

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДА И ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОГО ТИПА УРЕТАНСОДЕРЖАЩИХ МУЛЬТИБЛОКСОПОЛИМЕРОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СТРУКТУРОЙ ПОЛИМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ \*

М.А. Макарова, *Институт технической химии УрО РАН*

В.В. Терешатов, *Институт технической химии УрО РАН*

В.Ю. Сеничев, *Институт технической химии УрО РАН*

Ж.А. Внутских, *Испытательный центр средств индивидуальной защиты;  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

А.И. Слободинюк, *Институт технической химии УрО РАН*

А.В. Савчук, *Институт технической химии УрО РАН*

Разработан способ получения мультиблоксополимеров с разнородными чередующимися гибкими сегментами, связанными уретановыми жесткими блоками, с заведомо заданной регулярной структурой полимерных цепей на основе использования «обратных» форполимеров, в том числе в виде трехстадийного варианта. Показано, что триблоксополимеры, полученные новым способом, не только превосходят по прочности материалы, полученные традиционным методом. На основе реокинетических данных построены блоксополимеры с фрагментарной упорядоченностью полимерных цепей. На примере композиций на основе простых олигоэфиров установлено, что использование смесей форполимеров позволяет построить полимерные материалы с оптимальным сочетанием микрофазового разделения и межцепного взаимодействия в мягкой фазе. Такая оптимизация позволяет достигать значительного повышения прочностных свойств блоксополимеров. Предложены направления оптимизации структуры и свойств полиуретанмочевин с разнородными сегментами и разработаны рекомендации по созданию блоксополимеров с улучшенным комплексом термических, термомеханических и механических свойств на основе использования полиуретанов и полиуретанмочевин, синтезированных из простых олигоэфиров с тетраметиленоксидными звеньями.

**Ключевые слова:** уретансодержащие эластомеры, полимерные цепи, мультиблоксополимеры, синтез, структура, свойства.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края № 16-43-590647р-а «Разработка подхода и принципов формирования нового типа уретансодержащих мультиблоксополимеров с регулируемой структурой полимерных цепей».

Одной из особенностей современной стадии научно-технического прогресса является широкое использование материалов на основе высокомолекулярных соединений практически во всех областях деятельности человека. Современное полимерное материаловедение позволяет создавать на их основе материалы с уникальными, заданными комплексами физико-химических свойств. Постоянно повышается уровень технических требований, предъявляемых к существующим полимерным материалам и способам их модификации.

Широкое применение полиуретановых диблоксополимеров в промышленности, строительстве, медицине связано с возможностями регулирования свойств материалов и изделий на их основе [9, 10, 14]. Известно, что уретансодержащие эластомеры рассматриваются в качестве перспективной полимерной основы наполненных функциональных композитов [7, 12].

Перспективным направлением в области развития и совершенствования структуры и свойств обширного класса уретансодержащих блоксополимеров (УСБ) является переход от полимерных систем, состоящих из чередующихся гибких (А) и жестких (Б) блоков (сегментов) типа АБ, к три- и тетраблоксополимерам с различными гибкими или разнородными жесткими сегментами. Такой переход значительно расширит потенциальные возможности регулирования структуры и свойств этого обширного класса полимеров

Уретансодержащие три- и тетраблоксополимеры исследованы в значительно меньшей степени. Однако уже имеющиеся данные демонстрируют необычное поведение таких материалов, связанное с неаддитивным влиянием разных жестких или разных гибких сегментов на свойства блоксополимера. Обнаружена экстремальная зависимость прочности от состава смешанных гибких сегментов и экстремальная зависимость модуля упругости, текущего модуля для некоторых многокомпонентных блоксополимеров [3].

Использование смесей олигомеров, смешанных низкомолекулярных удлини-

телей цепи рассматривается в качестве перспективного направления развития уретансодержащих блоксополимеров и совершенствования их свойств [1, 3–6, 8, 11, 13, 15], включая материалы медицинского назначения [4].

Однако проблема регулирования распределения разных гибких и жестких сегментов в полимерной цепи не рассматривается, что, несомненно, ограничивает возможности построения нового типа материалов, управления их свойствами.

**Цель работы** – разработка и реализация на конкретных примерах принципов построения уретансодержащих три- и тетраблоксополимеров с регулируемым строением полимерных цепей, созданием образцов перспективных мультиблоксополимеров различного применения.

Разработанный для этой цели новый подход включает в себя:

- использование смесей термодинамически совместимых олигомеров с разной молекулярной массой, в том числе олигомеров, содержащих первичные и вторичные функциональные группы;
- использование диизоцианатов с разной реакционной способностью при синтезе термодинамически совместимых форполимеров на основе различных олигодиолов;
- метод «принудительного» построения регулярной структуры полимерных цепей уретансодержащих мультиблоксополимеров, основанный на использовании смесей обычных олигодиизоцианатов и «обратных» форполимеров с концевыми ОН-группами.

