**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*УДК 538.913*

**Дополнительные материалы к статье**

**Мезоструктура композиционных материалов на основе сегментного полиуретанимида, содержащего наночастицы ферритов**

**©2020 г. В. В. Рунов1, А. Н. Бугров2,3,\*, Р. Ю. Смыслов1,2,**

**Г. П. Копица1,4, М. К. Рунова1, Б. В. Васильев2,3, Е. Н. Попова2,**

**С. А. Кириллова3, А. Феоктистов5, В. Пипич5**

*1Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова, НИЦ*

*«Курчатовский институт», мкр. Орлова роща, д. 1, Лен. область, г. Гатчина,*

*188300 Россия*

*2Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,*

*В. О. Большой пр., д. 31, г. Санкт-Петербург, 199004 Россия*

*3Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5,*

*г. Санкт-Петербург, 197376 Россия*

*4Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова Российской академии наук, наб. Макарова, д. 2, г. Санкт-Петербург, 199034 Россия*

*5Юлихский центр нейтронных исследований GmbH, г. Гархинг, 52428*

*Германия*

\**e-mail:* [*alexander.n.bugrov@gmail.com*](mailto:alexander.n.bugrov@gmail.com)

Поступила в редакцию После доработки Принята к публикации

**Ключевые слова:** малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов, мультиблок-

сополимеры, доменная структура, магнитные эластомеры

DOI:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

*Характеристики наночастиц*

Кристаллическая структура и средний размер областей когерентного рассеяния полученных наночастиц ферритов определялись с помощью метода порошковой рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku SmatrLab (Токио, Япония) в CoKα излучении. Качественный рентгенофазовый анализ магнитных наночастиц, проведенный в программном пакете PD-Win 4.0 показал их наибольшее соответствие ферриту кобальта со структурой типа шпинели [1] и алюмо-железистому гранату [2, 3], согласно базе данных ASTM (Рис. S1). Средний размер кристаллитов, вычисленный по формуле Шеррера, составил 37 ± 2 нм в случае CoFe2O4 и 13 ± 2 нм для Al3Fe5O12.

