

Научная статья
УДК 541.64.547.304
EDN: YBABDO
DOI: 10.21285/achb.896



Термомеханические и механические свойства биоцидных материалов на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида и поливинилового спирта

В.О. Рябова^{*✉}, О.Ж. Аюрова^{***}, О.С. Очиров^{*}, М.Н. Григорьева^{*}, С.А. Стельмах^{*}

^{*}Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

^{***}Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

Аннотация. На разных этапах развития науки о полимерах в центре внимания оказывались области, имеющие научное и практическое значение. Современное внимание к смесям полимеров обусловлено их очевидной практической значимостью. Изучение физико-механических свойств полимерных смесей привело к пересмотру существующих базовых представлений, возникновению новых направлений исследований и решению практических задач. С этой точки зрения смеси полимеров во многом схожи с сополимеризацией как способом достижения заданных свойств путем объединения различных химических структур. Формирование полимерных смесей позволяет быстрее получать материалы с нужными свойствами, чем при синтезе высокомолекулярных соединений. В последние годы встречаются многочисленные исследования в области взаимодействия различных полимеров, особенно водорастворимых и природного происхождения, так как они безопасны для человека и окружающей среды. За счет высокой адгезионной способности поверхности материалов появляется большой интерес исследователей к разработке материалов такого типа. Таким образом, использование данных материалов может привести к получению полимерных пленок с новыми ценными свойствами. Целью проведенной работы являлось исследование возможности модификации полигексаметиленгуанидин гидрохлорида поливиниловым спиртом для улучшения термомеханических и механических показателей пленок с ориентацией на дальнейшее применение их в строительстве в качестве полимерных биоцидных добавок. В качестве объекта исследования в работе были использованы пленки на основе полимер-полимерной смеси полигексаметиленгуанидин гидрохлорида и поливинилового спирта.

Ключевые слова: полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, поливиниловый спирт, полимер-полимерные смеси, краевой угол смачивания, термомеханические свойства, пленки

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук № 0273-2021-0007.

Для цитирования: Рябова В.О., Аюрова О.Ж., Очиров О.С., Григорьева М.Н., Стельмах С.А. Термомеханические и механические свойства биоцидных материалов на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида и поливинилового спирта // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 1. С. 27–34. DOI: 10.21285/achb.896. EDN: YBABDO.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Thermomechanical and mechanical properties of biocidal materials based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol

Valeria O. Ryabova^{*✉}, Oksana Zh. Ayurova^{***}, Oleg S. Ochirov^{*},
Maria N. Grigor'eva^{*}, Sergei A. Stelmakh^{*}

^{*}Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

^{***}Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract. During the development of polymer science, attention has been attracted to different research areas. The current focus on polymer mixtures is due to their practical significance. Studying the physical and mechanical properties of polymer

mixtures has led to a revision of existing basic concepts, the emergence of new research directions and the solution of practical problems. From this point of view, polymer mixtures are similar to copolymerization in achieving specific properties by combining different chemical structures. The use of polymer mixtures allows materials with the desired properties to be obtained at a faster rate than the synthesis of high-molecular compounds. In recent years, numerous studies have been published on the interaction of various polymers, particularly water-soluble and naturally occurring polymers that are safe for humans and the environment. The development of such materials is of great interest due to their high adhesive strength. These materials can be used to obtain polymer films with new valuable properties. This work investigates the potential of improving the thermomechanical and mechanical properties of films for use in construction as polymer biocidal additives by modifying polyhexamethylene guanidine hydrochloride with polyvinyl alcohol. Films based on a polymer-polymer mixture of polyhexamethylene guanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol were used as a research object.

Keywords: polyhexamethylene guanidine hydrochloride, polyvinyl alcohol, polymer-polymer mixtures, contact angle, thermomechanical properties, films

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the state task of the Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences no. 0273-2021-0007.

For citation: Ryabova V.O., Ayurova O.Zh., Ochirov O.S., Grigor'eva M.N., Stelmakh S.A. Thermomechanical and mechanical properties of biocidal materials based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):27-34. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.896. EDN: YBABDO.

ВВЕДЕНИЕ

Особое место среди пленочных материалов со специфическими разнообразными свойствами, в том числе фунгицидными и бицидными, занимают покрытия на основе гуанидиновых солей [1].

