

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ХЕМОСОРБЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ И ИХ ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

О.И. Романко

olrom49@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Отработана методика опытного получения хемосорбционного полимера на основе полиакрилонитрила. Рассчитано значение обменной емкости указанного материала. Методом термического анализа установлены температурные интервалы проявления молекулярной и сегментальной подвижности сополимеров полиакрилонитрила с металл-сульфонатом и 2-метил-5-винил-пиридином. Определены температура стеклования и энергия активации процесса стеклования для указанного ряда сополимеров. Полученные данные могут быть использованы для уточнения технологических параметров создания фильтр-материалов

Ключевые слова

Хемосорбция, полимеры, температура стеклования, термический анализ, энергия активации, гибкость полимеров

Поступила в редакцию 16.02.2016
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Введение. Защита среды обитания от токсичных отходов — одна из актуальных проблем, решением которой является разработка малоотходных технологических процессов получения и применения высокоэффективных материалов различного рода для улавливания вредных веществ. Широкое применение получили волокнистые ионообменные фильтры [1–4], хемосорбционные свойства которых используют для очистки газо-воздушной и водной среды, в частности, промышленных стоков от солей тяжелых металлов (табл. 1).

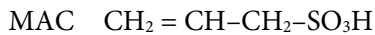
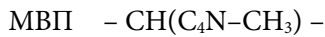
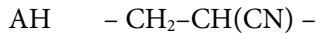
Таблица 1

Результаты анализа воды, содержащей катионы тяжелых металлов, с использованием хемосорбционного фильтра

Металл	Содержание тяжелых катионов в воде, мг/л		Степень очистки, %
	До фильтрации	После фильтрации	
Железо	15,0	0,080	99,5
Медь	5,0	0,070	99,4
Цинк	50,0	0,210	98,6
Свинец	1,5	0,041	97,2
Кобальт	50,0	0,900	97,3

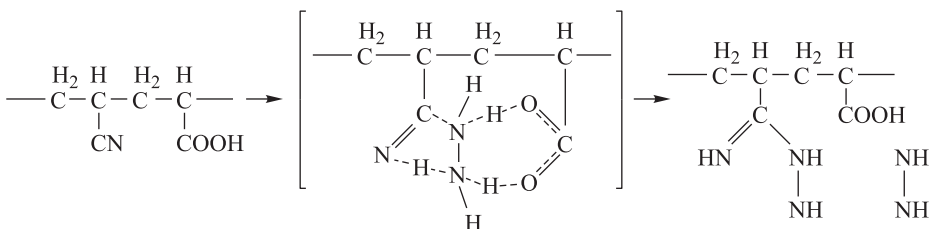
Цель настоящей работы — отработка получения образцов хемосорбционного волокна для фильтр-материалов систем очистки воды и исследование их термических свойств. Задача заключалась в исследовании методом термического анализа молекулярной и сегментальной подвижности макромолекул, составляющих сополимеры в процессе сложной технологической схемы получения фильтр-материалов.

Объекты исследования и аппаратура. Волокнистые хемосорбционные материалы получают на основе волокон, содержащих в структуре функциональные группы, способные в определенных условиях к полимераналогичным превращениям, ионному обмену, комплексообразованию [1, 2] в боковых заместителях. В качестве исходного волокна используют полиакрилонитрильное (ПАН) волокно «нитрон», представляющее собой тройной сополимер акрилонитрила (АН), метилметакрилата и итаконовой кислоты (в соотношении 92,5:6,0:1,5). Способные к сорбционным процессам полимеры должны содержать активные (функциональные) группы для осуществления механизма хемосорбции [3]. Активные группы для обмена ионами включают в себя 2-метил-5-винил-пиридин (МВП) и метил-аллил-сульфонат натрия (МАС) [4], которые можно подразделить на две группы: 1) кислотные катиониты (КН); 2) основные аниониты (АН). К первой группе относят сополимеры АН с МАС, ко второй — сополимеры АН с МВП. Структурные формулы мономерных звеньев изученных в работе сополимеров приведены ниже.

