

Ю. М. Кривогуз, В. Н. Усова, В. Н. Коваль

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого  
Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь*

## БИНАРНЫЕ СМЕСИ ПОЛИАМИДА 6 С АЛИФАТИЧЕСКИМ ПОЛИКЕТОНОМ: АНАЛИЗ СОВМЕСТИМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ

*(Представлено членом-корреспондентом А. Я. Григорьевым)*

**Аннотация.** Проведены исследования совместимости и взаимодействий полиамида 6 (ПА6) с алифатическим поликетонном (АПК) при смешении их в расплаве методом экструзии. С помощью релаксационной спектроскопии (РС) показано, что изученные смеси ПА6/АПК имеют одну температуру стеклования ( $T_g$ ), расположенную на температурной шкале между  $T_g$  исходных ПА6 и АПК. Установлено также, что в данных смесях пик  $\beta$ -релаксации ПА6, ответственный за локальное движение мелкомасштабных структурных единиц основной цепи и боковых ответвлений, обобществляется с  $\beta$ -пиком АПК. На этом основании сделаны выводы о совместимости ПА6 и АПК на сегментальном и мелкомасштабном уровне. Показано взаимовлияние полимерных компонентов в смесях ПА6/АПК на динамический модуль сдвига и величину  $zG_3$ . Методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) обнаружено замедление процессов кристаллизации ПА6 и АПК в их смесях, что, вероятно, обусловлено формированием обширных межфазных (переходных) слоев, в которых вследствие межмолекулярных взаимодействий затрудняется кристаллизация полимерных компонентов. Анализ ИК-спектров в области  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  позволил предположить образование водородных связей между полиамидными  $\text{--NH}$ -группами и карбонилами  $\text{--C=O}$ , входящими в состав АПК, что способствует росту совместимости полимерных компонентов исследуемых смесей.

**Ключевые слова:** полиамид 6, алифатический поликетон, совместимость, смеси полимеров, межфазные взаимодействия

**Для цитирования.** Кривогуз, Ю. М. Бинарные смеси полиамида 6 с алифатическим поликетонном: анализ совместимости полимерных компонентов / Ю. М. Кривогуз, В. Н. Усова, В. Н. Коваль // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2024. – Т. 68, № 2. – С. 170–176. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-2-170-176>

Yuri M. Krivoguz, Viktoriya N. Usova, Vasili N. Koval

*V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Gomel, Republic of Belarus*

## BINARY BLENDS OF POLYAMIDE 6 WITH ALIPHATIC POLYKETONE: THE COMPATIBILITY ANALYSIS OF POLYMER COMPONENTS

*(Communicated by Corresponding Member A. Ya. Grigoriev)*

**Abstract.** The compatibility and interactions of polyamide 6 (PA6) and aliphatic polyketone (APK) were studied when they were mixed in a melt by extrusion. Using the relaxation spectrometry (RS) method, it was shown that the studied PA6/APK blends had one glass transition temperature ( $T_g$ ) located on the temperature scale between  $T_g$  of initial PA6 and APK. It was also found that in these mixtures, the PA6  $\beta$ -relaxation peak, responsible for the local movement of small-scale structural units of the main chain and side branches, was socialized with the  $\beta$ -peak of APK. On this basis, conclusions were drawn about the compatibility of PA6 and APK at the segmental and small-scale level. The mutual influence of polymer components of PA6/APK blends on the dynamic shear modulus and the  $zG_3$  criterion is shown. The DSC analysis has revealed a slow-down in the crystallization of PA6 and APK in their blends, which is probably due to the formation of extensive interfacial (transitional) layers in the PA6/APK blend, in which crystallization of polymer components is hindered due to intermolecular interactions. The analysis of the IR-spectra in the range of  $3000\text{--}3800\text{ cm}^{-1}$  has made it possible to establish the formation of hydrogen bonds between the polyamide  $\text{--NH}$ -groups and carbonyls  $\text{--C=O}$ , being part of APK, which contributes to an increase in the compatibility of the polymer components of the blend under study.

