной матрицы при охлаждении композита из расплава. Вследствие охлаждения частицы наполнителя и полимера находятся под действием радиальных напряжений взаимного сжатия, что приводит к появлению внутренних напряжений. Существование активного взаимодействия между дисперсным наполнителем и полимером фиксируется методом инфракрасной (ИК) спектроскопии, но провести количественную оценку такого взаимодействия с использованием стандартных методов и объектов исследования не представляется возможным.

Как было отмечено ранее, в окрестности температуры $T = 420$ К у иодида серебра происходит фазовое превращение, сопровождающееся значительным эндотермическим эффектом, что было подтверждено исследованиями температурной зависимости теплоемкости (см. рис. 1). Кроме того, AgI обнаруживает еще одно уникальное свойство – аномальное поведение теплового расширения в широком температурном интервале (120–420 К). Особенно интересно то, что в окрестности температуры фазового перехода при охлаждении изменения структуры пентапласта сопровождаются значительным увеличением объема (до 5,4 %).

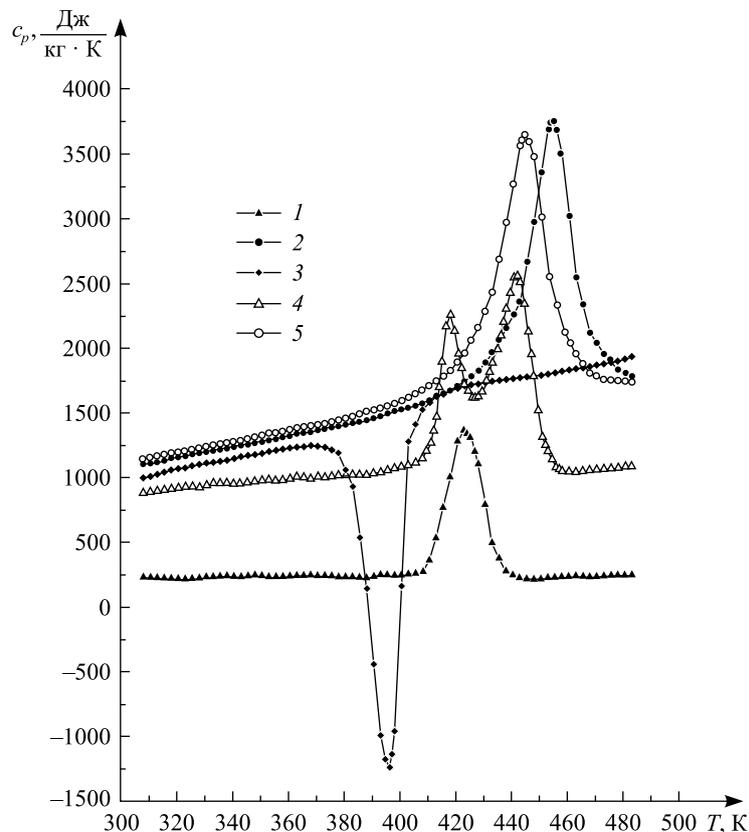


Рис. 1. Температурные зависимости удельной теплоемкости AgI (1); исходного пентапласта (2); экзотермы кристаллизации диспергированного пентапласта (3); композита системы пентапласт – AgI ($\varphi = 14\%$) (4); диспергированного пентапласта (5)

Fig. 1. Temperature dependences of heat capacity AgI (1); initial penton (2); crystallization exotherms of dispersed penton (3); composite of penton – AgI system ($\varphi = 14\%$) (4); dispersed penton (5)

При указанных условиях на границе раздела полимер – дисперсный наполнитель в граничных слоях полимера и наполнителя проявляется эффект изменения величины радиальных напряжений взаимного сжатия. Возникновение значительных внутренних напряжений или, наоборот, их уменьшение в граничных слоях наполнителя может активно влиять на его свойства, в частности на теплофизические. Так, в работе [10] при исследовании системы полихлортрифторэтилен – AgI было зафиксировано понижение температуры фазового $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения иодида серебра на 2–4 К и сделаны выводы относительно соразмерности величин радиальных напряжений и значений сил адгезионного происхождения.

