

УДК 678:615.473.92

**А. С. Антонов¹, П. В. Клочко¹, Н. Р. Прокопчук²,
В. А. Струк¹, К. В. Вишнеvский²**

¹Гродненский государственный университет имени Янки Купалы

²Белорусский государственный технологический университет

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрена методология создания композиционных материалов на основе полимерных матриц для изготовления конструкций специального назначения типа инжектора для введения лекарственных препаратов в организм человека в экстремальных условиях. Разработано оригинальное конструктивное исполнение инжектора для применения в специальных условиях, отличающееся эффективностью многократного применения. Для изготовления функциональных элементов конструкции использованы композиционные материалы на основе термопластов промышленного производства – полиамидов (ПА6) и полиолефинов (ПЭНД), включающие модификаторы структурных характеристик различного состава, строения и технологии получения – хитозан и Na⁺-монтмориллонитовую глину, обработанную органокомпонентами. Исследованы структурные, теплофизические, деформационно-прочностные, реологические параметры композитов, содержащих функциональные модификаторы. Для обеспечения гомогенности распределения дисперсных частиц модификаторов применяли полиамидную смолу на основе канифоли и продукта поликонденсации адипиновой кислоты и диэтиленамина. Установлен эффект повышения параметров деформационно-прочностных характеристик композитов, обусловленный процессами армирования и образования адсорбционных связей между частицами модификатора и активными центрами макромолекул. При этом реологические параметры композиционных материалов обеспечивают возможность изготовления элементов инжектора методом литья под давлением. Конструкция инжектора с использованием композиционных материалов обладает выраженным бактерицидным действием, что повышает ее потребительские характеристики в специальных условиях применения.

Ключевые слова: инжектор, композиционный материал, полиамидная смола, хитозан, органоглина, антибактериальное действие.

Для цитирования: Антонов А. С., Клочко П. В., Прокопчук Н. Р., Струк В. А., Вишнеvский К. В. Композиционные материалы для функциональных изделий специального назначения // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 87–95.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-12.

**A. S. Antonov¹, P. V. Klochko¹, N. R. Prokopchuk²,
V. A. Struk¹, K. V. Vishnevskiy²**

¹Yanka Kupala State University of Grodno

²Belarusian State Technological University

COMPOSITE MATERIALS FOR FUNCTIONAL SPECIAL-PURPOSE PRODUCTS

The methodology for creating composite materials based on polymer matrices for the manufacture of special-purpose structures such as an injector for the introduction of drugs into the human body under extreme conditions is considered. An original design of the injector for use in special conditions has been developed, which is distinguished by the efficiency of repeated use. For the manufacture of functional structural elements, composite materials based on industrial thermoplastics – polyamides (PA6) and polyolefins (HDPE) were used, including modifiers of structural characteristics of various composition, structure and production technology – chitosan and Na⁺-montmorillonite clay treated with organocomponents. Structural, thermophysical, stress-strain, rheological parameters of composites containing functional modifiers have been studied. To ensure the homogeneity of the distribution of dispersed modifier particles, a polyamide resin based on rosin and a polycondensation product of adipic acid and diethyleneamine was used. The effect of increasing the parameters of the stress-strain characteristics of composites, due to the processes of reinforcement and the formation of adsorption bonds between the particles of the modifier and the active centers of macromolecules, has been established. At the same time, the rheological parameters of composite materials provide the possibility of manufacturing injector elements by injection molding. The design of the injector using composite materials has a pronounced bactericidal effect, which increases its consumer characteristics in special conditions of use.

Keywords: injector, composite material, polyamide resin, chitosan, organoclay, antibacterial action.

For citation: Antonov A. S., Klochko P. V., Prokopchuk N. R., Struk V. A., Vishnevskiy K. V. Composite materials for functional special-purpose products. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 1 (277), pp. 87–95 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-12.

Введение. В различных областях жизнедеятельности социумов используются функциональные изделия, задачей которых является предотвращение или снижение интенсивности неблагоприятного действия эксплуатационного фактора или их сочетания на организм человека при выполнении им обязанностей, обусловленных его профессиональными компетенциями. К числу таких изделий относятся инъекторы (шприц-тюбики), используемые при проведении специальных операций для обеспечения функциональных действий подразделений в соответствии с их назначением, в том числе при возникновении экстремальных ситуаций. Подобные изделия должны удовлетворять комплексу параметров, обуславливающих их эффективное применение в экстремальных ситуациях, в том числе деформационно-прочностных, технологических, в сочетании с биохимической активностью для предотвращения негативных процессов при действии различных поражающих факторов на спецподразделения [1–8].

Существует несколько ситуаций, например таких, как неотложная медицинская помощь и инциденты с массовыми жертвами, при которых лекарства и противоядия (антидоты) необходимо вводить немедленно вместе с оказанием иной первой медицинской помощи на месте происшествия [3, 4].

Лекарства и антидоты можно вводить людям несколькими путями, но у некоторых способов есть ряд недостатков, таких как медленная скорость абсорбции или необходимость в квалифицированном медицинском персонале для осуществления инъекции лекарственного средства.