**Keywords:** polyamide 6, aliphatic polyketone, compatibility, polymer blends, interfacial interactions

**For citation.** Krivoguz Yu. M., Usova V. N., Koval V. N. Binary blends of polyamide 6 with aliphatic polyketone: the compatibility analysis of polymer components. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2024, vol. 68, no. 2, pp. 170–176 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-2-170-176>

**Введение.** Современный период развития полимерного материаловедения характеризуется повышенным научным и практическим интересом к смесям полимеров [1]. Среди полимерных смесей большое значение имеют смеси, содержащие в качестве основного компонента алифатические полиамиды (ПА) [2]. Благодаря комплексу свойств полиамидные смеси широко используются в различных областях техники, в связи с чем к ним предъявляются все более высокие эксплуатационные требования [2]. Наибольшее коммерческое значение приобрели смеси ПА с полиолефинами, эластомерами, стирольными пластиками, поликарбонатом и другими видами полимеров [3; 4]. Однако, как показывает практика, совокупность ценных физико-механических свойств традиционных ПА смесей оказывается не всегда достаточной для решения многих современных технических проблем. Поэтому в настоящее время одна из важных задач при разработке полимерных материалов на базе ПА смесей, преимущественно, направлена на совершенствование рецептурных составов и технологических методов их получения [2–4].

В связи с этим в последние годы проявляется устойчивый интерес к исследованию свойств смесей ПА с алифатическими поликетонами (АПК) [5; 6]. АПК относятся к новому классу полимеров и представляют собой терполимеры, полученные сополимеризацией монооксида углерода и разнообразных  $\alpha$ -олефинов. Поэтому в их химической структуре содержатся алифатические фрагменты (этиленовые, пропиленовые или другие  $\alpha$ -олефиновые) и кетонные группы [7]. К настоящему моменту синтез поликетонов налажен в промышленных масштабах такими известными компаниями, как «Shell Cemical» (начало производства 1996 г., торговая марка «Carilon»), «BP» (начало производства 1996 г., торговая марка «Ketonex») и корейская «Hyosung Corporation» (начало производства 2017 г., торговая марка «Paketone») [8].

Интерес к АПК, как к одному из модифицирующих компонентов в бинарных смесях с ПА, вызван комплексом его уникальных свойств: высокой жесткостью, ударопрочностью, стойкостью к истиранию и низкому шуму при трении в сочетании с низкой газопроницаемостью, высокой химстойкостью и стойкостью к УФ- и  $\gamma$ -излучениям [7; 8]. В научных публикациях имеются сведения о том, что добавки АПК способны значительно улучшить свойства ПА [5; 6].

Несмотря на то что смешение ПА с другими полимерами является привлекательным способом с точки зрения получения новых материалов, большинство ПА смесей являются несовместимыми. Поэтому ключевой проблемой в создании технически ценных материалов на базе данных смесей является проблема совместимости полимерных компонентов. Согласно концепции «взаимодополняющего различия» [9; 10], неограниченное совмещение полимеров достигается в том случае, когда макромолекулы каждого из них содержат различные функциональные группы, способные вступать в сильные энергетические взаимодействия друг с другом. В соответствии с данными представлениями и вследствие присутствия в структуре макромолекул АПК кетонных  $-C=O$  групп, а у ПА – аминных и амидных групп, у данных полимеров имеются предпосылки для достижения удовлетворительной совместимости за счет реализации межфазных взаимодействий при их смешении в расплаве. Однако к настоящему времени вопросы совместимости ПА с АПК изучены достаточно слабо. Отсутствуют комплексные исследования особенностей структуры и свойств смесей ПА с АПК с последующим установлением их связи с совместимостью, вследствие чего затрудняется целенаправленная разработка новых материалов на основе смесей ПА и АПК. Учитывая практическую значимость научных данных о совместимости ПА с АПК, целесообразно проведение исследований данной проблемы с учетом особенностей межфазных взаимодействий ПА и АПК.

Цель работы – анализ совместимости полиамида 6 (ПА6) и АПК, изучение межфазных взаимодействий между данными полимерными компонентами и структуры смесей ПА6 с АПК.

**Материалы и методы исследования.** В настоящей работе базовыми объектами исследования служили ПА6 (марка для контакта с пищевыми продуктами, производства ОАО «Гродно-Азот», Беларусь) и АПК (марка M710F, производства фирмы «Hyosung Corporation», Ю. Корея).

Получение бинарных смесей ПА6 с АПК осуществляли с применением экструзионно-грануляционной линии на базе двухшнекового экструдера TSSK 35/40 с однонаправленным вращением шнеков (производство КНР, диаметр шнеков 35 мм,  $L/D = 40$ , производительность 50 кг/ч, 10 секций материального цилиндра с независимым нагревом и точным поддержанием темпера-

туры). Температурный режим в основных зонах смешения материального цилиндра экструдера соответствовал температурам, определенным для экструзии ПАБ, которые составляли порядка 240 °С. Частота оборотов шнека при этом была установлена на уровне 350 об/мин. Длительность пребывания полимерного расплава в материальном цилиндре  $\approx 0,5$  мин.