Зная из фазовой диаграммы иодида серебра [11] и уравнения Клапейрона – Клаузиуса, насколько изменится температура фазового перехода, можно оценить изменение значения давления, возникающего на границе раздела полимер – наполнитель:

$$\Delta p = \frac{q \cdot \Delta T_c}{T_c \cdot \Delta V},$$

где Δp – изменение давления; T_c – равновесная температура фазового перехода; ΔT_c – изменение температуры фазового перехода; q – удельная теплота фазового перехода; ΔV – изменение объема наполнителя при фазовом переходе.

Определение температуры и теплоты фазового превращения композитов пентапласт – AgI проведено на основе анализа зависимостей удельной теплоемкости от температуры. Для данной системы температурная зависимость характеризуется кривыми, вид которых показан на примере композита с концентрацией иодида серебра 14 % (см. рис. 1).

Как можно видеть, вследствие близости температур фазовых переходов пентапласта и иодида серебра на зависимостях $c_p = f(T)$ наблюдается наложение максимумов, которое вызывает трудности при определении удельной теплоты переходов. Для определения теплоты переходов нами использована методика разделения максимумов на зависимостях $c_p = f(T)$ путем разделения суммарного профиля на составляющие, описывающиеся нормальным распределением Гаусса или распределением Коши:

$$y = y_0 + \frac{A}{\omega \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{\left[-2 \left(\frac{x - x_c}{\omega} \right)^2 \right]} \text{ и } y = y_0 + \frac{2A}{\pi} \left(\frac{\omega}{4(x - x_c)^2 + \omega^2} \right),$$

где y_0 – начальное значение y ; A – площадь пика; ω – ширина пика на половине высоты ($\omega = 2\sigma$); x_c – положение максимума, или мода.

Результат разделения кривой температурной зависимости удельной теплоемкости композита системы пентапласт – AgI с концентрацией 58 % приведен на рис. 2, а.

После разделения эндотермических максимумов были проведены расчеты площадей низкотемпературного «плеча» обоих пиков с последующим определением теплоты фазовых переходов.

Кристаллизация пентапласта из расплава происходит ниже уровня температуры фазового превращения иодида серебра с экзотермическим максимумом при 396 К, поэтому по характеру изменения температуры и теплоты фазового перехода пентапласта (в зависимости от концентрации дисперсного наполнителя) можно делать выводы о влиянии AgI на формирование структуры и свойства полимера. Так, при нагревании композитов исследуемой полимерной системы фазовое превращение иодида серебра происходит под влиянием еще нерасплавленного пентапласта с сохранением радиальных напряжений на границе раздела полимер – наполнитель. Это дает возможность проводить оценку влияния полимерной матрицы на наполнитель в процессе кристаллизации по изменениям температуры и теплоты фазового перехода иодида серебра.

Результаты экспериментального определения температуры и теплоты фазовых переходов пентапласта и иодида серебра в составе системы пентапласт – AgI представлены на рис. 2, б.

Анализ экспериментальных зависимостей температуры и теплоты фазовых переходов $T(\varphi)$ и $q(\varphi)$ пентапласта и AgI свидетельствует о высоком уровне физического взаимодействия компонентов системы на границе раздела фаз и о сложном характере зависимости свойств композитов от содержания дисперсного наполнителя. Так, повышение температуры $\beta \leftrightarrow \alpha$ -перехода AgI на 6 К при увеличении концентрации наполнителя до 6 %, согласно фазовой диаграмме зависимости температуры фазового перехода от давления $T = f(p)$ [11] и уравнению Клапейрона – Клаузиуса, соответствует понижению внутреннего давления на $290 \cdot 10^5$ Па. Понижение этой температуры на 9 К при увеличении

