



ПОЛУЧЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ АЛКОГОЛИЗА СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ

А. А. Шабарин, А. А. Шабарин, В. Н. Водяков
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. Непрерывный рост производства и потребления полимерной упаковки порождает серьезную проблему ее утилизации, которая носит, прежде всего, экологический характер, поскольку содержимое свалок, разлагаясь в течение десятков лет, выделяет токсичные соединения, отравляющие окружающую среду. Работа посвящена получению и изучению физико-механических и реологических характеристик биоразлагаемых композиционных материалов на основе полиэтилена и крахмала.

Материалы и методы. В работе были использованы полиэтилен марки ПЭНД 273-83 (ГОСТ 16338-85), сэвилен марки СЭВА 12206-007 (ТУ 6-05-1636-97), наполнителем являлся картофельный крахмал (ГОСТ 53876-2010). Функционализацию СЭВА проводили в 30%-ном этанольном растворе *КОН* при температуре 80 °С в течение 3 ч. Компаундирование компонентов проводилось на лабораторном двухроторном смесителе «Haake PolyLab Rheomix 600 OS» с роторами «Banbury». Формование пластин для упругопрочностных и реологических исследований проводили на гидравлическом прессе «Gibitre», упругопрочностные и реологические испытания проведены соответственно на разрывной машине «UAI-7000 М» и реометре «Haake MARS III». Влажность наполнителя (крахмала) определяли термogravиметрическим методом на анализаторе влажности «Эвлас-2М».

Результаты исследования. Показано, что наполнитель не должен содержать > 7 % влаги. Методом щелочного алкоголиза проведена функционализация сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА). Наличие гидроксильных групп в полимере подтверждено методом ИК-спектроскопии. Применение в качестве компатибилизатора функционализированного методом алкоголиза (СЭВАФ) позволило значительно улучшить физико-механические и реологические характеристики композиционных материалов. Оптимальное содержание СЭВАФ в компаунде, согласно результатам экспериментов, составляет 10 %.

Обсуждение и заключение. Применение СЭВАФ в качестве компатибилизатора позволяет значительно улучшить физико-механические и реологические характеристики биоразлагаемых композиционных материалов и открывает перспективы применения более дешевых крахмалосодержащих наполнителей – отходов агропромышленного комплекса и пищевой промышленности.

Ключевые слова: биоразложение, биоразлагаемые материалы, полиэтилен, сэвилен, крахмал, функционализированный сэвилен

Для цитирования: Шабарин А. А., Шабарин А. А., Водяков В. Н. Получение биоразлагаемых материалов на основе полиэтилена и функционализированного методом алкоголиза сополимера этилена с винилацетатом // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 259–268. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201602.259-268

MANUFACTURING BIODEGRADABLE COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYETHYLENE AND FUNCTIONALIZED BY ALCOHOLYSIS OF ETHYLENE-VINYL ACETATE COPOLYMER

A. A. Shabarin, A. A. Shabarin, V. N. Vodyakov

National Research Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. The continuous growth of production and consumption of plastic packaging creates a serious problem of disposal of package. This problem has ecological character, because the contents of the landfills decompose for decades, emit toxic compounds and pollute the environment. The work is devoted to obtaining and investigation mechanical and rheological properties of biodegradable composite materials based on polyethylene and starch.

Materials and Methods. In this work the author used polyethylene grade HDPE 273-83 (GOST 16338-85), Sevilen brand 12206-007 (TU 6-05-1636-97) and potato starch (GOST 53876-2010) as a filler. Functionalization of sevilen was carried in the 30 % ethanol solution KOH at a temperature 80 °C during 3 hours. Compounding components was carried out at the laboratory of the two rotary mixer HAAKE PolyLab Rheomix 600 OS with rotors Banbury. Formation of plates for elastic strength and rheological studies were carried out on a hydraulic press Gibitre. Elastic and strength tests were carried out on the tensile machine the UAI-7000 M. Rheology tests were carried out on the rheometer Haake MARS III. The humidity filler (starch) authors determined by the thermogravimetric method on the analyzer of moisture "Evlas-2M".