Самостоятельный прием препарата пострадавшим либо его спутником требуется в качестве меры по спасению жизни. Экстренные ситуации, такие как воздействие нервнопаралитического газа, отравление пестицидами, анафилаксия, судороги, мигрень и ряд других, требуют немедленного приема лекарств. В таких случаях широко используют инъекторы для введения лекарства. Подобные приспособления имеют в своем составе картриджи с лекарством со встроенной иглой для подкожной (внутривенной) или внутримышечной инъекции. Они удобны для оказания неотложной помощи, а также помощи при массовой травматизации [5–8].

Для изготовления инъекторов используют термопластичные полимеры, обладающие технологичностью переработки и обеспечивающие необходимые параметры эксплуатационных характеристик. Особое внимание необходимо уделять соблюдению норм и правил, принятых при введении лекарственного препарата в организм человека.

Поэтому целесообразна разработка конструкций инъекторов с применением материалов, обладающих выраженным бактерицидным действием.

Цель работы – исследование физико-химических процессов формирования структуры композиционных материалов на основе термопластов для новых конструкций инъекторов.

Основная часть. Для изготовления элементов инъектора были выбраны композиционные материалы на основе алифатических полиамидов (ПАБ производства филиала «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот») и полиолефинов (ПЭВД I-1625 производства Шуртанский ГХК, Узбекистан).

Для модифицирования базовых термопластов использовали частицы хитозана (ХТ), полученные по технологии Института химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан (г. Ташкент, Республика Узбекистан) [9–12], и органомодифицированную глину на основе Na^+ -монтмориллонита (НП ЗАО «Синта»).

В качестве функционального компонента была взята полиамидная смола на основе амидов таллиевой канифоли и продукта поликонденсации адипиновой кислоты с диэтилентриамином ПроХим DUO производства ООО «ПромХим-Технологии» (г. Смолевичи) (ПС). Полиамидную смолу вводили в качестве водного раствора, обрабатывая гранулы полиолефина с последующей сушкой для удаления влаги.

Композиты перерабатывали на термопластавтомате со шнековой пластикацией при режимах, рекомендованных для базового термопласта.

Параметры структуры композиционных материалов исследовали методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Исследование элементного состава модификаторов проводили на спектрометре энергии рентгеновского излучения SER-01 ElvaX (Украина). Особенности структуры модификаторов исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре ДРОН-3М.

Теплофизические характеристики исследуемых материалов определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 214 Polyma. Определение показателя текучести расплава термопластов осуществляли на экструзионном пластометре ПТР-ЛАБ-02 в соответствии с требованиями ГОСТ 11645–73 в диапазоне температур 323–723 К.

Параметры деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов исследовали на разрывной машине ИР 5047-50-11 в соответствии с ГОСТ 11262–2017 (ISO 527-2:2012) и ГОСТ 4648–2014 (ISO 178:2010).

Моделирование конструкции инжектора осуществляли с использованием программных продуктов SolidWorks Plastics и SolidWorks Simulation.

Результаты и обсуждение. Моделирование особенностей конструкции инжектора для установления оптимальных условий для его изготовления, сборки и применения дало возможность разработать вариант, приведенный на рис. 1, позволяющий вводить специальные препараты в полевых условиях.

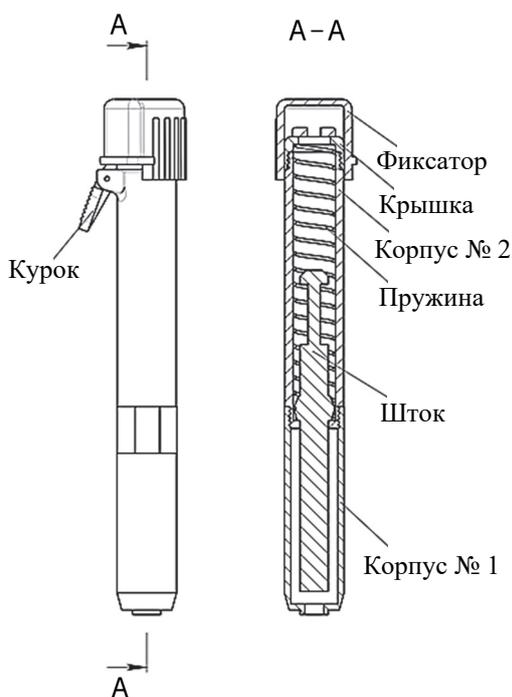


Рис. 1. Разработанная конструкция инжектора

Особенностью данной конструкции является возможность многократного применения при введении емкости, содержащей специальный препарат.

Для изготовления конструктивных элементов (фиксатора, крышки, корпуса, штока) разработаны составы композиционных материалов на основе промышленных полиолефинов (ПЭВД) и полиамидов (ПА6), модифицированных поли-

амидной смолой (ПС), хитозаном (ХТ) и органоглиной (ОГ). Модельные эксперименты показали, что для изготовления конструктивных элементов инжектора целесообразно применение композитов с повышенными параметрами деформационно-прочностных характеристик и низкой деформативностью:

1. ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %).
2. ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %).
3. ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %).
4. ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %).