Полигуанидины обладают антибактериальными¹, противовирусными [2], спороцидными, фунгицидными, инсектицидными [3] и альгицидными [4, 5] свойствами, имеют длительную бицидную активность и низкую экологическую напряженность. Полигуанидины широко используются в качестве активного компонента во многих дезинфицирующих средствах, применяемых в сельскохозяйственном производстве и медицине [6]. Он легкодоступен, высокоэффективен (более эффективен, чем четвертичные аммониевые соединения и препараты на основе хлора) и не образует токсичных продуктов в воде. Бицидные свойства полигуанидинов обусловлены наличием гуанидиновых групп в их повторяющихся звеньях, что является центром активности природных и синтетических лекарственных средств и антибиотиков. Типичным примером полигуанидинов являются полимерные соли полигексаметиленгуанидина [6, 7]. Большинство из них обладают плохими механическими свойствами, что серьезно затрудняет их использование в промышленных целях [8, 9]. В этой связи возникает необходимость разработки материала, обладающего превосходными механическими свойствами. Такие материалы можно получить путем физического или химического сшивания водорастворимых или гидрофильных полимеров с участием нековалентных или динамических ковалентных связей.

В качестве пленкообразующего полимера использовали гидрофильный высокомолекулярный полимер – поливиниловый спирт. Широкий спектр применения поливинилового спирта обусловлен рядом свойств, таких как нетоксичность, биоразлагаемость, растворимость в воде, стойкость к органическим растворителям и маслам, механическая прочность, способность к пленкообразованию и низкая стоимость [8, 10, 11]. Примерно 20% производимого поливинилового спирта

используется для изготовления упаковочных пленок, характеризующихся прозрачностью, нетоксичностью, химической стойкостью, прочностью и водорастворимостью [10, 12, 13].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали промышленный поливиниловый спирт с молекулярной массой $M_v = 87000$ (CAS 9002-89-5, ГОСТ 10779-78) производства компании «Промреагент» (г. Челябинск, Россия), а также промышленный полигексаметиленгуанидин гидрохлорид со средневязкостной молекулярной массой $M_v = 4501$ производства компании Alterhim Pro (г. Дзержинск, Россия).

Пленочные материалы на основе полимер-полимерных смесей получали путем полива устойчивых водных растворов поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида на стеклянные подложки с содержанием второго компонента 8, 10, 12 и 15 масс.% по следующей схеме (рис. 1) [14].

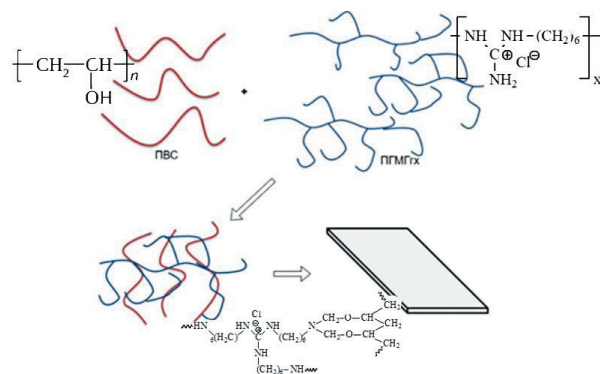


Рис. 1. Схематичное изображение получения пленочного материала из поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида

Fig. 1. Scheme for obtaining film material from polyvinyl alcohol and polyhexamethyleneguanidine hydrochloride

¹Федорова Л.С. Теория и практика совершенствования дезинфицирующих средств: учеб. пособие. М.: Медицина, 2006. 213 с.

Полученные материалы были исследованы в Центре коллективного пользования БИП СО РАН [15]. Механические свойства определяли на универсальной машине Instron 3367 (Instron, США) по ГОСТ 14236-81 при скорости движения траверсов 10 мм/мин. Вязкоупругие свойства пленок исследовали на динамическом механическом анализаторе DMA242C (Netzsch, Германия) при частоте 1 Hz и амплитуде 60.

Микрофотографии образцов пленочных материалов получали с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 600 FEG (FEI, США) в Центре коллективного пользования Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Угол смачивания пленки измеряли методом сидячей капли по ГОСТ 7934.2-74.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее были получены пленочные материалы на основе поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, при этом максимальное содержание последнего в пленке составило 15% [14]. При более высоком содержании полигексаметиленгуанидин гидрохлорида наблюдалось уменьшение механических свойств материалов. Анализ деформационно-прочностных свойств показал, что наилучшими показателями обладают пленки, содержащие 8–10 масс.% полигексаметиленгуанидин гидрохлорида (таблица).