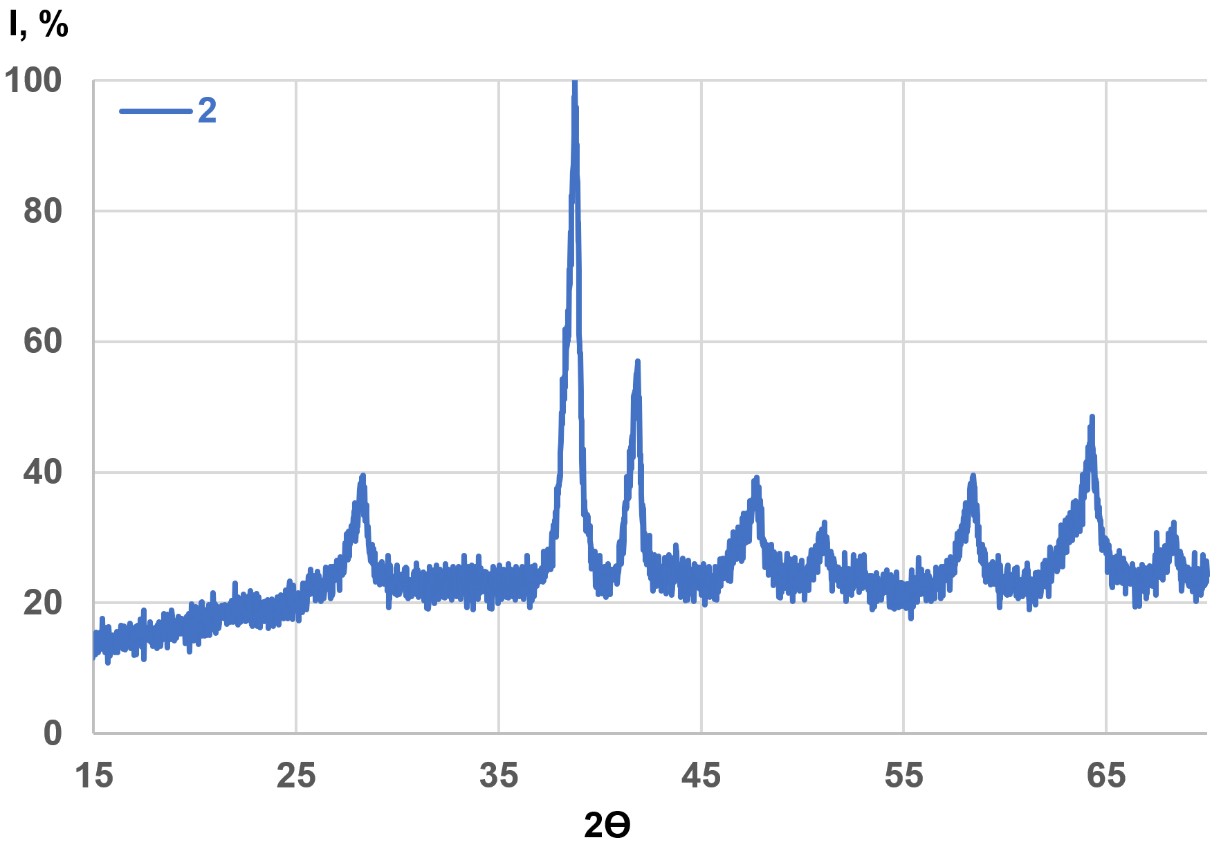
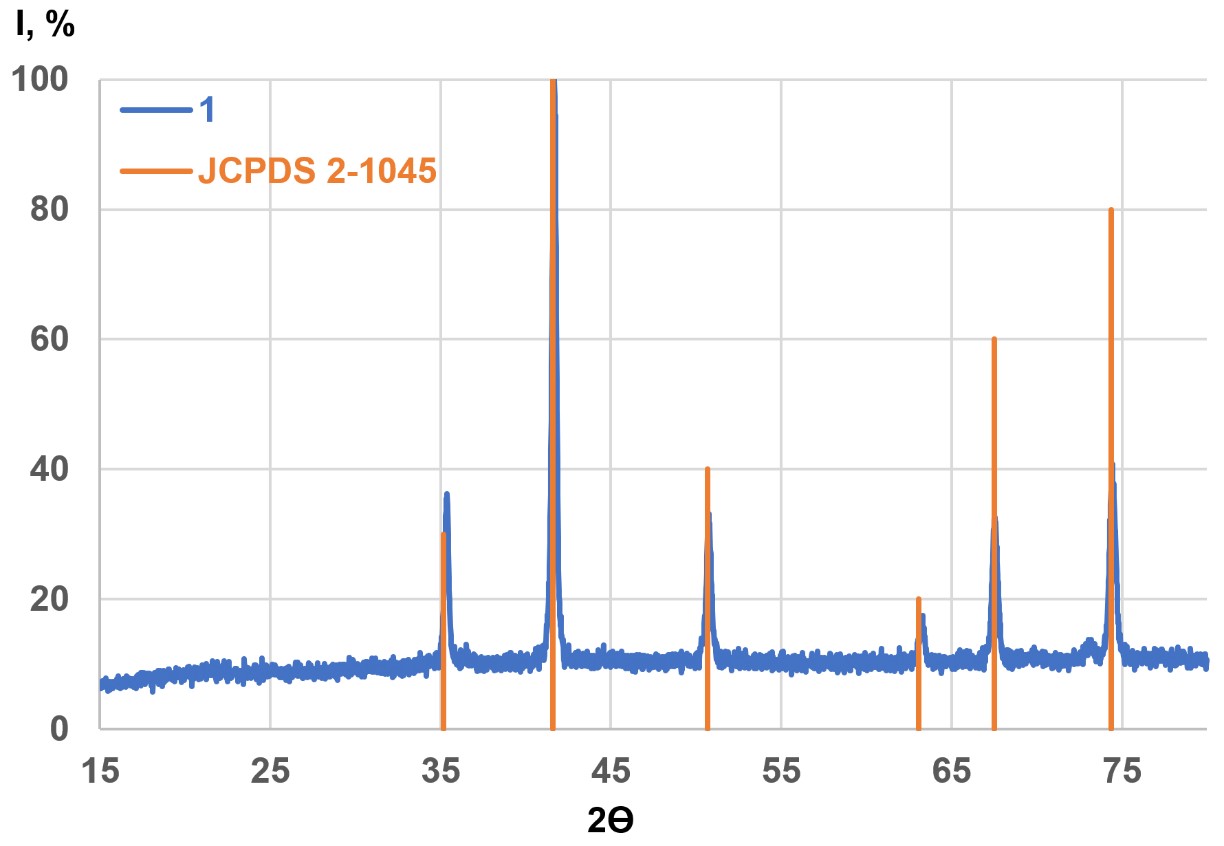
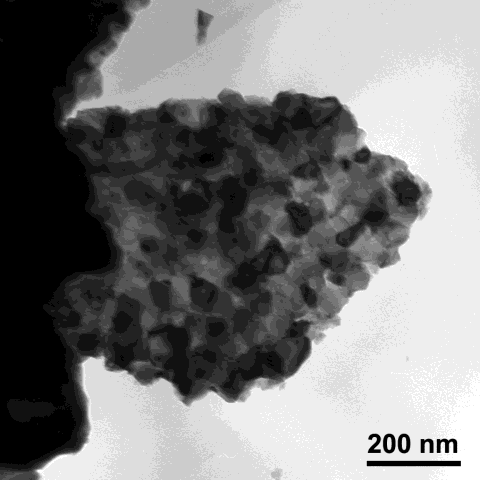
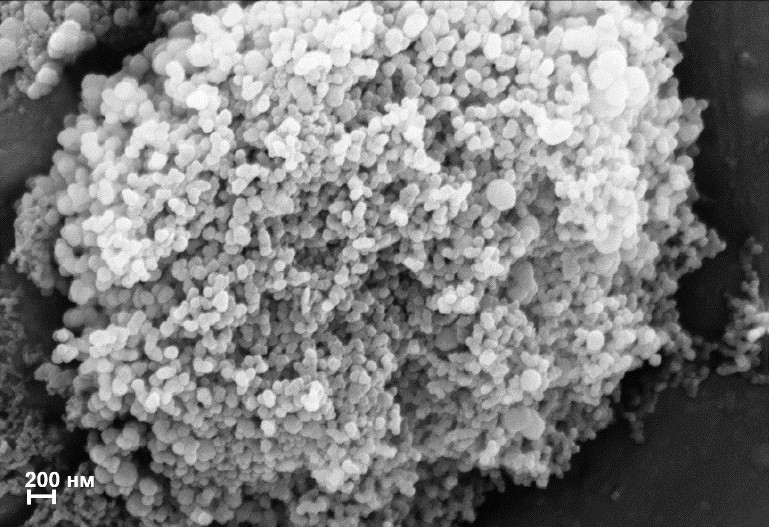