Results. It is shown, that the filler should not contain more than 7% moisture. Functionalization of ethylene with vinyl acetate copolymer (sevilen) has performed by the method of alkaline alcoholysis. By the method of IC – spectroscopy the authors confirmed the presence of hydroxyl groups in the polymer. Using as a compatibilizer functionalized by the method of alcoholises has greatly (significantly) improved physical, mechanical and rheological properties of composite materials. Optimal content of sevilen (F) in the compound according to the results of experiments amount 10 %.

Discussion and Conclusions. Using of functionalized by the method of alcoholysis ethylene-vinyl acetate copolymer as a compatibilizer can significantly improve the physical, mechanical and rheological properties of biodegradable composite materials and offers the possibilities of using more cheaper starchy fillers - wastes of agriculture and food industry.

Keywords: biodegradability, biodegradable materials, polyethylene, sevilen, starch, functionalized sevilen

For citation: Shabarin AA, Shabarin AA, Vodyakov VN. Manufacturing biodegradable composite materials based on polyethylene and functionalized by alcoholysis of ethylene-vinyl acetate copolymer. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 2(26):259-268. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201602.259-268

Введение

Пленки из полиэтилена низкого (ПЭНД) и высокого (ПЭВД) давления, а также их смесей уже длительное время применяются в различных отраслях промышленности. Их используют для упаковки пищевых продуктов, промышленных товаров, корма для животных, бытовой химии, мебели и строительных материалов и др. Непрерывный рост производства

и потребления таких пленок порождает серьезную проблему их утилизации, которая носит, прежде всего, экологический характер, поскольку содержимое свалок разлагается в течение десятков лет и, выделяя токсичные соединения, отравляет окружающую среду [1]. Придание синтетическим полимерам свойства биоразлагаемости [2] (за счет введения в термопласты различных модифицирующих добавок [3–5]) явля-



ется наиболее перспективным и экономически выгодным направлением, поскольку технологические процессы производства пленок осуществляются в промышленных масштабах. Основным достоинством данных материалов является их способность к биодеструкции с образованием безвредных для живой и неживой природы веществ. При этом по физико-механическим и реологическим характеристикам они не уступают материалам из нефтехимического сырья. Основной задачей исследований в данном направлении является подбор таких модификаторов, которые способствуют сохранению эксплуатационных характеристик пленок только в течение периода потребления, после чего обеспечивают их разрушение за относительно короткий промежуток времени нахождения в естественных условиях под воздействием таких природных факторов как свет, температура, влага, а также при участии микроорганизмов.

Важной задачей при получении данных композиционных материалов является достижение термодинамической совместимости полимера и наполнителя.

Целью настоящей работы является получение и исследование физико-механических свойств биоразлагаемых композиционных материалов на основе ПЭНД и крахмала с применением в качестве компатибилизатора функционализированного методом щелочного алкоголиза сополимера этилена с винилацетатом (СЭВАФ).

Обзор литературы

Эффективная и безопасная утилизация полимерных упаковочных материалов является одной из основных задач современного общества. Один из наиболее эффективных способов ее решения заключается в создании композиционных материалов на основе полиолефинов и различных природных наполнителей [6–7]. Наиболее часто для наполнения полимерных композитов

используют крахмал [7–9]. Однако при этом возникает проблема термодинамической совместимости различных по природе веществ. Для снижения межфазного натяжения между компонентами используют компатибилизаторы, обладающие термодинамической совместимостью с полимером и наполнителем. В ряде случаев данным требованиям удовлетворяет СЭВА [10]. Для образования водородных связей в композите между крахмалом и компатибилизатором желательно наличие в молекуле последнего гидроксо-групп. Для решения этой задачи целесообразно подвергнуть сэйвлен реакции щелочного алкоголиза [11].

Материалы и методы

В работе были использованы полиэтилен марки ПЭНД 273-83 (ГОСТ 16338-85), сэйвлен марки СЭВА 12206-007 (ТУ 6-05-1636-97), наполнителем являлся картофельный крахмал (ГОСТ 53876-2010). Компаундирование компонентов проводилось на лабораторном двухроторном смесителе «HAAKE PolyLab Rheomix 600 OS» с роторами «Banbury» по методике, изложенной в работе [12].