Значения краевого угла смачивания θ находятся в диапазоне $15^\circ < \theta < 37^\circ$, что свидетельствует о гидрофильности пленок, следовательно, хорошей адгезии к поверхности [16]. Угол θ увеличивается с повышением содержания полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, что, возможно, обусловлено образованием большего количества межмолекулярных водородных связей между терминальными аминогруппами полигексаметиленгуанидин гидрохлорида и гидроксилами поливинилового спирта. Учитывая образование стабильных совместных водных растворов, можно утверждать о хорошей термодинамической совместимости этих полимеров [17]. Тем не менее динамические механические результаты показывают некоторые особенности в отношении фазового разделения в образцах несмотря на то, что структурный анализ указывает на однофазный материал (рис. 2, b) [18].

В большинстве случаев полимеры совместимы в ограниченном интервале концентраций. Известно, что для некоторых смесей совместимых полимеров или смесей с частично совместимыми компонентами происходит расширение температурного интервала стеклования

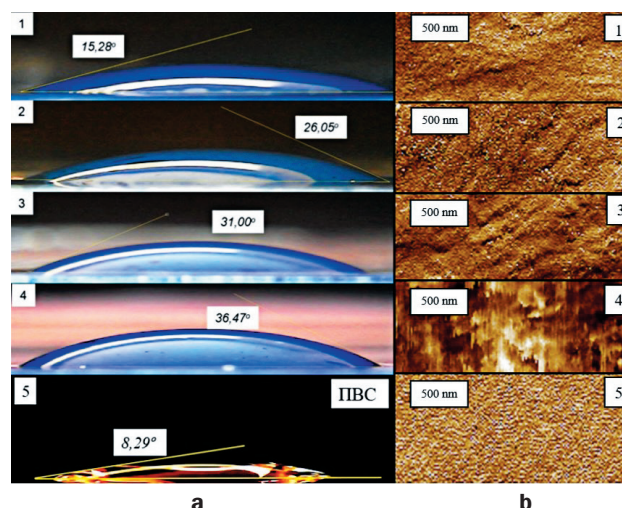


Рис. 2. Краевой угол смачивания (a) и микрофотографии (b) чистого поливинилового спирта и пленочных материалов на основе поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида:

1 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 92/8 масс.%; 2 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 90/10 масс.%; 3 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 88/12 масс.%; 4 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 85/15 масс.%; 5 – поливиниловый спирт

Fig. 2. Wetting angle (a) and microphotographs (b) of pure polyvinyl alcohol and film materials based on polyvinyl alcohol and polyhexamethyleneguanidine hydrochloride: 1 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 92/8 mass. %; 2 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 90/10 mass. %; 3 – polyvinyl alcohol / polyethyleneguanidine hydrochloride – 88/12 mass. %; 4 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 85/15 mass. %; 5 – polyvinyl alcohol

и что максимумы механических потерь компонентов смеси смещаются по температурной шкале [17, 19]. В таких смесях происходит смешение макромолекул обоих компонентов в пограничной области между дисперсной фазой и матрицей. По-видимому, в пограничных областях смешиваются более короткие макромолекулы обоих компонентов, термодинамическая сила совмещения которых является наибольшей. В работе [14] показано, что в двухфазных смесях полимеров, характеризующихся наличием термодинамической движущей силы для совме-

Физико-механические характеристики пленочных материалов на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида и поливинилового спирта

Physico-mechanical characteristics of film materials based on polyhexamethyleneguanine hydrochloride and polyvinyl alcohol

Номер образца	Содержание полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, масс.%	Относительное удлинение при разрыве, %	Прочность при разрыве, МПа	Максимальная нагрузка
1	15	1,95	25,08	5,24
2	12	2,12	26,63	8,19
3	10	3,45	35,54	16,57
4	8	6,53	40,13	18,70
5	Поливиниловый спирт	5,81	34,45	11,45

стимости компонентов, стеклование содержащегося в меньшем количестве полимера может быть крайне слабо выражено вследствие миграции макромолекул из четко ограниченной фазы в пограничные межфазные области, состав которых изменяется в широких пределах и стеклование которых в результате этого происходит в широком диапазоне температур.