В качестве технологического подхода получения функциональных композитов на основе алифатических полиамидов и полиолефинов был выбран метод термомеханического совмещения, состоящий в совокупном термическом и механическом воздействии на смесь компонентов при вязко-текущем состоянии матрицы в материальном цилиндре литьевой машины со шнековым пластикатором. Этот технологический подход легко реализуется на промышленных предприятиях, не требует дорогостоящего и специального оборудования, позволяет в ряде случаев достигать технически значимых результатов и соответствует принципу разумной достаточности.

Для оценки структурных превращений в дисперсных частицах модификаторов – хитозана (ХТ) и органоглины (ОГ) в диапазоне температур переработки базовых термопластов (473–573 К) использовали метод рентгеновской флуоресценции.

Анализ элементного состава и спектра флуоресценции хитозана в диапазоне температур переработки свидетельствует о термической устойчивости этого модификатора (рис. 2 и 3). Это подтверждается спектрами флуоресценции и спектрами элементного состава хитозана, подвергнутого термической обработке при температуре 573 К в течение 30 мин.

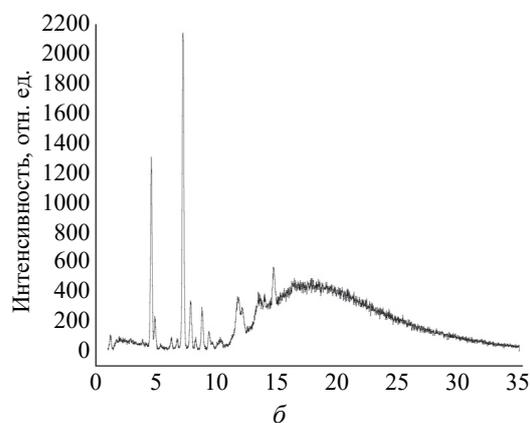
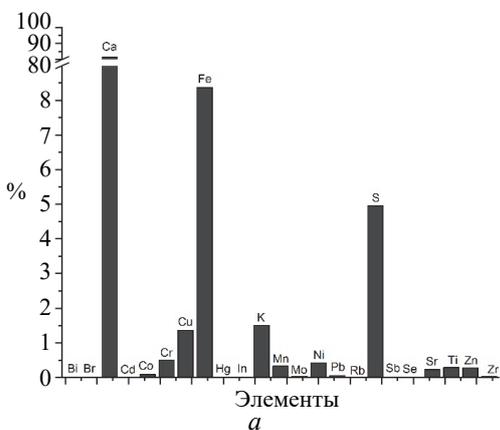


Рис. 2. Элементный состав хитозана при 293 К:
а – элементный состав; б – спектр флуоресценции

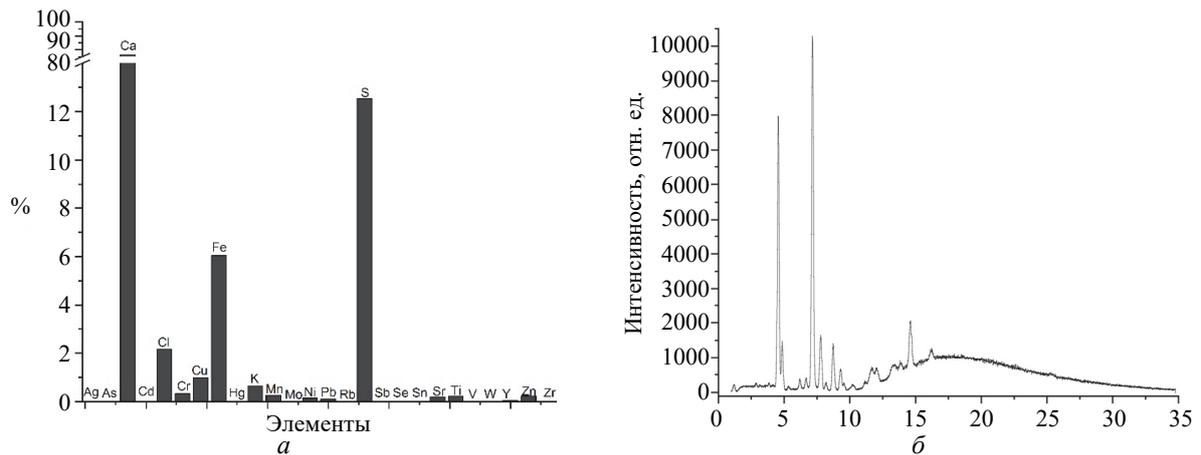


Рис. 3. Элементный состав хитозана, выдержанного при температуре 573 К в течение 30 мин:
a – элементный состав; *б* – спектр флуоресценции

Содержание основных элементов, входящих в состав хитозана (Ca, Co, Cu, Fe, K, S), незначительно меняется при термообработке, близкой к температурам переработки композиций.