Исследования методом релаксационной спектроскопии (РС) проводили с использованием образцов в виде пластин размером  $50 \times 4 \times 1$  мм. Их изготавливали на лабораторной литьевой машине поршневого типа с объемом впрыска  $5 \text{ см}^3$  при температуре расплава 240 °С. Динамические механические (релаксационные) свойства материалов изучали на основании анализа температурных зависимостей тангенса угла механических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) и динамического модуля сдвига ( $G'$ ) образцов. Испытания проводили с помощью обратного крутильного маятника конструкции ИММС НАН Беларуси при опорной частоте 1 Гц; точность измерений температуры составляла  $\pm 0,1$  °С,  $\text{tg}\delta \pm 3$  %,  $G' \pm 1$  %.

Данные о температурных зависимостях  $G'$  смесевых композитов использовали для расчета величины  $zG_3$ , которую определяли по методике, предложенной И. И. Перепечко [11]. Согласно данной методике, величина  $zG_3$  может служить параметром, учитывающим взаимодействия между компонентами смеси. Ее отрицательное значение указывает на слабое взаимодействие между компонентами, а положительная величина – свидетельство сильных взаимодействий.

Анализ кристаллической структуры материалов осуществляли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с помощью прибора DSC 214 Polyma (Netzsch – Gerätebau GmbH, Германия). Анализируемую пробу получали в виде поперечных срезов, взятых из средней части брусков, для определения ударной вязкости. Для устранения влияния тепловой предыстории на структуру материалов проводили повторный цикл нагрева и охлаждения. При определении температур плавления ( $T_{\text{пл}}$ ) и кристаллизации ( $T_{\text{кр}}$ ) использовали значения данных показателей, полученные при повторном испытании образцов. Масса навески составляла 7 мг, а скорости нагрева и охлаждения в токе азота – 10 °С/мин.

О кристалличности материалов в смесях судили по величине индекса кристалличности ( $\Delta I_{\text{кр}}$ ) того или иного компонента, который рассчитывали по формуле

$$\Delta I_{\text{кр}} = \frac{\Delta H_{i\text{см}}}{\Delta H_i \alpha_i},$$

где  $\Delta H_{i\text{см}}$  – теплота плавления  $i$ -го компонента в смеси;  $\Delta H_i$  – теплота плавления  $i$ -го компонента в индивидуальном состоянии;  $\alpha_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента в смеси.

ИК-спектральный анализ исследуемых материалов осуществляли на ИК-спектрометре с фурье-преобразованием Nicolet 5700 (USA). Запись спектров осуществляли при разрешении  $4 \text{ см}^{-1}$  и количестве сканирований 30. Для записи спектров использовали пленочные образцы толщиной 30–40 мкм. Обработку ИК-спектров проводили с помощью компьютерной программы OMNIC (версия 7.1).

**Результаты и их обсуждение.** Среди различных методов исследования полимеров, РС является наиболее широко применимой для определения совместимости полимерных смесей. Хорошо известно, что любые два полимера совместимы друг с другом, если для их смеси характерна одна температура стеклования ( $T_g$ ), занимающая промежуточное положение относительно  $T_g$  двух исходных полимеров [1; 12; 13].

На рис. 1, а приведены зависимости тангенса угла механических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) от температуры для исходных образцов ПАБ и АПК, а также их смесей, полученные методом РС. Согласно данным, представленным на рис. 1, а, для исходных ПАБ и АПК в области  $\alpha$ -релаксации при температуре 30,5 и 5,4 °С соответственно, наблюдаются пики  $\text{tg}\delta$ , соответствующие температурам стеклования данных полимеров. Изучение температурных зависимостей  $\text{tg}\delta$  смесей ПАБ/АПК нескольких составов показало, что для них в диапазоне температур от 0 до 40 °С наблюдается одна  $T_g$ , определяемая как температура максимума  $\text{tg}\delta$ . Положение  $T_g$  на шкале температур зависит от состава смеси ПАБ/АПК. Для смесей, обогащенных ПАБ,  $T_g$  располагается в области температур, близких к температуре максимальных потерь исходного ПАБ, с увеличением содержания АПК  $T_g$  смещается в область более низких температур, приближаясь к  $T_g$  исходного АПК.