Для проведения исследований методом горячего прессования на гидравлическом прессе «Gibitre» были сформированы пластины размером 200×200×1 мм, из которых штанцем вырубались стандартные образцы (полоски размером 150×20 мм и диски диаметром 20 мм) для упругопрочностных (ГОСТ 11262-80) и реологических исследований соответственно.

Упругопрочностные испытания подготовленных образцов проводились на разрывной машине «UAI-7000 M» при температуре 23 ± 2 °C и скорости растяжения 10 мм/мин. Предел прочности и модуль упругости были вычислены по ГОСТ 11262-80 и ГОСТ 9550-81. Реологические испытания проводились на реометре «Haake MARS III» в динамическом режиме.

Влажность наполнителя (крахмала) была определена термогравиметрическим методом на анализаторе влажности «Эвлас-2М».

Для функционализации СЭВА методом алкоголиза использовали 30%-ный раствор *КОН* в очищенном перегонкой над магнием этаноле. Реакцию проводили при температуре 80 °С в течении 3 ч. Наличие образовавшихся гидроксильных групп на поверхности гранул СЭВА определяли с помощью ИК-спектроскопии на Фурье-ИК спектрометре «ИнфРАЛЮМ ФТ 02».

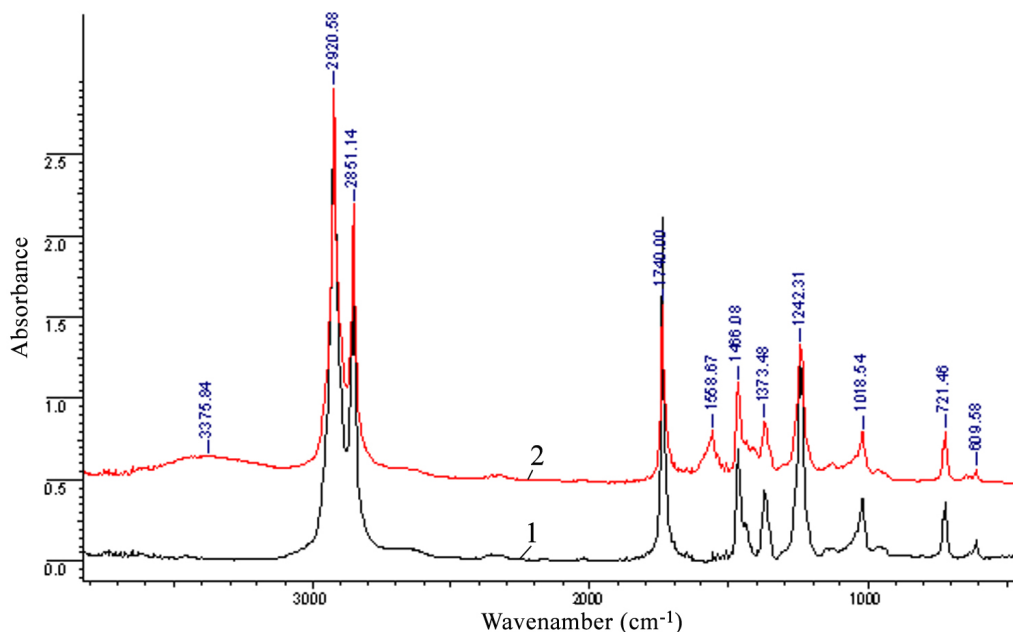
Результаты исследования

При производстве биоразлагаемых композиционных материалов на основе полиолефинов важной задачей является достижение термодинамической совместимости полимера и наполнителя. Для ее решения в полимерные смеси вводят compatibilizers, в качестве которых наиболее часто используют по-

лимеры, содержащие функциональные группы, родственные одному или обоим компонентам композиции. Это позволяет совмещать полимер и наполнитель, а также способствует образованию между ними химических и физических связей. Размещаясь на границе раздела фаз, compatibilizers, как правило, снижают межфазовое натяжение, в результате чего уменьшаются размеры доменов в этих фазах и, следовательно, наблюдается улучшение физико-механических характеристик таких материалов [11].