Аналогичные результаты характерны и для частиц органоглины (ОГ) (рис. 4 и 5).

Содержание основных элементов, входящих в состав Na^+ -монтмориллонита, практически не изменяется при обработке при температуре 573 К в течение 30 мин, несмотря на разрушение исходной структуры частиц глины вследствие ее расслоения.

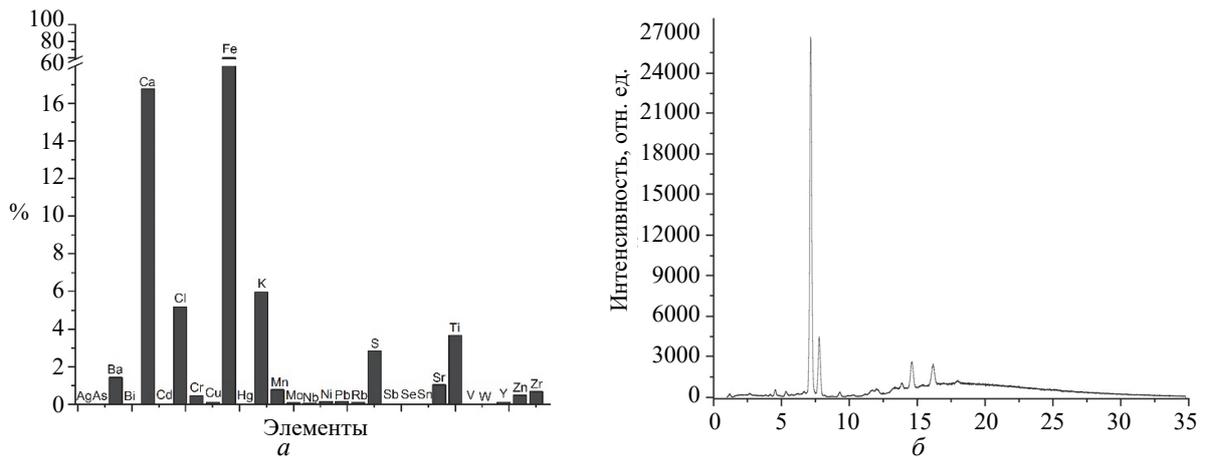


Рис. 4. Элементный состав органоглины при 293 К:
a – элементный состав; *б* – спектр флуоресценции

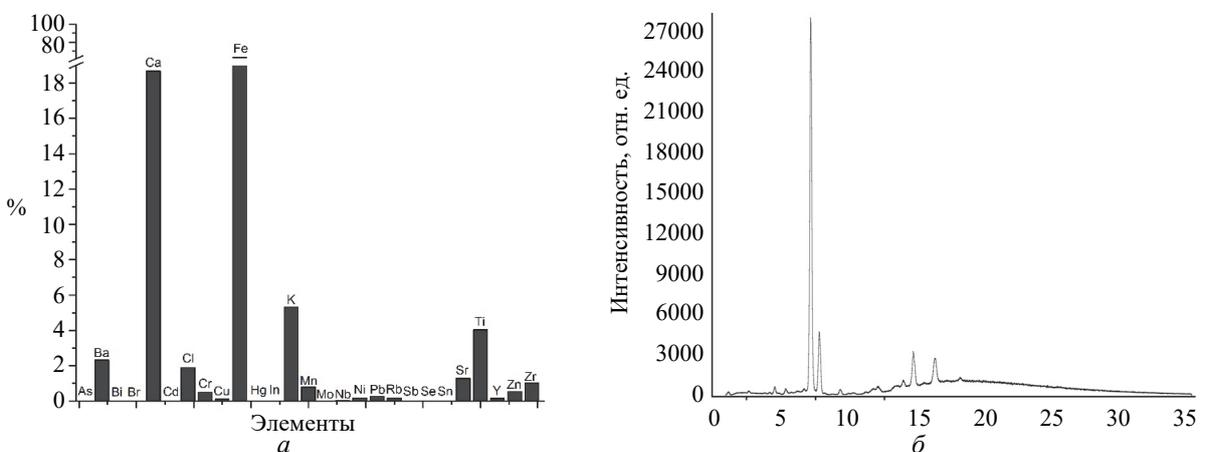


Рис. 5. Элементный состав органоглины, выдержанной при температуре 573 К в течение 30 мин:
a – элементный состав; *б* – спектр флуоресценции

Для определения степени аморфности дисперсных частиц хитозана и органоглины (табл. 1) были использованы данные рентгеноструктурного анализа – участки дифрактограмм, на которых присутствуют кристаллические и аморфные пики. Степень аморфности определяли по отношению площади под кристаллическими пиками к площади кристаллических и рентгеноаморфных пиков.