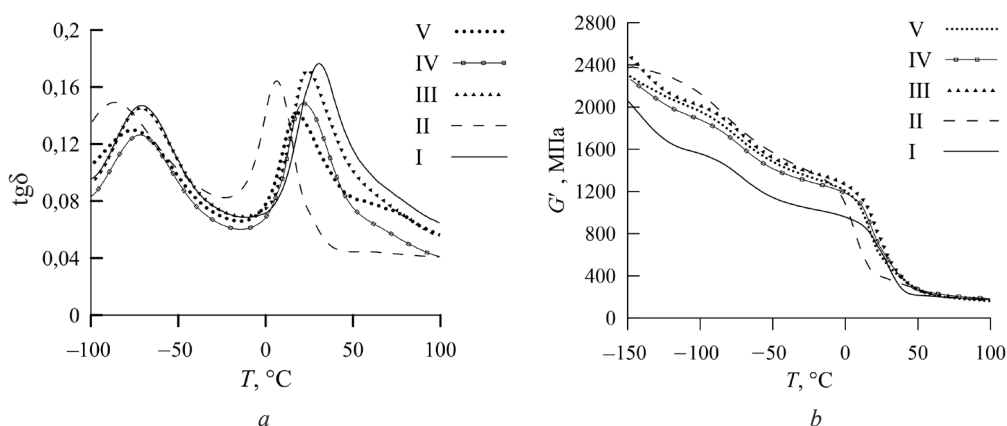


Рис. 1. Температурные зависимости  $\text{tg}\delta$  (a) и  $G'$  (b) для исходных ПА6 и АПК, а также их смесей: I – ПА6, II – АПК, III – ПА6/АПК-5 %, IV – ПА6/АПК-15 %, V – ПА6/АПК-50 %

Fig. 1. Temperature dependences of  $\text{tg}\delta$  (a) and  $G'$  (b) for initial PA6 and APK, as well as their blends: I – PA6, II – APK, III – PA6/APK-5 %, IV – PA6/APK-15 %, V – PA6/APK-50 %

Кроме того, анализ температурных зависимостей  $\text{tg}\delta$  в области более отрицательных температур (от  $-100$  до  $-25$  °C) показал, что во всех исследуемых смесях пик  $\beta$ -релаксации ПА6, ответственный за локальную подвижность мелкомасштабных структурных единиц основной цепи и боковых ответвлений, обобществляется с  $\beta$ -пиком АПК (рис. 1, a). В соответствии с литературными данными [1; 4; 12; 13], наблюдаемые явления, связанные с наличием одной  $T_g$  и зависимостью ее положения на температурной шкале от состава смеси, а также общим пиком  $\beta$ -релаксации, указывают на совместимость ПА6 и АПК на сегментальном и мелкомасштабном уровне.

Совместимость ПА6 с АПК заметным образом сказывается на величинах динамического модуля сдвига ( $G'$ ) полимерных смесей. Как следует из рис. 1, b, значения  $G'$  для смесей ПА6/АПК в области отрицательных температур превышают  $G'$  исходного ПА6, а в диапазоне положительных температур (особенно вблизи температур стеклования) превышают пределы, ограниченные значениями модулей как ПА6, так и АПК. Такое поведение  $G'$  для смесей ПА6/АПК указывает на интенсивное межфазное взаимодействие между данными полимерами [11; 13].

Важную информацию о межфазных взаимодействиях между полимерными компонентами и реализации их совместимости в исследуемых смесях дает расчет величины  $zG_3$  [11]. На рис. 2 представлены температурные зависимости величины  $zG_3$  для ПА6/АПК смесей разного состава. Из анализа данных зависимостей следует, что для смесей, содержащих небольшие концентрации АПК (5,0 мас.% и 15,0 мас.%), значения  $zG_3 \geq 0$  достигаются во всем исследуемом температурном интервале, что говорит об активном взаимодействии полимерных компонентов. При этом особенно высокие значения  $zG_3$  для данного типа смесей наблюдаются при отрицательных температурах и температурах, близких к стеклованию исходных полимеров. Для смеси срединного состава положительные значения величины  $zG_3$  располагаются в более узком температурном интервале от  $-40$  до  $50$  °C с максимумами вблизи температур стеклования индивидуальных полимерных компонентов. Видимо, в данных температурных диапазонах каждая из исследуемых смесей характеризуется наиболее интенсивными межфазными взаимодействиями и, благода-