На 1-м этапе исследований по проекту нами был предложен трехстадийный способ получения полиэфируретанов с чередующимися политетраметиленоксидными и полипропиленоксидными гибкими сегментами на основе олиготетраметиленоксиддиола, олигопропиленоксиддиола, 4,4'-дифенилметандиизоцианата и 1,4-бутандиола [2]. Продемонстрированы преимущества таких материалов перед полиуретанами на основе смеси олигодиизоцианатов по прочности и температуре размягчения жесткой фазы.

В дальнейшей работе мы использовали трехстадийный способ для получения сегментированных полиуретанмочевин (СПУМ) со смешанными гибкими сегментами и уретанмочевинными жесткими блоками с заведомо заданной регулярной структурой полимерных цепей, включающий синтез «обратного» форполимера при взаимодействии одного олигодиизоцианата с ароматическим диамином, взятым в двойном избытке и последующую реакцию «обратного» форполимера с другим олигодиизоцианатом.

На I стадии получали форполимер SKU-2000 (олигодиизоцианат) на основе олиготетраметиленоксиддиола с молекулярной массой ~ 2000 и 2,4-толуилендиизоцианата (ТДИ), соотношении NCO/OH = 2,05.

На II стадии SKU-2000 использовали для изготовления «обратного» форполимера ОФП-2000. SKU-2000 предварительно перемешивали в течение 30 минут при 60°C под вакуумом. Затем в смеситель вводили навеску ароматического диамина Этакюр-300 (NH<sub>2</sub>/NCO = 2,2). Использование Этакюр-300 обусловлено тем, что жидкий ароматический диамин Этакюр-300 более удобен в технологии получения форполимеров. «Обратный» форполимер готовили в условиях перемешивания реакционной массы в течение 8 часов при 80°C.

Методом ИК-Фурье спектроскопии установлено наличие в спектре «обратного» форполимера ОФП-2000 полосы при 1602 см<sup>-1</sup> колебаний арильного кольца диизоцианата (рис. 1). Полоса при 1633 – 1639 см<sup>-1</sup> свидетельствует об образовании

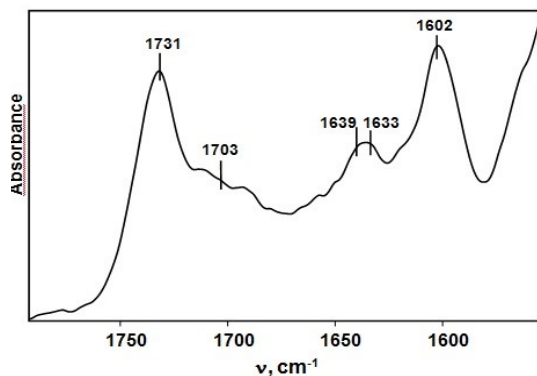


Рис. 1. ИК-спектр «обратного» форполимера ОФП-2000

самоассоциатов мочевинных групп. Обращает на себя внимание полоса при 1703 см<sup>-1</sup> поглощения связанного Н-связями карбонила в самоассоциатах уретановых групп ОФП-2000. Полоса при 1731 см<sup>-1</sup> относится к поглощению свободного карбонила «обратного» форполимера.

III стадия: получение полиуретанмочевин со смешанными гибкими сегментами. Использовали смеси ОФП-2000 с различными олигодиизоцианатами: SKU-ДФ-2 на основе ТДИ и олигобутадиендиола (M~2000), SKU-ПФЛ-100 на основе ТДИ и олиготетраметиленоксиддиола (M~1000), форполимер SKU-ПФ-ОП на основе ТДИ и олигоэфирдиола ПФ-ОП-15 (M~1600), содержащего 85% тетраметиленоксидных и 15% пропиленоксидных звеньев в олигомерной цепи. Смеси указанных форполимеров с «обратным» форполимером в эквимолярном соотношении перемешивали 3 минуты под вакуумом при 80°C. Образцы полиуретанмочевины отверждали в течение 3 суток при 90°C.

При использовании смесей указанных олигомеров с «обратным» форполимером в эквимолярном соотношении образуются триблокполиуретанмочевины с чередующимися разными и твердыми гибкими сегментами. Регулярная структура полимерных цепей новых блоксополимеров заведомо задана составом смесей «обратного» форполимера с олигодиизоцианатами. На рис. 2 приведены ИК-спектры синтезированных полиэфируретанмочевин.