Таблица 1
Результаты расчета степени аморфности частиц хитозана и органоглины

Температура, К	Степень аморфности, %	
	хитозан	органоглина
273	16,441	3,251
373	26,623	4,932
473	39,537	6,155
573	43,269	9,560
673	49,167	10,966

Характерным является существенное увеличение степени аморфности частиц хитозана при температурах обработки 373–673 К, обусловленное процессами окисления и деструкции в среде воздуха [14, 15]. В аналогичном диапазоне температур степень аморфности частиц органоглины увеличивается незначительно, что обусловлено преимущественно разложением исходной структуры в результате процессов расщепления с образованием единичных нанопластин [16].

Исследование параметров теплофизических характеристик (температуры плавления, начала процесса окисления и др.) дисперсных частиц хитозана (рис. 6) методом ДСК показало, что процесс нагревания сопровождается эффектами с максимумом при 373,9 К и при 573 К, связанными с потерей влаги и последующими деструкционными процессами. Проведенные исследования демонстрируют устойчивость частиц хитозана к воздействию температуры в диапазоне значений 373–653 К, близких к температурным режимам переработки композитов на основе термопластов.

На кривых ДСК органоглины (рис. 7) отмечены два эффекта с максимумами при температурах 359,8 и 662,6 К, обусловленные потерей влаги и процессом дегградации исходной структуры частиц.

На ДСК-кривой полиамидной смолы (ПС) отмечен характерный эффект при температурах 373–413 К, связанный, вероятно, с плавлением образца.

Таким образом, использованные модификаторы полимерных матриц обладают достаточной стабильностью в диапазоне температур переработки композитов. При этом низкая температура плавления ПС обеспечивает распределение порошкообразных модификаторов ХТ и ОГ в матрице и изменение структуры и параметров характеристик композиционных материалов (табл. 2).

Так, параметры характеристик композитов при растяжении и изгибе заметно (в 1,3–1,5 раз) превосходят параметры матричных полимеров ПЭВД и ПА6.