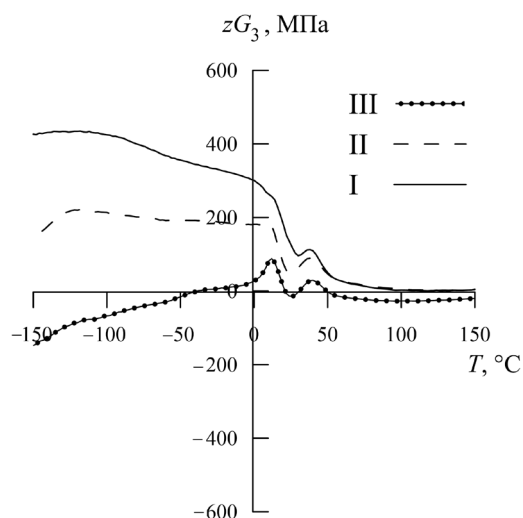


Рис. 2. Температурные зависимости величины  $zG_3$  для смесей ПА6/АПК: I – ПА6/АПК-5 %, II – ПА6/АПК-15 %, III – ПА6/АПК-50 %

Fig. 2. Temperature dependences of the magnitude  $zG_3$  for PA6/APK blends: I – PA6/APK-5 %, II – PA6/APK-15 %, III – PA6/APK-50 %



ря этому, должна наиболее ярко проявлять преимущества по механическим и другим эксплуатационным свойствам. Кроме того, данные анализа величины  $zG_3$  позволяют допустить, что интенсивность межфазных взаимодействий в ПА6/АПК смесях в значительной степени зависит от их состава и температуры.

Исходные ПА6 и АПК относятся к кристаллизующимся полимерам с ярко выраженными пиками плавления и кристаллизации на термограммах, полученных методом ДСК (таблица). Учитывая возможное сильное взаимовлияние полимерных компонентов на процессы их структурообразования, представляло большой научный интерес оценить особенности формирования кристаллических структур каждого из индивидуальных компонентов в исследуемых смесях. Из данных ДСК, представленных в таблице, видно, что характер процессов «плавление-кристаллизация» ПА6 и АПК в их смесях заметно изменился.

**Теплофизические параметры плавления и кристаллизации полимерных компонентов в ПА6/АПК смесях**  
**Thermophysical parameters of melting and crystallization of polymer components in PA6/APK blends**

Обозначение состава, мас.% Composition designation, wt.%	ПА6 фаза PA6 phase					АПК фаза APK phase				
	$T_{пл}^0, ^\circ\text{C}$ $T_m^0, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{пл}, \text{Дж/г}$ $\Delta H_m, \text{J/g}$	$\Delta I_{кр}$ $\Delta I_{cr}$	$T_{кр}^0, ^\circ\text{C}$ $T_{cr}^0, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{кр}, \text{Дж/г}$ $\Delta H_{cr}, \text{J/g}$	$T_{пл}^0, ^\circ\text{C}$ $T_m^0, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{пл}, \text{Дж/г}$ $\Delta H_m, \text{J/g}$	$\Delta I_{кр}$ $\Delta I_{cr}$	$T_{кр}^0, ^\circ\text{C}$ $T_{cr}^0, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{кр}, \text{Дж/г}$ $\Delta H_{cr}, \text{J/g}$
ПА6	221,5	49,0	1	184,7	66,8	—	—	—	—	—
АПК	—	—	—	—	—	193,1	35,3	1	153,5	48,7
ПА6/АПК-5 %	217,6	35,7	0,8	0180,1	47,6	—	—	—	—	—
ПА6/АПК-15 %	217,2	34,4	0,8	176,5	44,0	183,7	0,6	0,02	—	—
ПА6/АПК-50 %	218,3	17,0	0,7	173,8	20,2	191,0	10,7	0,6	154,0	10,5

Присутствие АПК приводит к снижению температуры плавления ( $T_{пл}^0$ ) ПА6 и замедляет его кристаллизацию, что проявляется в уменьшении значений температуры кристаллизации ( $T_{кр}^0$ ) ПА6 в смесевых композитах на 4,6–10,9 °С, а также снижении его индекса кристалличности ( $\Delta I_{кр}$ ). При этом плавление и кристаллизация АПК при малых концентрациях в бинарных смесях с ПА6 методом ДСК не регистрируется. Лишь в случае ПА6/АПК смеси, содержащей 50 мас.% АПК, прописываются четкие пики плавления (191,0 °С) и кристаллизации (154,0 °С) фазы, образованной АПК.