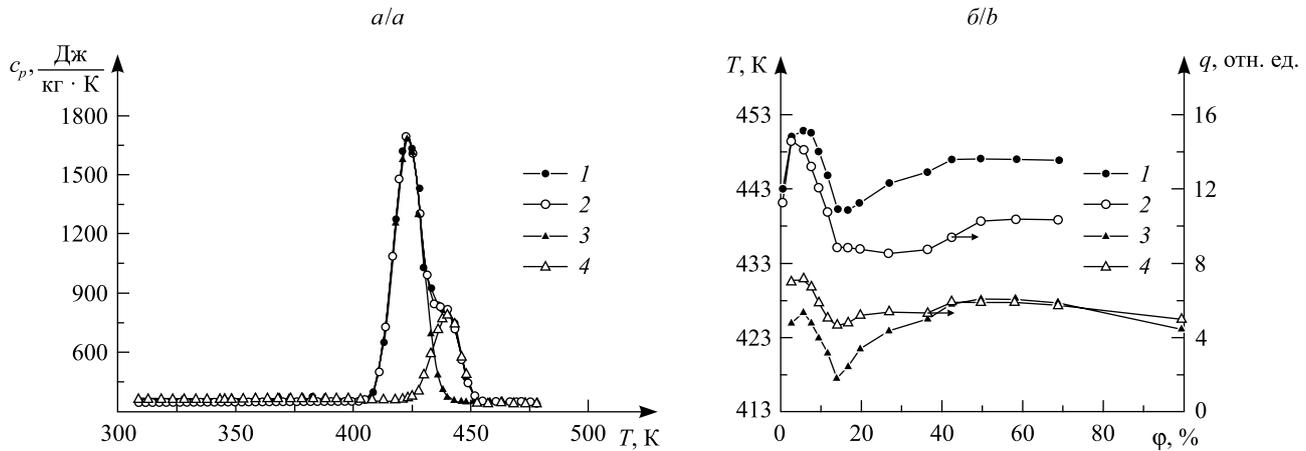


Рис. 2. Схема разделения кривой температурной зависимости удельной теплоемкости композита системы пентапласт – AgI ($\phi = 58\%$) (а): экспериментальная кривая (1), расчетная кривая (2), расчетная кривая для AgI (3), расчетная кривая для пентапласта (4); концентрационные зависимости температуры фазового перехода (б): пентапласта (1), AgI (2); теплота фазового перехода для пентапласта (3), AgI (4)

Fig. 2. The scheme for subdividing the curve of the temperature dependence of the specific heat of composite of penton – AgI system ($\phi = 58\%$) (a): experimental curve (1), calculated curve (2), calculated curve for AgI (3), calculated curve for penton (4); concentration dependences of phase transition temperature (b): penton (1), AgI (2); phase transition heat for penton (3), AgI (4)

концентрации наполнителя до 6–14 % соответствует повышению внутреннего давления на $380 \cdot 10^5$ Па. Последующее же повышение этой температуры на 8 К соответствует понижению внутреннего давления на $430 \cdot 10^5$ Па. При охлаждении ПКМ до температуры эксплуатации значения внутренних напряжений ожидаются более существенными.

По нашему мнению, повышение температуры и теплоты фазового перехода пентапласта при содержании дисперсного наполнителя 3–6 % может быть объяснено, в частности, как результат ориентирующего действия частиц иодида серебра по отношению к макромолекулам пентапласта. Подобные результаты отмечались и ранее – так называемый микроконцентрационный эффект проявлялся в повышении удельной теплоемкости композитов при модифицировании пентапласта легирующими примесями углеродного волокна «Грален-2» [12].

Существенное (на 10 К) понижение температуры и теплоты фазового перехода полимерной матрицы при содержании чистого иодида серебра $6 < \phi \leq 14\%$ вызвано значительной (на 4 %) аморфизацией пентапласта. Это сопровождается уменьшением размеров структурных неоднородностей. По всей видимости, такое изменение характеристик фазового перехода объясняется перекрытием поверхностных слоев пентапласта и пребыванием частиц AgI в сплошной матрице пентапласта в состоянии граничных слоев, которое хорошо согласуется с результатами исследований скорости, поглощения и скачка поглощения ультразвука [13]. В этой концентрационной области данные по содержанию наполнителя ПКМ получены в менее благоприятных термодинамических и кинетических условиях кристаллизации полимера, так как в процессе охлаждения композитов из расплава $T_{\text{крист}} < T_{\text{макс крист}}$ ($T_{\text{макс крист}} = 396$ К) кристаллизация значительно усложняется в связи с интенсивным ростом напряжений взаимного сжатия полимера и наполнителя. Такие напряжения эквивалентны эффекту закалки полимерной матрицы при быстром охлаждении. Рост напряжений связан со значительным увеличением объема AgI в окрестности температуры фазового перехода и с одновременным сжатием полимерной матрицы в результате охлаждения и кристаллизации. На аморфизацию полимера указывают также результаты рентгеноструктурного исследования степени кристалличности пентапласта в составе ПКМ [14].