На кривой тангенса угла механических потерь $\text{tg } \delta$ наблюдается очень широкий α -пик (рис. 3, 1–3) вследствие, по-видимому, наложения двух пиков. Это объясняется тем, что смеси не являются однофазными, однородными на молекулярном уровне системами и что в них существуют две фазы, одна из которых представлена пространственными структурами на основе полигексаметиленгуанидин гидрохлорида, а другая – поливинилового спирта (рис. 4). Наблюдаемая достаточно широкая область стеклования, возможно, обусловлена неполным фазовым разделением, и она расширяется также вследствие присутствия разветвляющихся структур. При 15%-м содержании полигексаметиленгуанидин гидрохлорида на кривой $\text{tg } \delta$ (рис. 3, 5) появляются две температуры перехода, одна из которых, возможно, соответствует стеклованию фазы полигексаметиленгуанидин гидрохлорида в полимерной сетке, а вторая – температуре стеклования поливинилспиртовой фазы $\sim 68^\circ\text{C}$. Наблюдается наличие в системе микрофазового расслоения (см. рис. 2, b), связанного, вероятно, с несовместимостью поливинилспиртовых сегментов с пограничными межфазными областями, включающими полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, и примыкающими к ним метиленовыми фрагментами.

Для материала из поливинилового спирта модуль накопления составляет 680 МПа. При повышении содержания полигексаметиленгуанидин гидрохлорида до 12% в полимер-полимерной смеси жесткость материалов

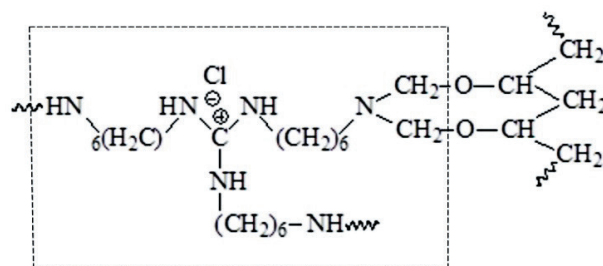


Рис. 4. Схема пространственно-сшитого фрагмента полигексаметиленгуанидин гидрохлорида с поливиниловым спиртом

Fig. 4. Scheme of cross-linked fragment of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol

увеличивается в 2–3 раза в сравнении с чистым поливиниловым спиртом. Возможно, это связано с тем, что с увеличением концентрации полигексаметиленгуанидин гидрохлорида в смеси возрастает степень сшивки, а также число водородных связей между поливиниловым спиртом и полигексаметиленгуанидин гидрохлоридом, поливиниловым спиртом и поливиниловым спиртом, тем самым постепенно увеличивается модуль упругости.

Модуль накопления для густосшитых сеток (кривые 1, 2) с повышением температуры сначала снижается незначительно, а затем более интенсивно при переходе из стеклообразного состояния в высокоэластическое, как показано на рис. 5. При увеличении длины поливинилспиртового сегмента цепи между сшивками снижение модуля накопления происходит с меньшей скоростью и при этом значения модулей сближаются для всех сеток в высокотемпературной области [20]. На кривой модуля накопления E' для материала состава 85/15 масс.% наблюдается два излома. Один из них соответствует