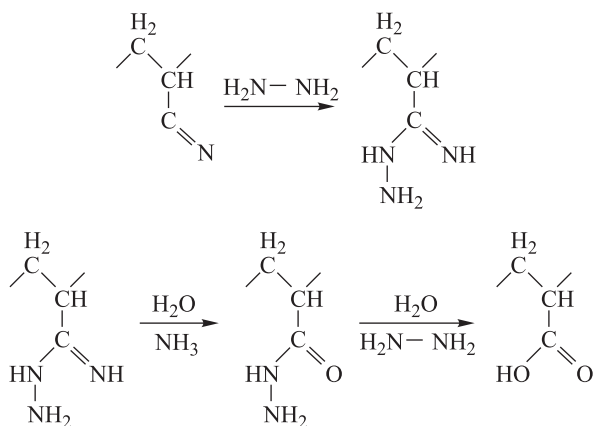


Для настоящей работы перечисленные сополимеры в различном соотношении произведены во ВНИИПВ методом, приведенным в работе [5], методом потенциометрического титрования и элементарным анализом был определен состав этих сополимеров. Термические исследования проведены на дериватографе Q1500 фирмы MOM и приборе ДТА 500S фирмы Heraeus.

Результаты. Методика получения хемосорбционного материала была отработана на примере сильнокислотного КН [6]. Процесс получения хемосорбентов на основе ПАН-волокон осуществлен в две стадии. На первой стадии для придания полимеру нерастворимости в водной среде его обрабатывали сшивающими агентами для создания пространственной сетки. Модификацию свойств ПАН-волокон полимераналогичными превращениями на первой стадии описывает уравнение



На второй стадии полимер обрабатывали агентами, приводящими к появлению в его макромолекуле активных групп, которые способны к реакциям обмена ионов хемосорбента на другие ионы того же заряда:



Модификацию волокна осуществляли (10...30)%-ными (масс.) водными растворами гидразингидрата (ГГ) в течение 1...6 ч при температуре 90...95 °С и модуле ванны 1:50 (модуль ванны — отношение массы волокна к объему реагента). После гидразидирования образец промыли дистиллированной водой и высушили (все последующие испытания проводили только с сухими образцами).

Основное свойство волокнистых хемосорбентов — объемная емкость, которую определяют как число фиксированных ионов в единице объема (массы) ионита, способных к ионному обмену, выражается в ммоль/см³ (ммоль/г). Расчет обменной емкости материала проведен определением титра ионов водорода, поглощаемых из рабочего раствора соляной кислоты единицей массы волокна. Навеску полученного полимера залили раствором HCl, оставили на некоторое время для установления равновесия в системе и титровали фильтрат раствором NaOH до перехода красно-фиолетовой окраски универсального индикатора в зеленую окраску, затем рассчитали концентрацию функциональных групп в фазе материала.

Статическую обменную емкость (СОЕ, мг-экв/г) хемосорбента в водородной форме 4–5 разных фрагментов полимера определяли по формуле

$$\text{СОЕ} = \frac{(V - V_1)\mu}{m},$$

где V — объем раствора HCl, см³; V_1 — объем раствора NaOH на титрование, см³; μ — концентрация HCl, мг-экв/см³; m — масса волокна, г. Расчетное значение СОЕ составляет 0,8...1,0 ммоль/г [7] (следует отметить, что экспериментально определенное значение может отличаться от теоретического).