В качестве compatibilizer нами предложено применение сэвилена марки СЭВА 12206-007, функционализированного методом алкоголиза. Функционализацию полимера проводили в 30%-ном этанольном растворе *КОН* при температуре 80 °С в течении 3 ч.

На рис. 1 приведены спектры исходного (кривая 1) и функционализированного (кривая 2) сэвиленов.



Р и с. 1. ИК-спектры СЭВА 12206-007: 1 – исходного; 2 – функционализированного

F i g. 1. IC-spectrs of sevilen 12206-007: 1 – the original; 2 – functionalized



Из рисунка видно, что кривые отличаются по интенсивности характеристических полос в области 1 019, 1 242, 1 373, 1 740 см^{-1} и появлением нового широкого плато в области 3 300 – 3 500 см^{-1} (кривая 2), которую относят к валентным колебаниям ОН-групп. Это дает основание считать, что часть ацетатных групп на поверхности гранул СЭВА замещается на гидроксильные группы. Появление на кривой 2 дополнительной полосы в области 1 558 см^{-1} позволяет предположить, что функционализированный сэвилен не пол-

ностью отмыт от ацетата калия, который образуется как побочный продукт реакции алкоголиза.

Крахмал является достаточно гигроскопичным веществом, поэтому на начальном этапе было исследовано влияние его влажности на механические характеристики композиционных материалов. Массовые доли ПЭНД 273-83, СЭВА 12206-007 и крахмала составляли 70, 10 и 20 % соответственно, при этом влажность последнего варьировалась в пределах от 12,7 до 2,74 %. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Влияние влажности крахмала на механические характеристики образцов на основе ПЭНД 273-83, СЭВА 12206-007 и крахмала

Effect of humidity starch on mechanical properties of samples based on 273-83 HDPE, sevilen 12206-007, starch

Влажность крахмала / Humidity of starch, %	Модуль упругости, МПа / Elastic module, MPa	Относительное удлинение / Relative elongation, %	Предел прочности, МПа / Strength limit, MPa
12,70	186 ± 5	20	11,20 ± 0,40
6,58	292 ± 15	122	15,11 ± 0,23
2,74	274 ± 53	202	15,11 ± 0,16

Из табл. 1 следует, что влажность наполнителя не должна превышать 7 %, поскольку по мере ее снижения значительно возрастают модуль упругости, предел прочности и удлинение компаунда при растяжении.

В табл. 2 представлены результаты упругопрочностных испытаний композитов различного состава. Было выявлено, что по мере увеличения массовой доли СЭВА и уменьшения массовой доли полиэтилена в композиционном материале наблюдается некоторое снижение модуля упругости

и прочности, но при этом возрастает относительное удлинение компаунда при растяжении. Последнее является важным для реализации процессов макромолекулярной ориентации при получении упрочненных пленок методом вытяжки.

При прочих равных условиях применение СЭВАФ позволяет заметно улучшить физико-механические характеристики композиционных материалов. Это связано, как было отмечено выше, со способностью гидроксильных групп функционализированного сэви-

лена образовывать водородные связи с атомами кислорода, входящими в состав молекул крахмала, что способствует лучшему совмещению полиэтилена и крахмала за счет снижения межфаз-

ного натяжения на границе поверхности раздела фаз *полимер – наполнитель*. Оптимальное содержание СЭВАФ в компаунде, согласно результатам экспериментов, составляет 10 %.

Таблица 2

Table 2

Механические характеристики образцов композитов на основе ПЭНД, СЭВА и крахмала (влажность – 2,74 %)

Mechanical characteristics on the basis of samples of HDPE, sevilen and starch (moisture content 2,74 %)