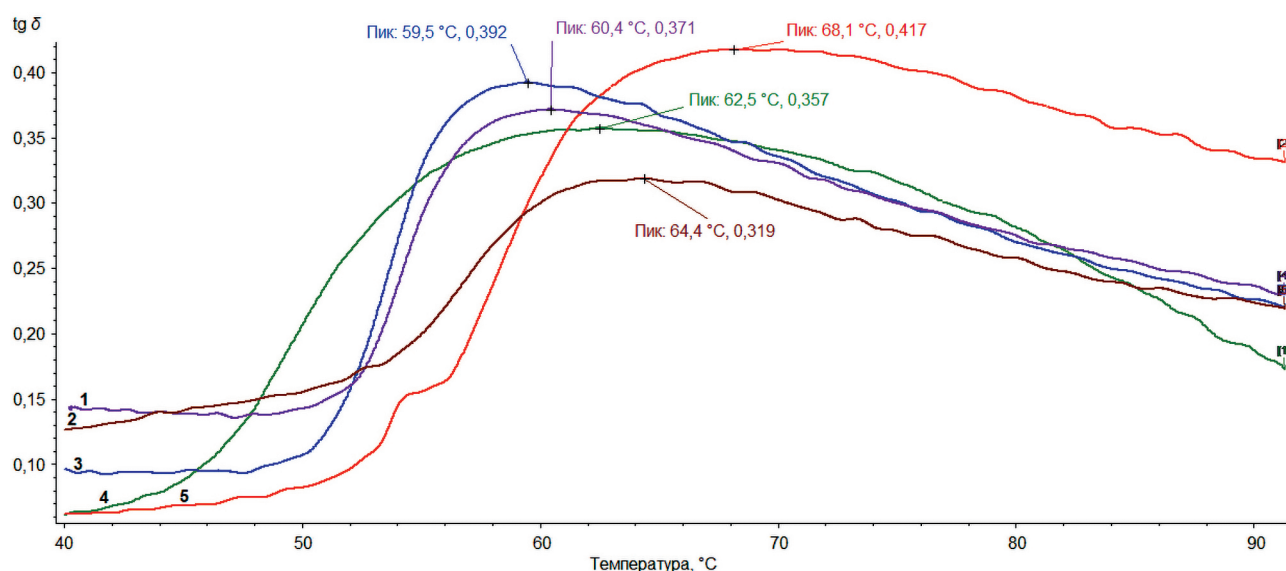


Рис. 3. Кривые тангенса угла механических потерь: 1 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 88/12 масс.%; 2 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 92/8 масс.%; 3 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 90/10 масс.%; 4 – поливиниловый спирт; 5 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 85/15 масс.%

Fig. 3. Mechanical loss tangent curves: 1 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 88/12 mass. %; 2 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 92/8 mass. %; 3 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 90/10 mass. %; 4 – polyvinyl alcohol; 5 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 85/15 mass. %

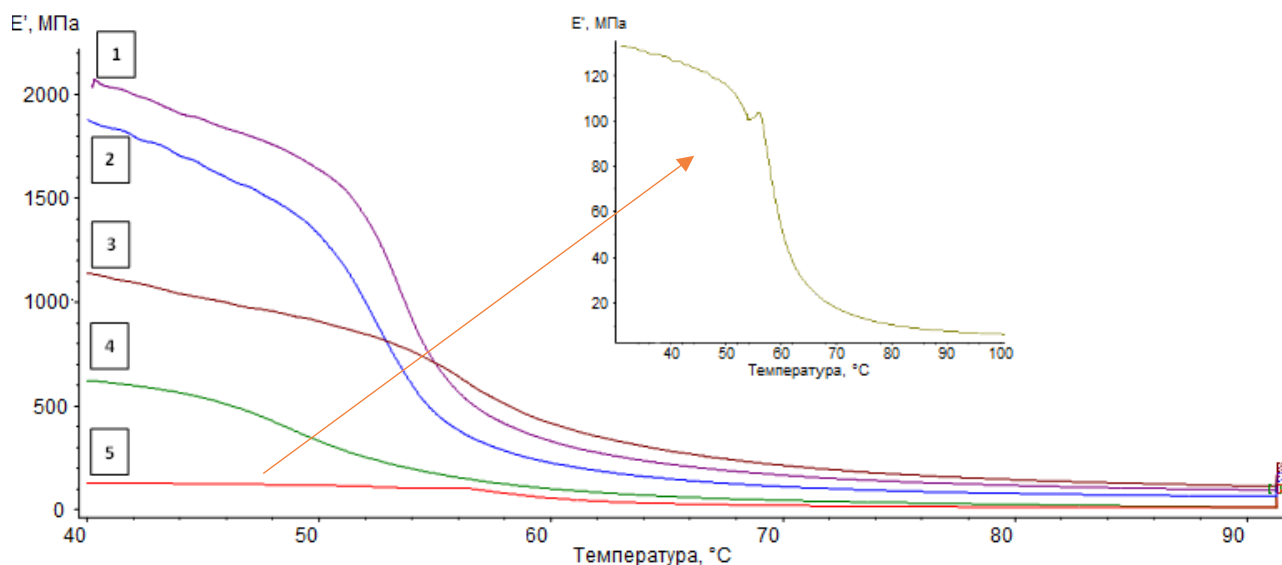


Рис. 5. Кривые модулей упругости от температуры: 1 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 88/12 масс.%; 2 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 90/10 масс.%; 3 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 92/8 масс.%; 4 – поливиниловый спирт; 5 – поливиниловый спирт / полигексаметиленгуанидин гидрохлорид – 85/15 масс.%

Fig. 5. Relationship between elastic modulus and temperature: 1 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 88/12 mass. %; 2 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 90/10 mass. %; 3 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 92/8 mass. %; 4 – polyvinyl alcohol; 5 – polyvinyl alcohol / polyhexamethyleneguanidine hydrochloride – 85/15 mass. %

первому максимуму $\text{tg } \delta$ (54,3 °C), а другой находится при температуре второго максимума $\text{tg } \delta$ (68,1 °C), после которого модуль накопления снижается более резко. В целом при 15%-м содержании полигексаметиленгуанидин гидрохлорида модуль накопления (см. рис. 5) уменьшается в 5 раз в сравнении с чистым поливиниловым спиртом и как минимум на порядок в сравнении с другими составами. Вероятно, снижение жесткости обусловлено фазовым разделением.