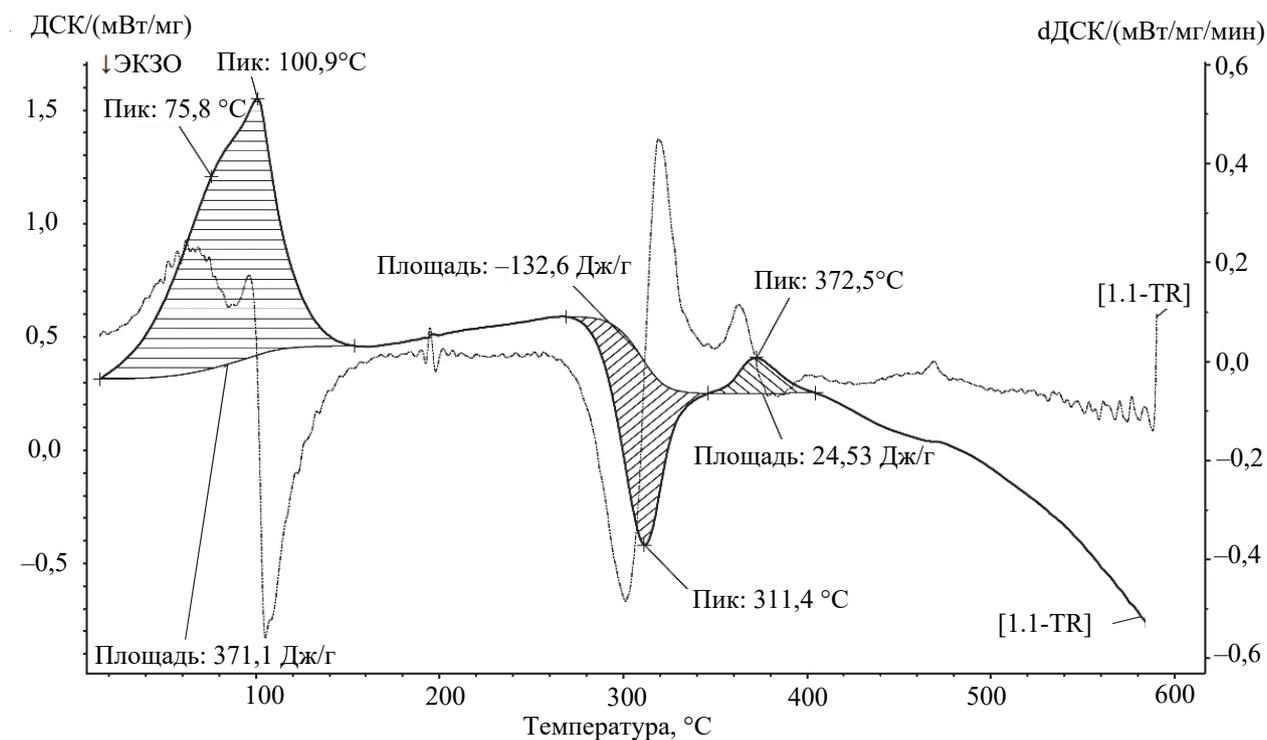


Рис. 6. ДСК-кривая хитозана

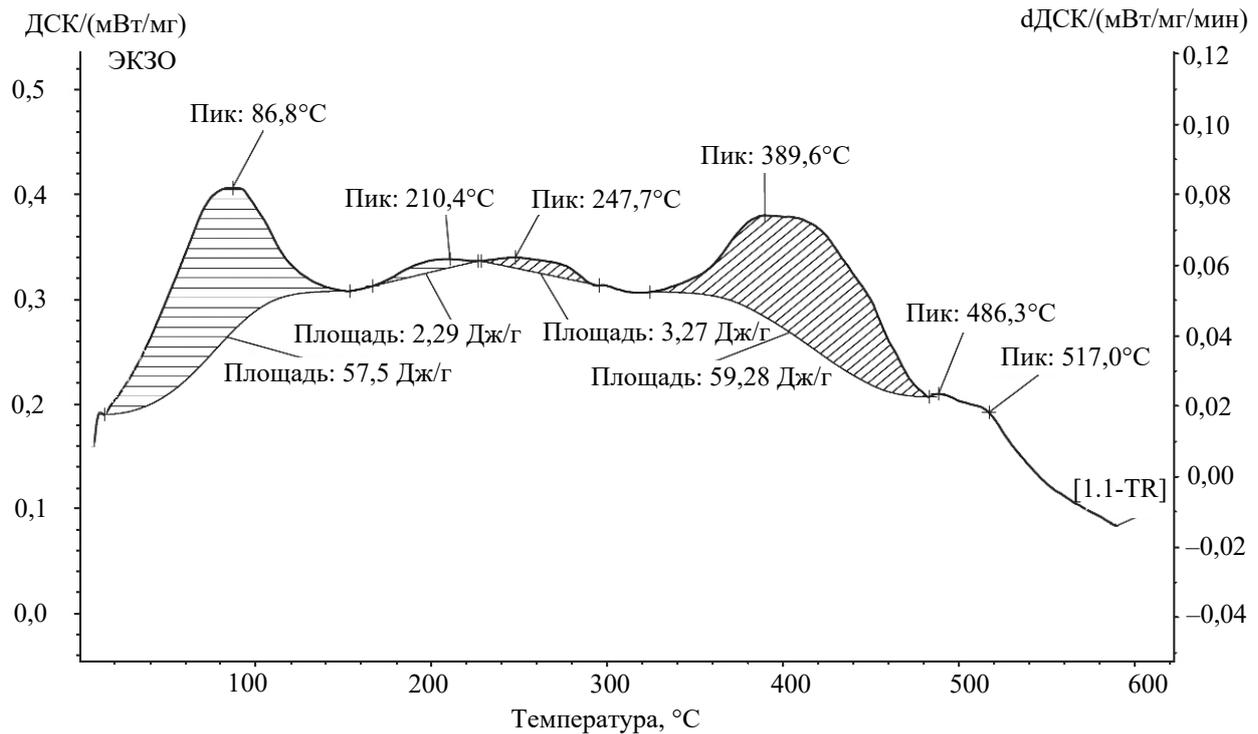


Рис. 7. ДСК-кривая органоглины

Таблица 2

Результаты исследования параметров деформационно-прочностных характеристик полимерных материалов

Материал (состав)	Параметры характеристик							
	при растяжении				при изгибе			
	предел прочности при максимальном усилии, МПа	деформация при максимальном усилии, %	предел прочности при разрушении, МПа	деформация при разрушении, %	предел прочности при максимальном усилии, МПа	деформация при максимальном усилии, %	предел прочности при разрушении, МПа	деформация при разрушении, %
ПЭВД	23,20	16,90	–	–	30,20	9,10	–	–
ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %)	25,20	18,80	21,10	457,7	32,4	10,2	26,2	32,6
ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %)	32,30	19,60	25,20	429,8	35,1	9,8	28,3	36,7
ПА6	50,13	12,06	35,53	73,17	58,65	6,12	58,62	6,12
ПА6 (99,5 мас. %) + ПС (0,5 мас. %)	58,32	18,58	49,12	113,26	68,23	7,13	68,23	7,13
ПА6 (99,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %)	64,36	19,67	54,10	116,32	75,30	8,10	75,28	8,10
ПА6 (97,0 мас. %) + ПС (3,0 мас. %)	61,24	20,36	51,46	124,22	71,65	9,24	71,64	9,24
ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %)	68,20	15,53	57,31	94,75	80,32	7,68	80,30	7,68
ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %)	74,40	14,79	62,52	90,24	87,14	7,22	87,14	7,22

Наличие в составе композиции полиамидной смолы оказывает пластифицирующее действие на матричный полиамид 6, что проявляется в увеличении ПТР (табл. 3).