Состав / Composition	Модуль упругости, МПа / Elastic module, MPa	Относительное удлинение / Relative elongation, %	Предел прочности, МПа / Strength limit, MPa
ПЭНД 80 %, крахмал 20 % / HDPE 80 %, starch 20 %	300 ± 9	108	18,22 ± 0,32
ПЭНД 75 %, СЭВА 5 %, крахмал 20 % / HDPE 75 %, sevilen 5 %, starch 20 %	281 ± 6	500	14,90 ± 0,20
ПЭНД 70 %, СЭВА 10 %, крахмал 20 % / HDPE 70 %, sevilen 10 %, starch 20 %	274 ± 53	202	15,11 ± 0,16
ПЭНД 65 %, СЭВА 15 %, крахмал 20 % / HDPE 65 %, sevilen 15 %, starch 20 %	249 ± 11	500	13,05 ± 0,18
ПЭНД 75 %, СЭВАФ 5 %, крахмал 20 % / HDPE 75 %, functionalized sevilen 5 %, starch 20 %	292 ± 9	130	14,80 ± 0,20
ПЭНД 70 %, СЭВАФ 10 %, крахмал 20 % / HDPE 70 %, functionalized sevilen 10 %, starch 20 %	315 ± 21	270	15,88 ± 0,21
ПЭНД 65 %, СЭВАФ 15 %, крахмал 20 % / HDPE 65 %, functionalized sevilen 15 %, starch 20 %	301 ± 12	251	15,22 ± 0,16

Для сравнительной оценки технологичности полученных компаундов были проведены реологические исследования при температурах 150, 160, 170, 180 °С, отвечающих процессам получения пленок методом плоскощелевой экструзии.

Методика реологических испытаний расплавов композитов в динамическом режиме на реометре «Нааке

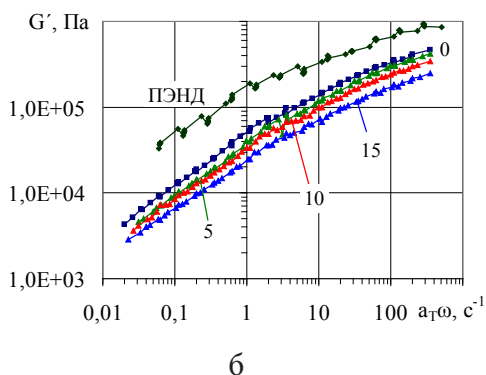
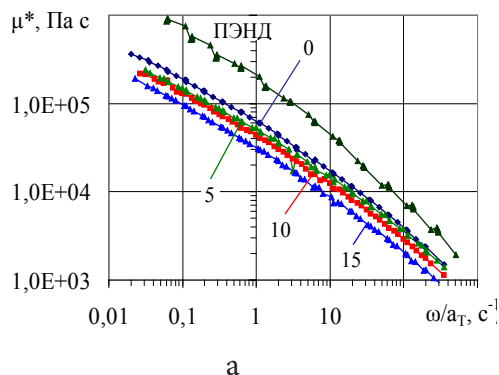
MARS III» подробно описана в работе [13]. Согласно соотношениям Кокса-Мерца, такие испытания эквивалентны испытаниям со вращающимся ротором, если его угловая скорость соответствует скорости сдвига расплава, достигаемой при вращении осциллирующего ротора. При обработке результатов, полученных для различных температур, был использован принцип темпера-



турно-временной суперпозиции Больцмана, позволивший получить кривые зависимости динамического модуля сдвига G' и комплексной вязкости μ^* от угловой скорости осциллирующего ротора ω в более широком диапазоне ее изменения.

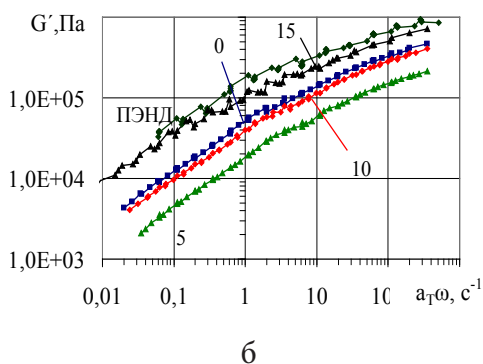
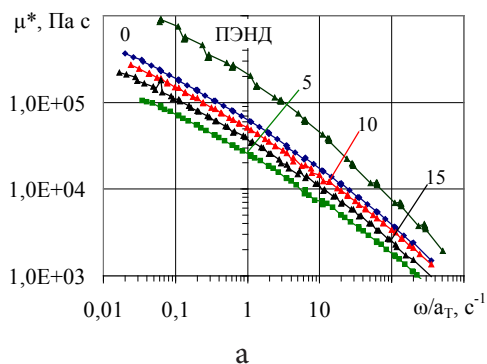
На рис. 2 представлены зависимости комплексной вязкости и динамического

модуля сдвига, характеризующего упругость расплава, при температуре приведения 150°C от скорости сдвига (угловой скорости осцилляций ротора при амплитуде $0,001$ рад.) для четырех концентраций компатибилизатора (СЭВА 12206-007). На рис. 3 представлены аналогичные зависимости для четырех концентраций СЭВАФ.