Образованные пограничные межфазные области, представленные сшивками, являются менее эластичными, снижается гибкость макромолекул и их способность к ориентации при растяжении, что в целом приводит к уменьшению растяжения образцов. При содержании более 8% полигексаметиленгуанидин гидрохлорида в полимер-полимерной смеси прочность уменьшается. Возможно, наблюдается эффект самоконцентрации, из-за цепной связности среднее число ближайших

соседей данного сегмента, принадлежащих одному и тому же компоненту, больше, чем число соседних сегментов другого компонента, т.е. наблюдается агрегация межфазных пограничных областей, что приводит к увеличению внутренних напряжений, следовательно, уменьшению прочности при разрыве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенной работы получены пленочные материалы состава полигексаметиленгуанидин гидрохлорид / поливиниловый спирт. Показано, что наилучшими механическими и термомеханическими свойствами обладает пленочный материал с содержанием полигуанидина 10 масс.%. С помощью микроструктурного и термомеханического анализа образцов доказана их совместимость и подтверждена однофазность материалов при низких концентрациях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Повстугар В.И., Кодолов В.И., Михайлова С.С. Строение и свойства поверхности полимерных материалов. М.: Химия, 1988. 188 с.
2. Ефимов К.М., Гембицкий П.А., Снежко А.Г. Полигуанидины – класс малотоксичных дезсредств пролонгированного действия // Дезинфекционное дело. 2000. N 4. С. 32.
3. А.с. SU 1687261 A1, СССР, МПК A61L 2/16, A61L 2/18. Бактерицидное средство / Н.А. Поликарпов, П.А. Гембицкий, А.Н. Виктор, В.Е. Лиманов, Н.П. Баркова. Заявл. 15.12.1989; опубл. 30.10.1991.
4. Гвоздяк П.И., Никоненко В.У., Чеховская Т.П., Загорная Н.Б. Ферментативная деструкция гексаметилендиамина // Химия и технология воды. 1987. Т. 9. N 2. С. 172.

5. Григорьева М.Н., Стельмах С.А., Астахова С.А., Центр И.М., Базарон Л.У., Батоев В.Б. [и др.]. Синтез сополимеров гидрохлоридов полиалкилгуанидинов и их антибактериальная активность в отношении условно-патогенных микроорганизмов *Bacillus cereus* и *Escherichia coli* // Химико-фармацевтический журнал. 2015. Т. 49. N 2. С. 29–33. EDN: TKVKGD.
6. Воинцева И.И., Гембицкий П.А. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы. М.: ЛКМ-пресс, 2009. 303 с. EDN: QNERHN.
7. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты / пер. с англ. А.П. Коробко, А.В. Вакулы. М.: Химия, 1979. 440 с.

8. He G., Cao J., Wang C., Fan L., Yin Y., Cai W., et al. Physically cross-linked hydrogels with excellent self-healing, moldability, antibacterial activities and adjustable mechanical properties // *Journal of Wuhan University of Technology – Mater. Sci. Ed.* 2019. Vol. 34, no. 6. P. 1484–1494. DOI: 10.1007/s11595-019-2217-5.

9. Кочергинская Л.Л., Розенблюм Н.Д., Стасюк Х.А. Получение и свойства ионообменных пленок из привитых сополимеров на основе полиолефинов некоторых мономеров // *Высокомолекулярные соединения*. 1962. Т. 4. N 5. С. 633–636.

10. Ушаков С.Н. Поливиниловый спирт и его производные. В 2 т. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 1419 с.

11. Лозинский В.И. Криотропное гелеобразование растворов поливинилового спирта // *Успехи химии*. 1998. Т. 67. N 7. С. 641–655. DOI: 10.1070/RC1998v067n07ABEH000399.

12. Липатов Ю.С. Физико-химия наполненных полимеров. Киев: Наукова думка, 1967. 233 с.

13. Филимошкин А.Г., Воронин Н.И. Химическая модификация полипропилена и его производных. Томск: Изд-во ТомГУ, 1988. 180 с.

14. Okladnikova V.O., Ochirov O.S., Grigor'eva M.N., Stelmakh S.A., Mogonov D.M. Obtaining a copolymer of polyhexamethylene guanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1989. P. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1989/1/012002.

15. Stel'makh S.A., Grigor'eva M.N., Bazarov L.U., Mogonov D.M. Synthesis and pH-sensitivity of guanidine

containing hydrogels // *Journal of Materials Science and Engineering B*. 2012. Vol. 2, no. 8. P. 421–428. EDN: SMPWSJ.