Таблица 3

Показатель текучести расплава полимерных материалов

Материал (состав)	ПТР, г/10 мин
ПЭВД	14,15
ПА6	11,06
ПА6 (99,5 мас. %) + ПС (0,5 мас. %)	12,38
ПА6 (99,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %)	12,60
ПА6 (97,0 мас. %) + ПС (3,0 мас. %)	12,86
ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %)	9,84
ПА6 (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %)	9,56
ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ХТ (1,0 мас. %)	12,68
ПЭВД (98,0 мас. %) + ПС (1,0 мас. %) + ОГ (1,0 мас. %)	12,24

При введении в состав композиций дисперсных частиц ХТ и ОГ, вступающих в адсорбционное взаимодействие с матричным связующим, вязкость увеличивается не существенно, что позволяет выполнять переработку композитов методом литья под давлением.

Таким образом, разработанные составы композиционных материалов на основе промышленных термопластов обеспечивают необходимые параметры эксплуатационных характеристик предложенной конструкции инжектора для введения специальных препаратов. Достоинством разработанных материалов является проявление ими бактерицидного эффекта вследствие реализации частицами модификатора наносостояния [16], что повышает потребительские характеристики разработанных инжекторов.

Заключение. Разработанные составы композиционных материалов на основе промышленных термопластов класса полиамидов и полиолефинов благодаря сочетанию повышенных параметров деформационно-прочностных и реологических характеристик обеспечивают требования, предъявляемые к инжекторам для введения специальных препаратов в полевых условиях. Особенностью предложенной конструкции инжектора является проявление бактерицидных свойств композиционных материалов [9, 12, 15], что повышает их потребительские характеристики практического приложения.

Исследования проводились при финансовой поддержке БРФФИ в рамках выполнения НИР по договору T22-075 «Механизмы структурообразования нанокompозитов на основе диффузионно-модифицированных термопластов» от 04.05.2022.

Список литературы

1. Salernitano E., Migliaresi C. Composite materials for biomedical applications: a review // Journal of applied biomaterials & biomechanics. 2003. Vol. 1. P. 3–18.
2. Malysheva A. Yu., Beletskii B. I., Vlasova E. B. Structure and properties of composite materials for medical application // Glass and Ceramics. 2001. Vol. 58, no. 1–2. P. 66–69.
3. Vijayaraghavan R. Autoinjector device for rapid administration of drugs and antidotes in emergency situations and in mass casualty management // Journal of International Medical Research. 2020. Vol. 48(5). P. 1–12.
4. Epidemiology of emergency medical services-assessed mass casualty incidents according to causes / J. O. Park [et al.] // Journal of Korean Medical Science. 2016. Vol. 31. P. 449–456.
5. A concept of a probable autoinjector for bio-threat agents / R. Geetha [et al.] // Defence Science Journal. 2016. Vol. 66. P. 464–470.
6. A concept on the development of buprenorphine autoinjector for self and emergency administration / D. Sheela [et al.] // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2015. Vol. 7. P. 253–257.
7. Davis M. P. Twelve reasons for considering buprenorphine as a frontline analgesic in the management of pain // Journal of Supportive Oncology. 2012. Vol. 10. P. 209–219.
8. Sheela D. A., Vijayaraghavan R., Sivanesan S. A study on the safety evaluation of buprenorphine administered through an autoinjector compared with manual injection using haematological and biochemical variables in rats // Human & Experimental Toxicology. 2016. Vol. 36. P. 901–909.
9. Рашидова С. Ш., Милушева Р. Ю. Хитин и хитозан *Bombyx mori*. Синтез, свойства и применение. Ташкент: Фан, 2009. 246 с.
10. Вохидова Н. Р., Рашидова С. Ш. Полимерметаллические системы хитозана *Bombyx mori*. Ташкент: Фан, 2016. 128 с.
11. Сравнительные исследования физико-химических свойств и структуры хлопковой целлюлозы и ее модифицированных форм / А. А. Атаханов [и др.] // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 5–13.
12. Атаханов А. А. Получение, структура, свойства и технология производства хлопковой, микрокристаллической и наноцеллюлозы: автореф. дис. ... д-ра наук: 02.00.05; 02.00.12. Ташкент, 2016. 31 с.

13. Наноккомпозиты полимеры этилена, наполненные слоистыми алюмосиликатами: монография / Н. Р. Ашууров [и др.]. Ташкент: Фан, 2016. 183 с.
14. Прищепенко Д. В., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С. Влияние технологических параметров электроформования на морфологию и плотность нанесения нановолокон хитозана // Труды БГТУ. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология, 2016. С. 114–120.
15. Прокопчук Н. Р., Меламед В. Д., Прищепенко Д. В. Инновационные раневые покрытия с нановолокнами хитозана // Труды БГТУ. Сер. 2, Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2017. № 1. С. 15–22.
16. Implementation of the nanostate phenomenon in materials science of functional nanocomposites based on industrial polymers / S. V. Avdeichik [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2022. Vol. 58, no. 3. P. 211–220.