Таким образом, в бинарных смесях ПА6 с АПК наблюдается аморфизация АПК, смещение температур плавления ПА6 в низкотемпературную область и замедление его кристаллизации. Замедление процессов кристаллизации полимерных компонентов в смеси может быть обусловлено ростом межмолекулярного взаимодействия, в результате чего, возможно, ограничивается подвижность макромолекул и затрудняются процессы формирования кристаллических образований. Кроме того, замедление кристаллизации и смещение  $T_{кр}^0$  в низкотемпературную область связано, возможно, с образованием в смеси ПА6/АПК обширных межфазных (переходных) слоев. В этих слоях вследствие межмолекулярных взаимодействий затрудняется кристаллизация полимерных компонентов смеси [14].

Для получения дополнительной информации о межмолекулярных взаимодействиях в смесях ПА6/АПК применялся метод ИК-спектроскопии. Если два полимера образуют термодинамически несовместимую смесь, то в ИК-спектрах полимерных смесей не происходит заметных изменений относительно исходных полимеров. В случае, если два полимера совместимы, между цепями одного и другого полимеров реализуются специфические взаимодействия (водородная связь, диполь-дипольное и др.), вызывающие изменение ИК-спектров смеси (сдвиги полос, их уширение и т. д.). Для работы использовали участок ИК-спектра в области 3000–3800 см<sup>-1</sup>, отвечающий за колебание NH-группы полиамидов [15]. Указанная область представляла наибольший интерес, поскольку известно, что при формировании водородных связей –NH-группы принадлежащие ПА6 выступают в качестве протонодонорных групп, а карбонилы –C=O, входящие в состав АПК, являются активными акцепторами протонов.

На рис. 3 представлен участок ИК-спектра в области 3000–3800 см<sup>-1</sup> индивидуальных ПА и АПК, а также смесей ПА6/АПК состава 95 : 5, 85 : 15 и 50 : 50 (мас.%). Видно, что ИК-спектры

смесей ПА6/АПК имеют характерные отличия от спектров обоих индивидуальных компонентов. Наблюдаемые отличия выражаются в том, что при добавлении АПК к ПА6 происходит заметное уширение полос поглощения  $\text{-NH-}$  групп с максимумами при  $3300$  и  $3085\text{ см}^{-1}$ , которые участвуют в формировании  $\text{H-}$  связей. Одновременно наблюдается сдвиг полос при  $3085$  и  $3300\text{ см}^{-1}$  в высокочастотную область.

Данные изменения в ИК-спектрах указывают на формирование в смесевых системах ПА6/АПК водородных связей и повышение густоты сетки этих связей соответственно. По мере роста концентрации АПК в смесях ширина анализируемых ИК-полос снижается. Причина этого, видимо, связана с уменьшением количества  $\text{-NH-}$  групп, принимающих участие в водородном связывании полимерных компонентов в исследуемых смесях.

Таким образом, ИК-спектральные исследования позволяют предположить факт формирования водородных связей между макромолекулами индивидуальных полимерных компонентов в смесевых системах ПА6/АПК, что приводит к росту их совместимости, и о взаимном влиянии компонентов на густоту сетки водородных связей между полиамидными  $\text{-NH-}$  группами и  $\text{-C=O}$  группами АПК.

**Заключение.** В рамках проведенных исследований обнаружены явления, связанные с наличием одной  $T_g$  в смесях ПА6 с АПК, зависимостью ее положения на температурной шкале от состава смеси, а также общим пиком  $\beta$ -релаксации, что в совокупности указывает на совместимость ПА6 и АПК на сегментальном и мелкомасштабном уровнях.

Показано взаимовлияние полимерных компонентов в смесях ПА6/АПК на  $G'$ , которое проявляется в зависимости  $G'$  от концентрации полимеров в исследуемых смесях и выходе величины  $G'$  в диапазоне положительных температур (особенно вблизи температур стеклования) за пределы, ограниченные значениями модулей исходных ПА6 и АПК.

На основании анализа температурных зависимостей расчетной величины  $zG_3$  показано, что интенсивность межфазных взаимодействий в ПА6/АПК смесях в значительной степени зависит от их состава и температуры.

Отмечено замедление процессов кристаллизации ПА6 и АПК в их смесях, обусловленное, возможно, формированием обширных межфазных (переходных) слоев, в которых вследствие межмолекулярных взаимодействий затрудняется кристаллизация полимерных компонентов.