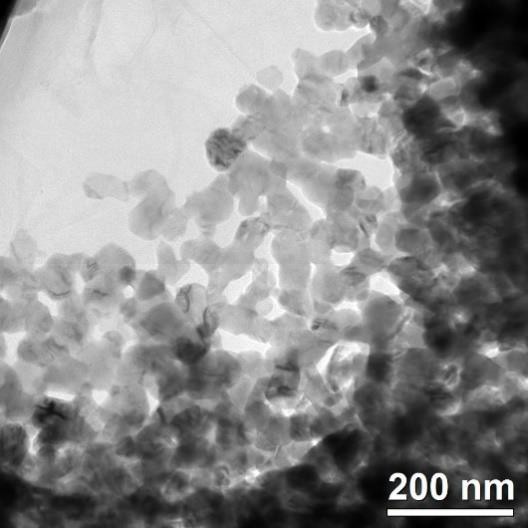
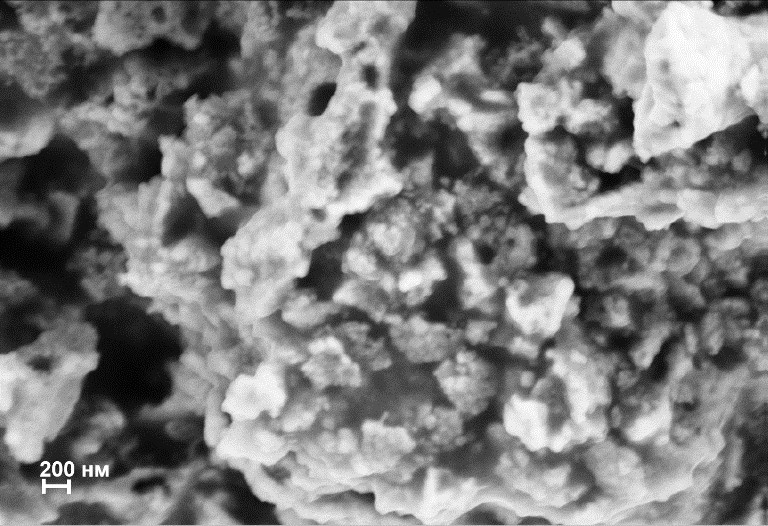
Рис. S1. Рентгеновские дифрактограммы порошков наночастиц ферритов кобальта (*1*) и алюминия (*2*).