16. Филиппова Л.С., Акимова А.С., Пикалов Е.С. Защитное полимерное покрытие с повышенными прочностными и адгезионными характеристиками // *Инженерный вестник Дона*. 2023. N 5. С. 492–504. EDN: LVYWNT.

17. Окладникова В.О., Очиров О.С., Григорьева М.Н., Стельмах С.А. Полимер-полимерная смесь поливинилового спирта и полигексаметиленгуанидин гидрохлорида для задач антимикробной защиты поверхностей // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2022. Т. 12. N 4. P. 627–632. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-627-632. EDN: NCPNGW

18. Сясько В.А., Голубев С.С., Смирнова Н.И. Перспективные методы измерения толщины защитных покрытий. Проблемы методов и метрологического обеспечения // *Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. статей VI Междунар. науч.-техн. конф. (г. Могилев, 19–20 сентября 2017 г.)*. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2017. С. 30–39. EDN: ZO0BUP.

19. Аскадский А.А., Матвеев Ю.И. Химическое строение и физические свойства полимеров. М.: Химия, 1983. 248 с.

20. Структура и свойства поверхностных слоев полимеров: сб. статей / отв. ред. Ю.С. Липатов. Киев: Наукова думка, 1972. 295 с.

REFERENCES

1. Povstugar V.I., Kodolov V.I., Mikhailova S.S. *Structure and surface properties of polymer materials*. Moscow: Khimiya; 1988, 188 p. (In Russian).

2. Efimov K.M., Gembitskii P.A., Snezhko A.G. Polyguanidines as low-toxic, long-acting disinfectants. *Dezinfektsionnoe delo*. 2000;4:32. (In Russian).

3. Polikarpov N.A., Gembitskij P.A., Viktorov A.N., Limanov V.E., Barkova N.P. *Disinfectant agent*. Inventor's certificate of the USSR, no. SU 1687261 A1; 1991. (In Russian).

4. Gvozdyak P.I., Nikonenko V.U., Chekhovskaya T.P., Zagornaya N.B. Enzymatic degradation of hexamethylenediamine. *Khimiya i tekhnologiya vody*. 1987;9(2):172. (In Russian).

5. Grigor'eva M.N., Stel'makh S.A., Astakhova S.A., Tsenter I.M., Bazarov L.U., Batoev V.B., et al. Synthesis of polyalkylguanidine hydrochloride copolymers and their antibacterial activity against conditionally pathogenic microorganisms *Bacillus cereus* and *Escherichia coli*. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*. 2015;49(2):29–33. (In Russian). EDN: TKVKGD.

6. Vointseva I.I., Gembitskii P.A. Polyguanidines – disinfectants and multifunctional additives to composite materials. Moscow: LKM-press; 2009, 303 p. (In Russian). EDN: QNERHH.

7. Manson J.A., Sperling L.H. Polymer blends and composites; 1976, 513 p. (Russ. ed.: *Polimernye smesi i kompozity*. Moscow: Khimiya; 1979, 440 p.).

8. He G., Cao J., Wang C., Fan L., Yin Y., Cai W., et al. Physically cross-linked hydrogels with excellent self-healing, moldability, antibacterial activities and adjustable mechanical properties. *Journal of Wuhan University of*

Technology – Mater. Sci. Ed. 2019;34(6):1484–1494. DOI: 10.1007/s11595-019-2217-5.

9. Kocherginskaya L.L., Rozenblum N.D., Stasuk Kh.A. Preparation and properties of ion exchanging films of polyolefin-monomers graft copolymers. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1962;4(5):633–636. (In Russian).

10. Ushakov S.N. *Polyvinyl alcohol and its derivatives*. In 2 vol. Moscow – Leningrad: Academy of Sciences of the USSR; 1960, 1419 p. (In Russian).

11. Lozinskii V.I. Cryotropic gelation of poly(vinyl alcohol) solutions. *Uspekhi khimii = Russian Chemical Reviews*. 1998;67(7):641–655. (In Russian). DOI: 10.1070/RC1998v067n07ABEH000399.

12. Lipatov Yu.S. *Physico-chemistry of filled polymers*. Kiev: Naukova dumka; 1967, 233 p. (In Russian).

13. Filimoshkin A.G., Voronin N.I. *Chemical modification of polypropylene and its derivatives*. Tomsk: Tomsk State University; 1988, 180 p. (In Russian).