ИК-спектральные исследования в области  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  позволили установить процессы формирования водородных связей между полиамидными  $\text{-NH-}$  группами и  $\text{-C=O}$  группами АПК, что обеспечивает совместимость полимерных компонентов в исследуемых смесях.

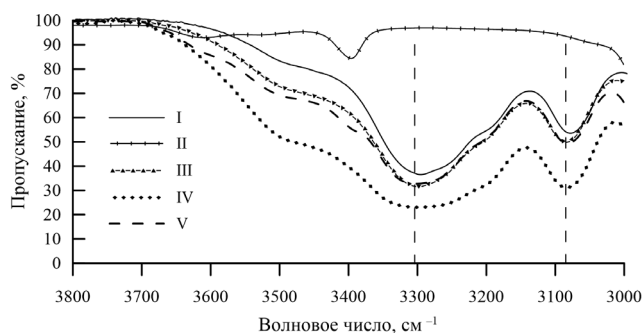


Рис. 3. Вид ИК-спектров в области  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  для исходных ПА6 и АПК, а также их смесей: I – ПА6; II – АПК; III – ПА6/АПК-5 %; IV – ПА6/АПК-15 %; V – ПА6/АПК-50 %

Fig. 3. View of IR-spectra in the range of  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  for initial PA6 and APK, as well as their blends: I – PA6; II – APK; III – PA6/APK-5 %; IV – PA6/APK-15 %; V – PA6/APK-50 %

### Список использованных источников

1. Кулезнев, В. Н. Смеси и сплавы полимеров / В. Н. Кулезнев. – СПб., 2013. – 216 с.
2. Песецкий, С. С. Смесевые полиамидные композиции и технологии их получения (обзор) / С. С. Песецкий, А. А. Богославский // Материалы. Технологии. Инструменты. – 1999. – № 2. – С. 27–38.
3. Jurkowski, B. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology and high elastic properties of melts / B. Jurkowski, S. S. Pesetskii // Polyolefin Blends / eds. D. Nwabunma, T. Kyu. – Noboken, New York, 2008. – Ch. 18. – P. 527–555. <https://doi.org/10.1002/9780470199008.ch18>
4. Utracki, L. A. Polymer Blends Handbook / L. A. Utracki, Ch. A. Wilkie. – Dordrecht, 2014. – 2378 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6064-6>
5. High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction / Hong Gu Kwon [et al.] // Journal of Elastomers and Plastics. – 2023. – Vol. 55, N 4. <https://doi.org/10.1177/00952443231158781>
6. High impact properties of Polyketone/Polyamide 6 alloys induced by characteristic morphology and water absorption / A. Asano [et al.] // Macromolecules. – 2009. – Vol. 42, N 24. – P. 9506–9514. <https://doi.org/10.1021/ma901428z>

7. Белов, Г. П. Поликетоны – чередующиеся сополимеры монооксида углерода / Г. П. Белов, Е. В. Новикова // Успехи химии. – 2004. – Т. 73, № 3. – С. 292–319.
8. Влияние химического строения на структуру и свойства чередующихся тройных сополимеров этилена, пропилена и оксида углерода / Д. В. Анохин [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 2004. – Т. 46, № 8. – С. 1364–1373.
9. Тагер, А. А. Некоторые новые представления в области растворов полимеров (обзор) / А. А. Тагер // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1984. – Т. 25, № 4. – С. 659–674.
10. Тагер, А. А. Термодинамическая совместимость полимеров / А. А. Тагер, В. С. Блинов // Успехи химии. – 1987. – Т. 56, № 6. – С. 1004–1023.
11. Вязкоупругое поведение и релаксационные процессы в смесях поликарбонат–полибутилентерефталат / И. И. Перепечко [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1993. – Т. 35, № 2. – С. 174–178.
12. Нестеров, А. Е. Термодинамика растворов и смесей полимеров / А. Е. Нестеров, Ю. С. Липатов. – Киев, 1984. – 300 с.
13. Бартнев, Г. М. Релаксационная спектроскопия полимеров / Г. М. Бартнев, А. Б. Бартнева. – М., 1992. – 383 с.
14. Берштейн, В. А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров / В. А. Берштейн, В. М. Егоров. – Л., 1990. – 256 с.
15. Инфракрасная спектроскопия полимеров / И. Дехант [и др.]. – М., 1976. – 471 с.