Наличие в макромолекуле полимера статистически распределенных звеньев разной природы может вносить характерные особенности в зависимости от гибкости макромолекул. Оценка гибкости цепи ПАН-волокон была выполнена с помощью решения уравнения Притыкина — Аскадского [8]: параметр S (число повторяющихся звеньев в сегменте макромолекулы) рассчитан по формуле

$$S = \frac{\sum_i \Delta E_i^S}{\sum_i \Delta E_{i\text{мол}}^S},$$

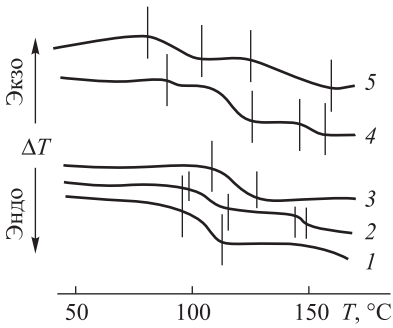


Рис. 1. Кривые (1–5) ДТА ПАН и его сополимеров различного состава

где $\sum_i \Delta E_i^S$ — сумма эффективной энергии когезии сегментов; $\sum_i \Delta E_{\text{мол}}^S$ — сумма эффективных мольных энергий когезии. Рассчитанное значение сегмента составляет 11 нм, что позволяет отнести его к гибкоцепному ряду полимеров. Поэтому при исследовании его методом термического анализа следовало ожидать проявления разнообразных форм подвижности макромолекулярной цепи.

На кривых ДТА сополимеров ПАН с МАС или МВП различного состава хорошо видны четкие характерные ступенчатые перегибы в диапазоне значений температуры 60...120 °С (рис. 1). Отсутствие изменения массы образцов в этом диапазоне температуры показали ТГА-исследования [2].

Эксперименты по изменению скоростей нагрева образцов обнаружили сдвиг значений температуры этих перегибов в область более высоких температур и расширение указанного диапазона значений температуры. Это характерно для перехода гибкоцепного полимера из стеклообразного состояния в высокоэластическое состояние. Экстраполяцией найденных значений температуры при различных скоростях нагрева к «нулевой» скорости были рассчитаны значения температуры стеклования $T_{\text{ст}}$ сополимеров ПАН и МАС и сополимеров ПАН и МВП для равновесного состояния: например, для 100 % ПАН стеклование начинается при температуре 60...65 °С, для сополимера АН и МАС (92:8) — при температуре 90...95 °С.

Данные термического анализа позволили установить зависимость температуры стеклования сополимеров АН и МАС от содержания введенного в ПАН второго компонента (рис. 2, а). Эта функция имеет максимум при введении в ПАН 8 % МАС. По-видимому, такое повышение температуры стеклования в цепи ПАН может быть связано с уменьшением гибкости макромолекул, «ожесточением» макромолекул сополимера за счет межионного взаимодействия активных групп МАС и АН. Объемные боковые заместители ограничивают подвижность полимерной цепи, в связи с чем происходит возрастание температуры стеклования. При существенном увеличении содержания МАС это влияние уменьшается, «разрыхляя» макромолекулу вследствие снижения силы межмолекулярных когезионных сил, что снижает температуру стеклования $T_{\text{ст}}$. Два указанных фактора действуют в цепи одновременно, в зависимости от содержания МАС преобладает тот или другой механизм, что приводит к компенсации этих факторов в точке максимума.

При проведении термического анализа сополимеров АН и МВП было установлено следующее: сополимеры очень чувствительны к наличию влаги в образцах, поскольку содержат гетероциклы с атомом азота в макромолекулярной цепи, спо-

собного присоединять молекулы влаги за счет донорно-акцепторного взаимодействия атома азота со средой. После согласования первоначальных результатов — кривых ДТА — с данными ТГА-исследований и уточнения динамики выделения влаги было решено использовать методику предварительной сушки образцов в ячейках приборов, для чего систему охладили и вновь провели ДТА-исследование. Для этой системы также определена зависимость температуры стеклования сополимеров АН и МВП от содержания введенного в ПАН компонента. Эта зависимость имеет максимум при введении в ПАН 40 % МВП (рис. 2, б). Следует обратить внимание, что температура стеклования АН и МВП ниже температуры стеклования 100 % ПАН. Снижение температуры стеклования сополимера АН и МВП, возможно, вызвано появлением в цепи статистически распределенных звеньев МВП. Эти факторы влияют на гибкость цепи, ослабление межмолекулярного взаимодействия звеньев цепи за счет «внутренней» пластификации [10]. Дальнейшее увеличение числа звеньев МВП создает возможность повышенного донорно-акцепторного взаимодействия гетероциклов в цепи макромолекулы сополимера и повышает температуру стеклования до температуры, характерной для МВП. Присутствие группы CH_3 в звене МВП также может препятствовать свободному вращению вокруг $\text{C}-\text{C}$ связи основной цепи, что увеличивает температуру стеклования $T_{\text{ст}}$.