Геометрическая форма и размеры наночастиц оценивались методами электронной микроскопии (Рис. S2). Микрофотографии, сделанные на просвечивающем JEM-2100 F (JEOL, Токио, Япония) и сканирующем Zeiss SUPRA 55VP (Carl Zeiss AG, Германия) электронных микроскопах, свидетельствуют о том, что наночастицы ферритов кобальта и алюминия имеют квазисферическую форму со средним диаметром 60 ± 10 нм.

**1**



**2**



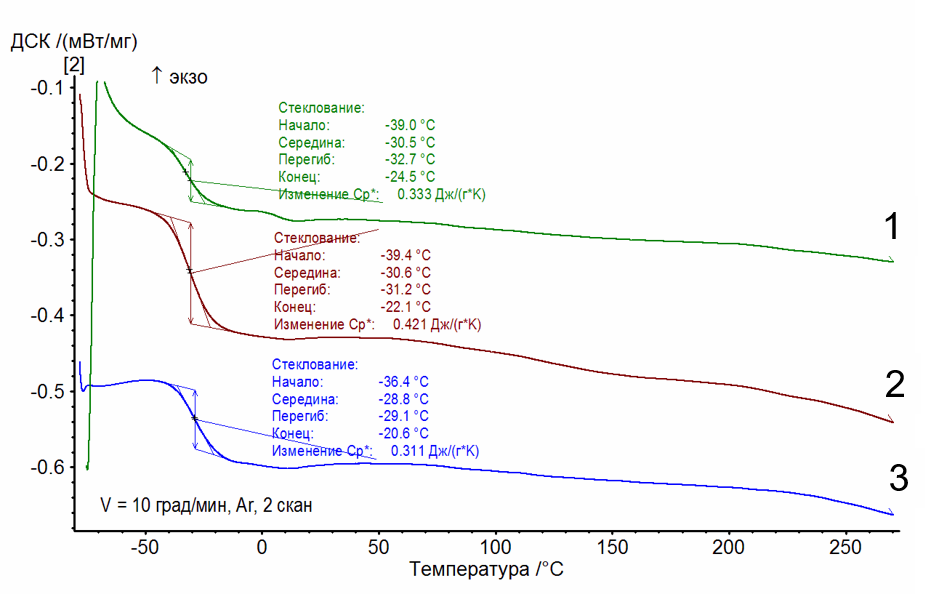
**а б**

**Рис. S2.** Микрофотографии сканирующей (*а*) и просвечивающей (*б*) электронной микроскопии для порошков наночастиц ферритов кобальта (*1*) и алюминия (*2*).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие релаксационных и фазовых переходов, а также их температурные значения для мультиблочного полиуретанимида и магнитных эластомеров на его основе были установлены методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с помощью прибора DSC 204 F1 Phoenix (Netzsch, Германия). Согласно кривым ДСК температура перехода гибких алифатических сегментов из стеклообразного в высокоэластическое состояние как для ненаполненного

мультиблок-сополимера, так и для его композитов составила -30 °С (Рис. S3). Таким образом, введение в состав полимерной матрицы на стадии ее получения магнитных наночастиц, предварительно функционализированных NH2 группами, не оказывает влияние на молекулярную подвижность и упорядочение гибких алифатических сегментов по данным ДСК. Тепловых эффектов, обусловленных кристаллизацией или плавлением гибких сегментов, равно как и упорядочением ароматических блоков для исследованных систем не наблюдается (Рис. S3).



**Рис. S3** Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии мультиблочного полиуретанимида (Р-ТДИ-ПДЭГА 2500-ТДИ-P)CОД (*1*) и магнитных эластомеров на его основе с 10 мас.% наночастиц CoFe2O4 (*2*) или Al3Fe5O12 (*3*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Natta G., Passerini L.* // Gazz. Chim. Ital. 1929. V. 59. P. 286.

2. *Sadhana K., Naina Vinodini S.E., Sandhya R. et al.* // Adv. Mater. Lett. 2015. V. 6. №

8. P. 717–725. doi: 10.5185/amlett.2015.5874

3. *Yahya N., Masoud R.A.H., Daud H. et al*. // Am. j. eng. appl. sci. 2009. V. 2. № 1. P.

76–79.