В области концентрации от 14 до 50 %, выступая в роли зародышей структурообразования, частицы AgI одновременно ограничивают подвижность отдельных звеньев макромолекул вблизи своей поверхности и способствуют повышению степени кристалличности пентапласта, который, как показывают акустические исследования [13], все еще находится в состоянии граничных слоев. Более упорядоченное структурирование макромолекул приводит к повышению температуры и теплоты фазового перехода пентапласта на 7 К и 1,4 отн. ед. соответственно.

Как показывают исследования теплового расширения и скорости распространения ультразвука и его поглощения, при концентрациях $\phi > 50\%$ полимер переходит в состояние пристенного граничного

слоя с более совершенной структурой и более высокой степенью кристалличности. Очевидно, что при таких концентрациях происходит образование непрерывного перколяционного кластера наполнителя, которое сопровождается ростом скорости распространения ультразвука и понижением температурного коэффициента линейного расширения ПКМ, а также увеличением поглощения ультразвука при практически неизменных температуре и теплоте фазового перехода.

Анализ поведения параметров ПКМ выявил значительную зависимость температуры и теплоты $\beta \leftrightarrow \alpha$ фазового перехода дисперсного наполнителя от надмолекулярной структуры пентапласта. Концентрационные изменения температур $T(\phi)$ и теплоты фазовых переходов $q(\phi)$ AgI в композитах происходят согласованно с изменениями аналогичных параметров в пентапласте.

Таким образом, понижение теплоты плавления в композитах, содержащих 6–14 % наполнителя, свидетельствует об уменьшении степени кристалличности полимера, а понижение температуры плавления – о снижении уровня упорядоченности полимера в кристаллических областях.

Повышение температуры плавления полимерной матрицы композитов, содержащих $14 < \phi \leq 50$ %, на 7 К, в сравнении с температурой плавления полимера в объеме, свидетельствует о том, что кристаллизация в системе прошла с образованием более термодинамически устойчивых кристаллических структур и что степень кристалличности в объеме композита сравнительно высока. Повышенная термодинамическая устойчивость кристаллитов обуславливает их меньшую способность к изменениям объема и, следовательно, к уменьшению значений напряжений взаимного сжатия полимерной матрицы и наполнителя.

При концентрациях AgI более 50 % полимер переходит в состояние пристенного граничного слоя. Поэтому с последующим ростом концентрации, т. е. числа частиц наполнителя, толщина пристенного граничного слоя уменьшается. В свою очередь, это приводит к возникновению полимерных слоев, содержащих различные дефекты, и уменьшению их влияния на наполнитель, которое проявляется в понижении температуры перехода иодида серебра до значений, присущих ему при отсутствии внешних воздействий.

Библиографические ссылки

1. Гуревич Ю. Я. Твердые электролиты. М., 1986.
2. Новикова С. И. Тепловое расширение твердых тел. М., 1974.
3. Мулин Ю. А., Ярцев И. К. Пентапласт. Л., 1975.
4. Shut M. I., Rokitskiy M. A., Shut A. M., et al. Determination of relaxation characteristics complex for penton – AgI matrix – disperse system // *Funct. Mater.* 2013. Vol. 20, № 2. P. 221–226.
5. Шут Н. И., Сичкарь Т. Г., Янчевский Л. К. и др. Калориметр для определения релаксационных параметров полимеров // Проблемы промышленной теплотехники : материалы IV Междунар. конф. (Киев, 26–30 сент. 2005 г.). Киев, 2005. С. 368.
6. Rokits'kyi M. A., Gorbyk P. P., Levandovs'kyi V. V., et al. Electrophysical properties of polymer composites penton – silver iodide system in SF-region // *Funct. Mater.* 2007. Vol. 14, № 1. P. 125–129.
7. Мулин Ю. А., Ярцев И. К., Алтунян К. О. и др. Пластифицированный пентапласт // *Пласт. массы.* 1974. № 8. С. 44–47.
8. Мулин Ю. А., Ярцев И. К., Пекур А. Х. и др. Наполненный пентапласт // *Пласт. массы.* 1972. № 2. С. 63–67.
9. Липатов Ю. С. Физическая химия наполненных полимеров. М., 1974.
10. Левандовський В. В., Горбик П. П., Гаркуша О. М. Термодинамічний спосіб кількісної оцінки взаємодії компонентів полімерних композиційних матеріалів з дисперсними наповнювачами, що мають фазові нестабільності // Композиційні матеріали : тез. доп. II Междунар. науч.-техн. конф. (Киев, 21–25 мая 2001 г.). Киев, 2001. С. 90.
11. Mellander B. E., Bowling J. E., Baranowski B. Phase diagram of silver iodide in the pressure range 2.5–10 kbar and the temperature range 4–330 °C // *Phys. Scr.* 1980. Vol. 22. P. 541–544.
12. Барановский В. М., Горностаева Ю. А., Рахманкулов А. А. и др. Проявление микроконцентрационного эффекта при исследовании теплофизических свойств пентапласта, наполненного углеродным волокном грален-2 // *Узб. физ. журн.* 1995. № 6. С. 62–66.
13. Шут М. І., Рокицький М. О., Рокицька Г. В. и др. Фізико-механічні властивості полімерних композиційних матеріалів на основі пентапласту та дисперсного іодиду срібла // *Фізика аэродисперсных систем.* 2013. Вып. 50. С. 23–32.
14. Шут М. І., Рокицька Г. В., Рокицький М. О. та ін. Рентгенографічні дослідження матрично-дисперсної системи на основі пентапласту та іодиду срібла // *Наук. часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова.* Сер. 1, Фізико-математичні науки. Київ, 2011. № 12. С. 6–12.