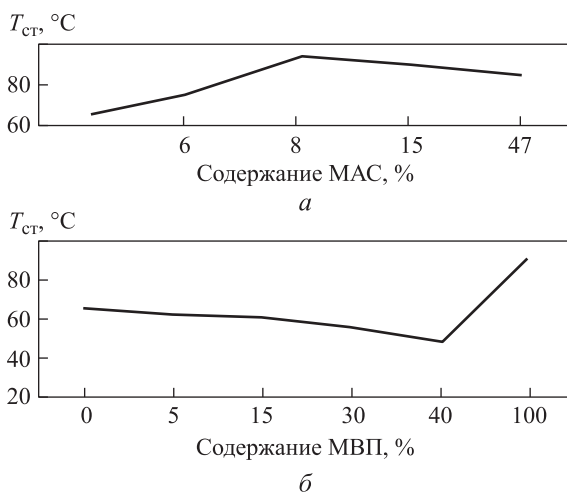


Рис. 2. Зависимости температуры стеклования сополимеров АН и МАС от содержания МАС (а) и МВП (б)

Термический анализ 100 % ПАН с применением различных скоростей нагрева позволил выявить так называемую «вторую» температуру стеклования, которая связана не с перемещением сегментов макромолекулярной цепи, а представляет собой последствие сдвига дипольного взаимодействия групп CN полимерной цепи [2]. Этот эффект наблюдается при температуре 140 °C (кривая 1, см. рис. 1). При небольшом содержании в полимерной цепи групп МАС (кривые 2–4, см. рис. 1) перегиб сглаживается, а достаточно высокое содержание

введенного второго компонента затрудняет проявление этого эффекта (кривая 5, см. рис. 1). Указанный эффект можно связать с частичным блокированием, а затем и с полным «гашением» или вырождением этого α' -перехода [12].

Варьирование скоростей нагрева в экспериментах позволило рассчитать кинетику перегруппировки сегментов и звеньев в аморфной части полимера. Расчет энергии активации стеклования по данным ДТА проведен по классическим уравнениям химической кинетики [9]. Для определения численного значения энергии активации процесса стеклования использована зависимость скоростей нагрева от энергии активации. Для постоянных превращений при различных скоростях нагрева решается уравнение

$$d \log \frac{a}{dt} = - \frac{E_{\text{акт}}}{2,303R},$$

где $a = dT/dt$ — постоянная скорость нагрева. Графическое решение приведенного уравнения позволяет получить семейство прямых с идентичным подъемом и энергией активации [13], результаты расчетов энергии активации $E_{\text{акт}}$ для сополимеров АН и МАС, АН и МВП приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения энергии активации стеклования сополимеров ПАН различного состава

Полимер	Температура стеклования, °С	Энергия активации, кДж/кг
ПАН (100 %)	65	75–80
ПАН:МАС		
94:6	75	85–85
92: 8	95	95–105
85:15	90	105–110
53:47	85	100–110
ПАН:МВП		
60:40	48	85–90
70:30	55	80–95
85:15	60	75–80
95:5	65	80–90
ПМВП (100 %)	90	110–120