Р и с. 2. Зависимости комплексной вязкости (а) и динамического модуля сдвига (б) расплавов композитов от угловой скорости ротора, приведенные к $T_0 = 150^\circ\text{C}$, для различных концентраций СЭВА (цифры у кривых, %); a_T – температурный фактор сдвига

F i g. 2. Dependence of the complex viscosity (a) and dynamic shear modulus (b) of the molten composite angular velocity given to $T_0 = 150^\circ\text{C}$, for different concentrations of sevilen (F) (figures on the curves, %); a_T – Temperature shift factor



Р и с. 3. Зависимости комплексной вязкости (а) и динамического модуля сдвига (б) расплавов композитов от угловой скорости ротора, приведенные к $T_0 = 150^\circ\text{C}$, для различных концентраций СЭВАФ (цифры у кривых, %); a_T – температурный фактор сдвига

F i g. 3. Dependence of the complex viscosity (a) and dynamic shear modulus (b) of the molten composite angular velocity given to $T_0 = 150^\circ\text{C}$, for different concentrations of sevilen (F) (figures on the curves, %); a_T – temperature shift factor

Как видно из графиков, комплексная вязкость и модуль сдвига рассматриваемых расплавов с различным типами компатибилизаторов находятся практически на одном уровне. При этом введение крахмала и компатибилизатора способствует существенному снижению вязкости и упругости расплавов, что является свидетельством значительного улучшения технологичности композиций по сравнению с ПЭНД 273-83.

Обсуждение и заключения

Применение СЭВАФ в качестве компатибилизатора позволяет улучшить физико-механические и реологические характеристики биоразлагаемых композиционных материалов. Проведенные исследования открывают перспективы применения более дешевых крахмалосодержащих наполнителей (отходов АПК и пищевой промышленности) для получения биоразлагаемых материалов для упаковки продукции АПК и пищевой промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Biodegradable polymers and plastics / Eds. E. Chiellini, R. Solaro. New York : Springer, 2003. 395 p.
2. Тасекеев М. С., Еремеева Л. М. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК : анализ. обзор. Алматы : НЦ НТИ, 2009. 200 с. URL: http://bio.sfu-kras.ru/files/2540_Proizvodstvo_biopolimerov.pdf.
3. Пантюхов П. В., Монахова Т. В., Попов А. А. Композиционные материалы на основе полиэтилена и лигноцеллюлозных наполнителей: структура и свойства // Башкирский химический журнал. 2012. № 2. С. 111–117. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnye-materialy-na-osnove-polietilena-i-lignotsellyuloznyh-napolniteley-struktura-i-svoystva-1>.
4. Попов А. А., Пантюхов П. В., Монахова Т. В. Свойства композиционных материалов, полученных на основе полиэтилена и лигноцеллюлозы // Новое в полимерах и полимерных композитах. 2012. № 2. С. 141–149.
5. Во Тхи Хоай Тху. Модифицированные биоразлагаемые композиционные материалы на основе полиэтилена : автореф. дис. ... канд. тех. наук // Москва, 2009. 23 с. URL: http://www.muctr.ru/acadc/soisc/files/Vo_Txi_Xoai_Txu.pdf.
6. Термо- и фотоокисление биодеструктурируемых композиций на основе полиэтилена и природных наполнителей / Ю. К. Луканина [и др.] // Пластические массы. 2007. № 5. С. 40–42.
7. Деструкция материалов на основе ПЭВД и природных наполнителей / П. Н. Пантюхов [и др.] // Пластические массы. 2012. № 2. С. 40–42. URL: http://www.plastjournal.ru/upload/iblock/a0f/2012_02_40_42.pdf.
8. Шериева М. Л., Шустов Г. Б., Шетов Р. А. Биоразлагаемые композиции на основе крахмала // Пластические массы. 2004. № 10. С. 29–31.
9. Электретные свойства композиций полипропилена с крахмалом / М. Ф. Галиханов [и др.] // Материаловедение. 2010. № 1. С. 60–63. URL: <http://ntb.misis.ru:591/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:493678/Source:default>.
10. Влияние содержания винилацетатных звеньев в этилен-винилацетатном сополимере на свойства древесно-полимерных композитов / А. Е. Шкуро [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 14. С. 92–95. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-soderzhanie-vinilatsetatnyh-zveniev-v-etilen-vinilatsetatnom-sopolimere-na-svoystva-drevesno-polimernyh-kompozitov>.
11. Функционализация сополимеров этилена с винилацетатом методом алккоголиза и их свойства / В. Д. Мышак [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. 2013. № 5. С. 38–44. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchem_2013_5_9.