## References

1. Kuleznev V. N. *Polymer mixtures and alloys*. Saint Petersburg, 2013. 216 p. (in Russian).
2. Pesetskii S. S., Bogoslavskii A. A. Blended polyamide compositions and technologies for their production (review). *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty = Materials. Technologies. Tools*, 1999, no. 2, pp. 27–38 (in Russian).
3. Jurkowski B., Pesetskii S. S. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology and high elastic properties of melts. Nwabunma D., Kyu T. (eds.). *Polyolefin Blends*. New York, 2008, ch. 18, pp. 527–555. <https://doi.org/10.1002/9780470199008.ch18>
4. Utracki L. A., Wilkie Ch. A. *Polymer Blends Handbook*. Dordrecht, 2014. 2378 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6064-6>
5. Gu Kwon H., Park J., Kim N., Lee S., Shim J., Lee M., Son Y. High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2023, vol. 55, no. 4. <https://doi.org/10.1177/00952443231158781>
6. Asano A., Nishioka M., Takahashi Y., Kato A., Hikasa S., Iwabuki H., Nagata K., Sato H., Hasegawa T., Sawabe H., Arao M., Suda T., Isoda A., Mukai M., Ishikawa D., Izumi T. High impact properties of Polyketone/Polyamide-6 alloys induced by characteristic morphology and water absorption. *Macromolecules*, 2009, vol. 42, no. 24, pp. 9506–9514. <https://doi.org/10.1021/ma901428z>
7. Belov G. P., Novikova E. V. Polyketones as alternating copolymers of carbon monoxide. *Russian Chemical Reviews*, 2004, vol. 73, no. 3, pp. 267–291. <https://doi.org/10.1070/rc2004v073n03abeh000840>
8. Anokhin D. V., Neverov V. M., Chvalun S. N., Konyukhova E. V., Hollmann F., Rieger B. The effect of synthetic conditions on the structure and properties of alternating terpolymers of ethylene, propylene, and carbon monoxide. *Polymer Science, Series A*, 2004, vol. 46, no. 8, pp. 833–840.
9. Tager A. A. Some new insights into polymer solutions (review). *Polymer Science U.S.S.R.*, 1984, vol. 26, no. 4, pp. 729–747. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(84\)90238-7](https://doi.org/10.1016/0032-3950(84)90238-7)
10. Tager A. A., Blinov V. S. Thermodynamic Compatibility of Polymers. *Russian Chemical Reviews*, 1987, vol. 56, no. 6, pp. 579–590. <https://doi.org/10.1070/rc1987v056n06abeh003291>
11. Perepechko I. I., Danilov V. A., Nizhegorodov V. V., Bessonova N. P., Konyukhova E. V. Viscoelastic behaviour and relaxation in Polycarbonate/Polybutyleneterephthalate blends. *Vysokomolekulyarnye soedineniya = Polymer Science, Series A*, 1993, vol. 35, no. 2, pp. 174–178 (in Russian).
12. Nesterov A. E., Lipatov Yu. S. *The thermodynamics of polymer solutions and mixtures*. Kiev, 1984. 300 p. (in Russian).
13. Bartenev G. M., Barteneva A. B. *Relaxation spectroscopy of polymers*. Moscow, 1992. 383 p. (in Russian).
14. Bershtein V. A., Egorov V. M. *Differential scanning calorimetry in polymer physicochemistry*. Leningrad, 1990. 256 p. (in Russian).
15. Dekhant I., Danc R., Kimmer V., Shnol'ke R. *Infrared spectroscopy of polymers*. Moscow, 1976. 471 p. (in Russian).

## Информация об авторах

*Кривогуз Юрий Михайлович* – д-р техн. наук, доцент, заведующий сектором. Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: yurikriv@tut.by. ORCID: 0000-0002-1182-6938.

*Усова Виктория Николаевна* – мл. науч. сотрудник, аспирант. Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: viktoriya.usovav@mail.ru.

*Коваль Василий Николаевич* – канд. техн. наук, заведующий отделом. Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: koval\_mpri@tut.by.

## Information about the authors

*Krivoguz Yuri M.* – D. Sc (Engineering), Associate Professor, Head of the Sector. V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: yurikriv@tut.by. ORCID: 0000-0002-1182-6938.

*Usova Viktoriya N.* – Junior Researcher, Postgraduate Student. V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: viktoriya.usovav@mail.ru.

*Koval Vasili N.* – Ph. D. (Engineering), Head of the Department. V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: koval\_mpri@tut.by.