Энергия активации зависит от природы взаимодействующих веществ, поэтому результаты расчетов можно подразделить на две группы. К первой группе сополимеров относятся сополимеры, сегменты макромолекул которых содержат межионные связи. Эти сополимеры имеют низкие значения энергии активации процесса стеклования (75...110 кДж/кг) [14, 15]. Вторая группа включает в себя сополимеры АН и МВП с более высокими значениями энергии перегруппировки сегментов, поскольку сегменты макромолекулы содержат объемные боковые группы, в которые входят атомы азота, способные к формированию

донорно-акцепторных связей с неподеленными электронными парами других молекул [16, 17]. Такая геометрия цепи не обеспечивает достаточной свободы, с которой различные звенья и сегменты цепи могут вращаться вокруг ковалентных связей.

Расчеты по кинетике процесса стеклования гибкоцепных сополимеров АН и МАС, АН и МВП, а также закономерности изменения температурного интервала стеклования исследованных сополимеров могут быть применены при обработке технологических регламентов на производство ионообменных материалов при создании фильтр-материалов на их основе.

Заключение. Отработана методика получения хемосорбционного полимера на основе АН и его сополимеров с МАС и МВП. Методом термического анализа определены диапазоны значений температуры, в которых проявляются молекулярная и сегментальная подвижности сополимеров АН. Рассчитаны значения температуры стеклования и энергии активации этого процесса для нескольких сополимеров АН. Полученные данные могут быть использованы при создании и уточнении технологических регламентов производства хемосорбционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зверев О.М.* Очистка сточных вод волокнистыми ионитами // Вестник Московского городского педагогического университета. Сер. Естественные науки. 2014. № 1 (13). С. 60–64.
2. *Беркович А.К., Сергеев В.Г., Медведев В.А., Малахо А.П.* Синтез полимеров на основе полиакрилонитрила. Технология получения ПАН и углеродных волокон. М.: МГТУ им. М.В. Ломоносова, 2010. 63 с.
3. *Петров Ю.П., Котюков А.Б., Щербинина Т.А., Зехов С.В.* Использование углеродных волокнистых сорбентов (УВС) и волокнистых ионообменных нетканых материалов (ВИОН) в конструкциях фильтров для очистки воды // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. Вып. 1 (14). С. 66–67.
4. *Квятковская А.С., Сабурова Ю.Б., Амирханова Н.А.* Исследование эффективности анионообменных мембран для удаления шестивалентного хрома из сточных вод // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. № 5 (29). С. 20–25.
5. *Абдулхакова З.З., Зверев О.М.* Определение сорбционных свойств ионообменных волокон // Вестник Московского городского педагогического университета. Сер. Естественные науки. 2013. № 1 (11). С. 31–39.
6. *Влияние состава полиакрилоимидообразующих сополимеров на процесс их переработки / В.А. Дятлов, Т.А. Гребенева, И.Р. Рустамов, О.В. Белоконов, В.В. Киреев, М.В. Ильина // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2013. Т. 55. № 3. С. 369–374.*
7. *Сильченченков А.Д., Романко О.И.* Принцип получения волокнистого хемосорбента для очистки водных сред // Современные естественно-научные и гуманитарные проблемы. Научно-методическая конференция, посвященная 40-летию НУК ФН. Сб. труд. М.: Логос, 2005. С. 243–249.
8. *Долгова Е.В.* Синтез и свойства ионогенных полимеров и их комплексов с поверхностно-активными веществами в качестве биоцидных материалов. Дис. ... канд. хим. наук. М., 2015. 154 с.