14. Okladnikova V.O., Ochirov O.S., Grigor'eva M.N., Stelmakh S.A., Mogonov D.M. Obtaining a copolymer of polyhexamethylene guanidine hydrochloride and polyvinyl alcohol. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1989:012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1989/1/012002.

15. Stel'makh S.A., Grigor'eva M.N., Bazarov L.U., Mogonov D.M. Synthesis and pH-sensitivity of guanidine containing hydrogels. *Journal of Materials Science and Engineering B*. 2012;2(8):421–428. EDN: SMPWSJ.

16. Filippova L.S., Akimova A.S., Pikalov E.S. Protective polymer coating with increased strength and adhesion characteristics. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2023;5:492–504. (In Russian). EDN: LVYWNT.

17. Okladnikova V.O., Ochirov O.S., Grigor'eva M.N., Stelmakh S.A. Polymer-polymer composition of polyvinyl alcohol and polyhexamethylene guanidine hydrochloride for antimicrobial surface protection. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(4):627-632. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-4-627-632. EDN: NCPNGW.

18. Syas'ko V.A., Golubev S.S., Smirnova N.I. Promising methods for measuring the protective coatings thickness. Problems of methods and metrological support. In: *Sovremennye metody i pribory kontrolya kachestva i diagnostiki*

sostoyaniya ob"ektov: sb. statei VI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. = Modern methods and instruments for quality control and diagnostics of the objects condition: Proc. of the 6th Int. Sci. Tech. Conf. 19–20 September 2017, Mogilev. Mogilev: Belarusian-Russian University; 2017, p. 30-39. (In Russian). EDN: Z00BUP.

19. Askadskii A.A., Matveev Yu.I. *Chemical structure and physical properties of polymers*. Moscow: Khimiya; 1983, 248 p. (In Russian).

20. Lipatov Yu.S. *Structure and properties of surface layers of polymers*. Kiev: Naukova dumka; 1972, 295 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рябова Валерия Олеговна,
инженер,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
✉ lera-okladnikova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0903-8780>

Аюрова Оксана Жимбеевна,
к.т.н.,
заведующий лабораторией,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
доцент,
Бурятский государственный университет
им. Доржи Банзарова,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина 24а,
Российская Федерация,
chem88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4772-9133>

Очиров Олег Сергеевич,
к.фарм.н., ведущий инженер,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
ochirov.o.s@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2317-4105>

Григорьева Мария Николаевна,
к.фарм.н., ведущий инженер,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
gm_n_07@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4184-2805>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valeria O. Ryabova,
Engineer,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
✉ lera-okladnikova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0903-8780>

Oksana Zh. Ayurova,
Cand. Sci. (Engineering),
Head of the Laboratory,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
Associate Professor,
Banzarov Buryat State University,
24a, Smolin St., Ulan-Ude, 670000,
Russian Federation,
chem88@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4772-9133>

Oleg S. Ochirov,
Cand. Sci. (Pharmacy), Lead Engineer,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
ochirov.o.s@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2317-4105>

Maria N. Grigor'eva,
Cand. Sci. (Pharmacy), Lead Engineer,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
gm_n_07@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4184-2805>

Стельмах Сергей Александрович,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
s_stelmakh@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3392-5600>

Вклад авторов

В.О. Рябова – сбор данных литературы,
получение пленочных материалов,
подготовка образцов к испытаниям.
О.Ж. Аюрова – исследование
термомеханических свойств образцов.
О.С. Очиров – получение полимер-полимерных
смесей, пленочных материалов.
М.Н. Григорьева – синтез
полигексаметиленгуанидин гидрохлорида,
получение полимер-полимерных смесей.
С.А. Стельмах – изучение механизма сшивания
в полимерных системах.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 28.08.2023.
Одобрена после рецензирования 31.10.2023.
Принята к публикации 29.02.2024.

Sergey A. Stelmakh,
Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
s_stelmakh@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3392-5600>

Contribution of the authors

Valeria O. Ryabova – literature data collection, film
materials obtaining, samples preparing for testing.
Oksana Zh. Ayurova – studying of the
thermomechanical properties of samples.
Oleg S. Ochirov – polymer-polymer mixtures
and film materials obtaining.
Maria N. Grigor'eva – synthesis of polyhexamethylene-
guanidine hydrochloride, polymer-polymer mixtures
obtaining.
Sergey A. Stelmakh – studying of the crosslinking
mechanism in polymer systems.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 28.08.2023.
Approved after reviewing 31.10.2023.
Accepted for publication 29.02.2024.