References

1. Hurevych Y. Y. [Solid electrolytes]. Moscow, 1986 (in Russ.).
2. Novikova S. I. [Thermal expansion of solids]. Moscow, 1974 (in Russ.).
3. Mulin Y. A., Yartsev I. K. [Penton]. Leningrad, 1975 (in Russ.).
4. Shut M. I., Rokitskiy M. A., Shut A. M., et al. Determination of relaxation characteristics complex for penton – AgI matrix – disperse system. *Funct. Mater.* 2013. Vol. 20, No. 2. P. 221–226.
5. Shut N. I., Sichkar T. G., Yanchevskiy L. K., et al. [Calorimeter for determining the relaxation parameters of polymers]. *Problemy promyshlennoi teplotekhniki* : materialy IV Mezhdunar. konf. (Kiev, 26–30 Sept., 2005). Kiev, 2005. P. 368 (in Russ.).

6. Rokits'kyi M. A., Gorbyk P. P., Levandovs'kyi V. V., et al. Electrophysical properties of polymer composites penton – silver iodide system in SF-region. *Funct. Mater.* 2007. Vol. 14, No. 1. P. 125–129.
7. Mulin Y. A., Yartsev I. K., Altunyan K. O., et al. [The plasticized Penton]. *Plast. massy.* 1974. No. 8. P. 44–47 (in Russ.).
8. Mulin Y. A., Yartsev I. K., Pekur A. Kh., et al. [Filled Penton]. *Plast. massy.* 1972. No. 2. P. 63–67 (in Russ.).
9. Lipatov Y. S. [Physical chemistry of filled polymers]. Moscow, 1974 (in Russ.).
10. Levandovskiy V. V., Horbyk P. P., Harkusha O. M. [Thermodynamic way of quantify the interaction between the components of polymer composites with dispersed fillers with phase instability]. *Kompozitsionnye materialy : tezy dopovidej II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencyy* (Kiev, 21–25 May, 2001). Kiev, 2001. P. 90 (in Russ.).
11. Mellander B. E., Bowling J. E., Baranowski B. Phase diagram of silver iodide in the pressure range 2.5–10 kbar and the temperature range 4–330 °C. *Phys. Scr.* 1980. Vol. 22. P. 541–544.
12. Baranovskiy V. M., Gornostaeva Y. A., Rakhmankulov A. A., et al. [Manifestation of micro concentration effect in the study of thermal properties Penton filled with carbon fiber Galen-2]. *Uzb. fiz. zh.* 1995. No. 6. P. 62–66 (in Russ.).
13. Shut M. I., Rokytskyi M. O., Rokytska H. V., et al. [Physical and mechanical properties of polymer composites based penton and dispersed silver iodide]. *Fiz. aerodispersnykh sist.* 2013. Issue 50. P. 23–32 (in Ukrainian).
14. Shut M. I., Rokytska H. V., Rokytskyi M. O., et al. [X-ray study of matrix-dispersed systems based on silver iodide and penton]. *Naukovyj chasopys NPU imeni M. P. Dragomanova. Serija 1, Fyzyko-matematychni nauky.* Kiev, 2011. No. 12. P. 6–12 (in Ukrainian).

Статья поступила в редколлегию 05.01.2017.
Received by editorial board 05.01.2017.