9. Романко О.И. Об особенностях фазовых превращений в полиоксадиазоле // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 3. С. 120–128. DOI: 10.18698/1812-3368-2015-3-120-128
10. Романко О.И. Расчет основных кинетических параметров процесса релаксации полимеров // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2004. № 2. С. 121–126.
11. Козлов П.В., Папков С.П. Физико-химические основы пластификации полимеров. М.: Химия, 1982. 224 с.
12. Митрофанов Ю.П., Лысенко А.В., Ляхов С.А., Хоник В.А. О связи модуля сдвига и энергии активации активных перестроек в металлических стеклах // Вестник ТГУ. Сер. Естественные и технические науки. 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 882–887.
13. Romanko O.I. About structural transformations in flexible-chain of poly-4-methylpentene-1 // Abstracts of International Scientific Conference Physical and Mathematical Problems of Advanced Technology Development. Moscow, 2014, p. 99.
14. Дубровский А.В., Шабарчина Л.И., Ким Ю.А., Сухоруков Б.И. Исследование влияния температуры на полиэлектролитные микрокапсулы // Физика и химия стекла. 2014. Т. 33. № 3. С. 319–326.
15. Смирнова Н.Н., Кулагина А.Ю., Федотов Ю.А. Влияние температуры на комплексообразование сульфатсодержащих полифениленфталамидов в водных средах // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. Вып. 3. С. 32–35.
16. Голотина Л.А., Шардаков И.Н. Моделирование особенностей термомеханического поведения полимера в температурном диапазоне, включая релаксационный переход // Вестник Пермского Национального исследовательского Политехнического Университета. Механика. 2010. Вып. 3. С. 49–54.
17. Романко О.И., Шаповал В.Н. О связи химического строения и термических свойств полиимидов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 2. С. 103–113. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-2-103-113

Романко Ольга Ильинична — канд. хим. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Романко О.И. Особенности получения хемосорбционных полимеров и их термические свойства // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2016. № 5. С. 115–124. DOI: 10.18698/1812-3368-2016-5-115-124

PRODUCTION OF CHEMISORPTION POLYMERS AND THEIR THERMAL PROPERTIES

O.I. Romanko

olrom49@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

This article describes a method of chemisorption polymer production based on polyacrylonitrile. Our work provides the calculation of an exchange capacity for this material. Using the thermal analysis we established temperature intervals for molecular and segmental mobility emergence of the polyacrylonitrile copolymers with methallyl sulfonate and 2-methyl-5-vinylpyridine. We determined glass transition temperature and calculated activation energy of glass transition process for the specified copolymers. The data obtained can be used to refine the technological parameters of filter materials production

Keywords

Chemisorption, polymers, glass transition temperature, thermal analysis, energy of activation, polymer elasticity

REFERENCES

- [1] Zverev O.M. Sewage treatment by fibrous ionites. *Vestn. Mosk. Gor. Ped. Univ. Ser. Estestv. Nauki* [Vestn. Moscow City Teachers Training Univ., Nat. Sci.], 2014, no. 1 (13), pp. 60–64 (in Russ.).
- [2] Berkovich A.K., Sergeev V.G., Medvedev V.A., Malakho A.P. Sintez polimerov na osnove poliakrilonitrila. Tekhnologiya polucheniya PAN i uglerodnykh volokon [Synthesis of polyacrylonitrile-based polymers. The technology of obtaining pan and carbon fibers]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2010. 63 p.
- [3] Petrov Yu.P., Kotyukov A.B., Shcherbinina T.A., Zekhov S.V. The use of CFS and VION materials in water filters. *Vestn. Permsk. univ. Geologiya* [Bulletin of Perm University. Geology], 2012, iss. 1 (14), pp. 66–67 (in Russ.).
- [4] Kvyatkovskaya A.S., Saburova Yu.B., Amirkhanova N.A. Research of anion exchange membrane effectiveness for hexavalent chromium extraction from waste water. *Estestv. i mat. nauki v sovremennom mire* [Natural and Mathematical Sciences in the Modern World], 2015, vol. 5, no. 29, pp. 20–29 (in Russ.).
- [5] Abdulkhakova Z.Z., Zverev O.M. Determination of sorption properties of ion-exchange fibers. *Vestn. Mosk. Gor. Ped. Univ. Ser. Estestv. Nauki* [Vestn. Moscow City Teachers Training Univ., Nat. Sci.], 2013, no. 1 (11), pp. 31–39 (in Russ.).
- [6] Dyatlov V.A., Grebeneva T.A., Rustamov I.R., Belokon' O.V., Kireev V.V., Il'ina M.V. Effect of the polyacrylimide forming copolymers composition on the process of their processing. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A* [Polymer Science. Ser. A], 2013, vol. 55, no. 3, pp. 369–374 (in Russ.).
- [7] Sil'chenchenkov A.D., Romanko O.I. The principle of obtaining fibrous chemo sorbent for aqueous media purification. *Sovremennye estestv.-nauch. i gum. problemy. Nauch.-metod. konf., posvyashchennaya 40-letiyu NUK FN. Sb. trud.* [Current natural science and humanitarian problems. Proc. of the scientific-methodical conference devoted to the 40th anniversary