References

1. Salernitano E., Migliaresi C. Composite materials for biomedical applications: a review. *Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics*, 2003, vol. 1, pp. 3–18.
2. Malysheva A. Yu., Beletskii B. I., Vlasova E. B. Structure and properties of composite materials for medical application. *Glass and Ceramics*, 2001, vol. 58, no. 1–2, pp. 66–69.
3. Vijayaraghavan R. Autoinjector device for rapid administration of drugs and antidotes in emergency situations and in mass casualty management. *Journal of International Medical Research*, 2020, vol. 48, no. 5, pp. 1–12.
4. Park J. O., Shin S. D., Song K. J., Hong K. J., Kim J. Epidemiology of emergency medical services-assessed mass casualty incidents according to causes. *Journal of Korean Medical Science*, 2016, vol. 31, pp. 449–456.
5. Geetha R., Roy A., Sivanesan S., Vijayaraghavan R. A concept of a probable autoinjector for biothreat agents. *Defence Science Journal*, 2016, vol. 66, pp. 464–470.
6. Sheela D., Geetha R. V., Mohan S. K., Vijayaraghavan R. A concept on the development of buprenorphine autoinjector for self and emergency administration. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2015, vol. 7, pp. 253–257.
7. Davis M. P. Twelve reasons for considering buprenorphine as a frontline analgesic in the management of pain. *Journal of Supportive Oncology*, 2012, vol. 10, pp. 209–219.
8. Sheela D., Vijayaraghavan R., Sivanesan S. A study on the safety evaluation of buprenorphine administered through an autoinjector compared with manual injection using haematological and biochemical variables in rats. *Human & Experimental Toxicology*, 2016, vol. 36, pp. 901–909.
9. Rashidova S. Sh., Milusheva R. Yu. *Khitin i khitozan Bombyx mori. Sintez, svoystva i primeneniye* [Chitin and chitosan Bombyx mori. Synthesis, properties and application]. Tashkent, Fan Publ., 2009. 246 p. (In Russian).
10. Vohidova N. R., Rashidova S. Sh. *Polimermetallicheskiye sistemy khitozana Bombyx mori* [Polymer metal systems of chitosan Bombyx mori]. Tashkent, Fan Publ., 2016. 128 p. (In Russian).
11. Atakhanov A. A., Mamadierov B., Kuzieva M., Yugay S. M., Shakhobutdinov S., Ashurov N. Sh., Abdurazakov M. Comparative studies of the physicochemical properties and structure of cotton cellulose and its modified forms. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2019, no. 3, pp. 5–13 (In Russian).
12. Atakhanov A. A. *Polucheniye, struktura, svoystva i tekhnologiya proizvodstva khlopkovoy mikrokristallicheskoy i nanotsellyulozy. Avtoreferat dissertatsii doctora nauk* [Obtaining, structure, properties and production technology of cotton, microcrystalline and nanocellulose. Abstract of thesis DSc]. Tashkent, 2016. 31 p. (In Russian).
13. Ashurov N. R., Dolgov V. V., Sadykov Sh. G., Usmanov M. M. *Nanokompozity polimery etilena, napolnennyye sloistymi alyumosilikatami* [Nanocomposites of ethylene polymers filled with layered aluminosilicates]. Tashkent, Fan Publ., 2016. 183 p. (In Russian).
14. Prishchepenko D. V., Prokopchuk N. R., Shashok Zh. S. Impact of electrospinning technological parameters on chitosan nanofibers coating morphology and surface density. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 4: Chemistry, Organic substances Technology and Biotechnology, pp. 114–120 (In Russian).
15. Prokopchuk N. R., Melamed V. D., Prishchepenko D. V. Innovative wound dressing with chitosan nanofibers. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2017, no. 1, pp. 15–22 (In Russian).
16. Avdeichik S. V., Gol'dade V. A., Struk V. A., Antonov A. S., Ikromov A. G. Implementation of the Nanostate Phenomenon in Materials Science of Functional Nanocomposites Based on Industrial Polymers. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2022, vol. 58, no. 3, pp. 211–220. DOI: 10.3103/S1068375522030061.

Информация об авторах

Антонов Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий. Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Республика Беларусь). E-mail: antonov_as@grsu.by

Клочко Павел Валентинович – аспирант кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий. Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Республика Беларусь). E-mail: klochko_pv@grsu.by

Прокопчук Николай Романович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nrprok@gmail.com

Струк Василий Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий. Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Республика Беларусь). E-mail: struk@grsu.by

Вишнеvский Константин Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: vik@belstu.by

Information about the authors

Antonov Alexander Sergeevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Materials Science and Resource-Saving Technology. Yanka Kupala State University of Grodno (22, Ozheshko str., 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: antonov_as@grsu.by

Klochko Pavel Valentinovich – PhD student, the Department of Materials Science and Resource-Saving Technology. Yanka Kupala State University of Grodno (22, Ozheshko str., 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: klochko_pv@grsu.by

Prokopchuk Nikolay Romanovich – Corresponding Members of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nrprok@gmail.com

Struk Vasily Aleksandrovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Materials Science and Resource-Saving Technology. Yanka Kupala State University of Grodno (22, Ozheshko str., 230023, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: struk@grsu.by

Vishnevskiy Konstantin Viktorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vik@belstu.by

Поступила 09.11.2023