12. Кузьмин А. М., Водяков В. Н. Получение термопластичных композиционных материалов на основе растительных отходов АПК компаундированием компонентов на двухроторном лабораторном смесителе Rheomix 600 OS / под ред. А. В. Котина [и др.] ; отв. за вып. М. А. Березин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 283–287.

13. Кузьмин А. М., Водяков В. Н. Влияние дисперсности наполнителя на физико-механические и реологические свойства термопластичных композиционных материалов / под ред. А. В. Котина [и др.] ; отв. за вып. М. А. Березин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 353–362.

Поступила 19.02.2016; принята к публикации 23.03.2016; опубликована онлайн 20.06.2016

Об авторах:

Шабарин Александр Александрович, аспирант кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5639-4203>**, shabarinalalex@gmail.com

Шабарин Александр Александрович, доцент кафедры общей и неорганической химии Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат химических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6804-8471>**, shab_aa@mail.ru

Водяков Владимир Николаевич, профессор кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции Института физики и химии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, **ORCID: orcid.org/0000-0002-4687-1798**, vnvod@mail.ru

REFERENCES

1. Chiellini E, Solaro R, editors. Biodegradable polymers and plastics. New York: Springer; 2003.
2. Tasekeyev MS. Proizvodstvo biopolimerov kak odin iz putey resheniya problem ekologii i APK : analiticheskiy obzor [Biopolymers production as one of the solutions to environmental problems and agribusiness: an analytical review]. Almaty: SC STI Publ.; 2009. Available from: http://bio.sfu-kras.ru/files/2540_Proizvodstvo_biopolimerov.pdf. (In Russ.)
3. Pantyukhov PV, Monakhov TV, Popov AA. Kompozitsionnyye materialy na osnove polietilena i lignotsellyuloznykh napolniteley: struktura i svoystva [Composite materials based on polyethylene and lignotsel-lyuloznyh fillers structure and properties]. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* = Bashkir Chemical Journal. 2012; 2:111-117. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnyye-materialy-na-osnove-polietilena-i-lignotsellyuloznykh-napolniteley-struktura-i-svoystva-1>. (In Russ.)
4. Popov AA, Pantyukhov PV, Monakhova TV. Svoystva kompozitsionnykh materialov, poluchennykh na osnove polietilena i lignotsellyulozy [The properties of composite materials obtained on the basis of polyethylene and lignocellulose]. *Novoye v polimerakh i polimernykh kompozitakh* = New Products in Polymers and Polymer Composites. 2012; 2:141-149. (In Russ.)
5. Vo Thi Hoai Thu Modifitsirovannyye biorazлагаemye kompozitsionnyye materialy na osnove polietilena [Modified biodegradable composites based on polyethylene]. Abstract of Ph.D. thesis. Moscow; 2009. Available from: http://www.muctr.ru/acade/soisc/files/Vo_Txi_Xoai_Txu.pdf. (In Russ.)
6. Lukanina YK, Hwatov AV, Kolesnikov NN, Korolev AV, Popov AA, Monakhova TV. Termoi fotookisleniye biodestruktsiруemykh kompozitsiy na osnove polietilena i prirodnykh napolniteley [Thermal and photooxidation of biodegradable compositions based on polyethylene and natural fillers]. *Plasticheskiye massy* = Plastics. 2007; 5:40-42. (In Russ.)
7. Pantyukhov PN, Hwatov AV, Monakhov TV, Popov AA, Kolesnikova NN. Destruktsiya materialov na osnove PEVD i prirodnykh napolniteley [Destruction of materials based on LDPE and natural fillers]. *Technical science*

Plasticheskiye massy = Plastics. 2012; 2:40-42. Available from: http://www.plastjournal.ru/upload/iblock/a0f/2012_02_40_42.pdf. (In Russ.)