of the Research Educational Complex Fundamental Sciences]. Moscow, Logos Publ., 2005, pp. 243–249 (in Russ.).

[8] Dolgova E.V. Sintez i svoystva ionogennykh polimerov i ikh kompleksov s poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami v kachestve biotsidnykh materialov. Diss. kand. khim. nauk [Synthesis and properties of ionogenic polymers and their complexes with surfactants as bio-cidal materials. Cand. chem. sci. diss.]. Moscow, 2015. 154 p. (in Russ.).

[9] Romanko O.I. Phase transformation characteristics in polyoxadiazole. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 3, pp. 120–128 (in Russ.).

DOI: 10.18698/1812-3368-2015-3-120-128

[10] Romanko O.I. Computation of main kinetic parameters of polymer relaxation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2004, no. 2, pp. 121–126 (in Russ.).

[11] Kozlov P.V., Papkov S.P. Fiziko-khimicheskie osnovy plastifikatsii polimerov [Physical and chemical bases of plasticizing polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 224 p.

[12] Mitrofanov Yu.P., Lysenko A.V., Lyakhov S.A., Khonik V.A. On the relationship of the shear modulus with activation energy of atomic rearrangements in metallic glasses. *Vestnik TGU. Ser. Estestv. i tekhn. nauki* [Tambov University Reports. Ser. Natural and Technical Sciences], 2010, vol. 15, iss. 3, p. 887 (in Russ.).

[13] Romanko O.I. About structural transformations in flexible-chain of poly-4-methylpentene-1. *Abstracts of International Scientific Conference Physical and Mathematical Problems of Advanced Technology Development*. Moscow, 2014, p. 99.

[14] Dubrovskiy A.V., Shabarchina L.I., Kim Yu.A., Sukhorukov B.I. Investigation of the influence of temperature on polyelectrolyte microcapsules. *Glass Physics and Chemistry*, 2007, vol. 33, iss. 3, pp. 226–231. DOI: 10.1134/S1087659607030066

[15] Smirnova N.N., Kulagina A.Yu., Fedotov Yu.A. Effect of temperature on complexation of sulfonate-containing polyphenylenphthalamides and poly-N-(2-aminoethyl) acrylamide in aqueous media. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Khimiya i khim. tekhnologiya* [Proc. of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology], 2011, vol. 54, iss. 3, pp. 32–35 (in Russ.).

[16] Golotina L.A., Shardakov I.N. Modeling of polymer's thermomechanical behavior features in the temperature range including relaxation transition. *Vestn. Permsk. Nats. Issled. Politekh. Univ. Mekhanika* [PNRPU Mechanics Bulletin], 2010, iss. 3, pp. 49–54 (in Russ.).

[17] Romanko O.I., Shapoval V.N. On the relation of chemical structure and thermal properties of polyimides. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 2, pp. 103–113 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2016-2-103-113

Romanko O.I. — Cand. Sci. (Chem.), senior researcher, Assoc. Professor of Chemistry Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Romanko O.I. Production of Chemisorption Polymers and their Thermal Properties. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2016, no. 5, pp. 115–124.

DOI: 10.18698/1812-3368-2016-5-115-124