8. Sheriyeva ML, Shustov GB, Shetov RA. Biodegradable compositions based on starch. *Plasticheskiye massy* = Plastics. 2004; 10:29-31. (In Russ.)

9. Galikhanov MF, Zagrutdinova AK, Astrakhantseva MN, Deberdeyev RJ, Muslimov AA, Galikhanov MF. Elektretnyye svoystva kompozitsiy polipropilena s krakhmalom [The electret properties of polypropylene compositions with starch]. *Materialovedeniye* = Materials Science. 2010; 1:60-63. Available from: <http://ntb.misis.ru:591/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:493678/Source:default>. (In Russ.)

10. Shkuro AYe, Gluhwihw VV, Mukhin NM, Osanina YeI, Grigorov IG, Stoyanov OV. Vliyaniye soderzhaniya vinilatsetatnykh zveniyev v etilen-vinilatsetatnom sopolimere na svoystva drevessopolimernykh kompozitov [Influence of the content of vinyl acetate in the ethylene-vinyl acetate copolymer on the properties of wood-plastic composites]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* = Kazan Technological University Bulletin. 2012; 14:92-95. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-soderzhanie-vinilatsetatnykh-zveniev-v-etilen-vinilatsetatnom-sopolimere-na-svoystva-drevessopolimernykh-kompozitov>. (In Russ.)

11. Myshak VD, Grishchenko VV, Semynog VV, Boyko VP, Lebedev YeV. Funktsionalizatsiya sopolimerov etilena s vinilatsetatom metodom alkogolizatsii i ikh svoystva [The functionalization of ethylene-vinyl acetate copolymers and their method of alcoholism properties]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* = Problems of chemistry and chemical technology. 2013; 5:38-44. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchem_2013_5_9. (In Russ.)

12. Kuzmin AM, Vodyakov VN. Polucheniye termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov na osnove rastitelnykh otkhodov APK kompaundirovaniyem komponentov na dvukhrotornom laboratornom smesitele Rheomix 600 OS [Preparation of thermoplastic composite materials based on vegetable waste APK compounding components on double-rotor laboratory mixer Rheomix 600 OS]. In: Kotin AV, et al, editor. *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy : mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik* [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. Saransk: Mordovia University Publ.; 2013:283-287. (In Russ.)

13. Kuzmin AM, Vodyakov VN. Vliyaniye dispersnosti napolnitelya na fiziko-mekhanicheskiye i reologicheskiye svoystva termoplastichnykh kompozitsionnykh materialov [Influence of dispersion of the filler on the physico-mechanical and rheological properties of thermoplastic composites]. In: Kotin AV, et al, editor. *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy : mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik* [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. Saransk: Mordovia University Publ.; 2013:353-362. (In Russ.)

Submitted 19.02.2016; accepted for publication 23.03.2016; published online 20.06.2016

About the authors:

Aleksandr A. Shabarin, postgraduate student of Mechanization of Agricultural Products Chair, Institute of Mechanics and Energetics, National Research Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: orcid.org/0000-0001-5639-4203**, shabarinalex@gmail.com

Aleksandr A. Shabarin, associate professor of General and Inorganic Chemistry, Institute of Physics and Chemistry, National Research Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Chemistry), **ORCID: orcid.org/0000-0001-6804-8471**, shab_aa@mail.ru

Vladimir N. Vodyakov, professor of Mechanization of Agricultural Products Chair, Institute of Mechanics and Energy, National Research Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering) **ORCID: orcid.org/0000-0002-4687-1798**, vnvod@mail.ru