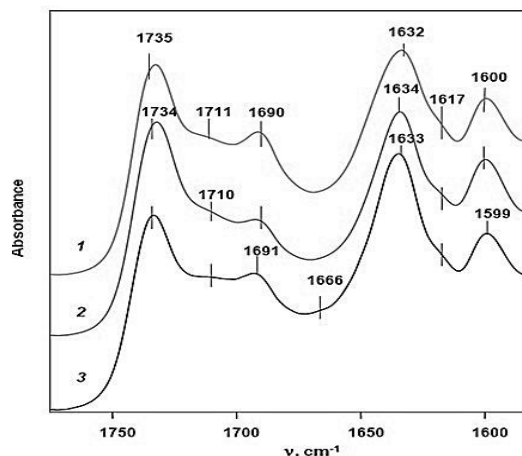


Рис. 2. ИК-спектры образцов на основе смесей ОФП-2000 и олигодиизоцианатов: SKU-ДФ-2(1), SKU-ПФ-ОП(2), SKU-ПФЛ-100(3)

Наблюдается отчетливая полоса при волновом числе 1633 – 1634 см<sup>-1</sup> поглощения связанного карбонила самоассоциатов мочевиных групп в жесткой фазе материала. Полоса при 1690 – 1691 см<sup>-1</sup> относится к поглощению связанного карбонила уретановых групп уретанмочевиных жестких блоков. В ИК-спектрах образцов со смешанными гибкими сегментами имеется полоса при 1710 – 1711 см<sup>-1</sup> связанного разупорядоченного карбонила в гибкой фазе полимера. Полоса при 1735 см<sup>-1</sup> относится к поглощению свободного карбонила в этой фазе. NH-группа связана с кислородом простого полиэфира.

Взаимодействие в гибкой фазе и микрофазовое разделение с образованием жесткой фазы – усиливающего наполнителя, существенно влияет на термические и физико-механические свойства исследуемых триблокполиуретанмочевин: условную прочность  $\sigma_k$ , относительную критическую деформацию  $\varepsilon_k$ , условный модуль упругости  $E_{100}$  (табл. 1).

Термодинамическая совместимость разных гибких сегментов следует из наличия одной температуры стеклования  $T_g^s$  композиций. Значения  $T_g^s$  практически не различаются для образцов, полученных разными способами.

Физико-механические характеристики СПУМ, полученных разными способами, существенно различаются. Следует отметить, что все полиуретанмочевины, полученные через стадию «обратного» формполимера ОФП-2000, значительно превосходят по прочности свои аналоги, синтезированные 2-стадийным способом. Например, прочность триблоксополимера на основе СКУ-ДФ-2, полученного в три ста-

дии в 2 раза выше прочности материала, полученного традиционным способом.

Следующим шагом было создание тетраблоксополимеров. Были синтезированы СПУМ-Т с разнородными уретанмочевиными блоками и смешанными полиэфирными сегментами. Исходные компоненты для синтеза: олигопропиленоксиддиол Voranol 1010L ( $M \sim 1000$ ), олиготетраметиленоксиддиол ОТМО ( $M \sim 1400$ ), диизоцианаты ТДИ, ИДИ, удлинитель цепи – ароматический диамин метилен-бис-*o*-хлоранилин (МОСА). Образцы получали по 2-стадийной технологии через синтез форполимеров: ФП-1 на основе Voranol и ТДИ, форполимер СКУ-ИДИ на основе ОТМО и ИДИ, затем смеси ФП-1 и СКУ-ИДИ отверждали расплавом МОСА.

Результаты исследования реокинетики композиций на основе форполимеров ФП-1 и СКУ-ИДИ показали, что интенсивное нарастание вязкости наблюдается для системы ФП-1+МОСА менее чем через 15 минут, а для системы СКУ-ИДИ+МОСА – более чем через 100 минут. Реокинетические кривые композиций на основе смесей форполимеров сильно смещены в сторону кривой для состава на основе ФП-1 (рис. 3).

Таким образом, используемые форполимеры сильно различаются по скорости взаимодействия с ароматическим диамином. Полученные данные дают основание полагать, что ФП-1 в смеси форполимеров преимущественно реагирует с диамином с образованием сегментов HS<sub>1</sub>:

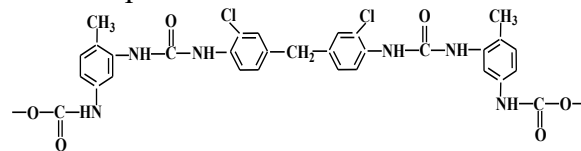


Таблица 1

Характеристика полиуретанмочевин, полученных 2- и 3-стадийным способом

Показатель	СКУ-ПФЛ-100		СКУ-ДФ-2		СКУ-ФФ-ОП	
	3-стадийный способ	2-стадийный способ	3-стадийный способ	2-стадийный способ	3-стадийный способ	2-стадийный способ
$\sigma_k$ , МПа	53.0	45.8	48.6	24.0	54.8	44.6
$\varepsilon_k$ , %	681	512	634	604	677	640
$E_{100}$ , МПа	7.8	12.9	5.9	7.1	6.0	5.3
$T_g^s$ , °С	-74	-75	-74	-75	-74	-74

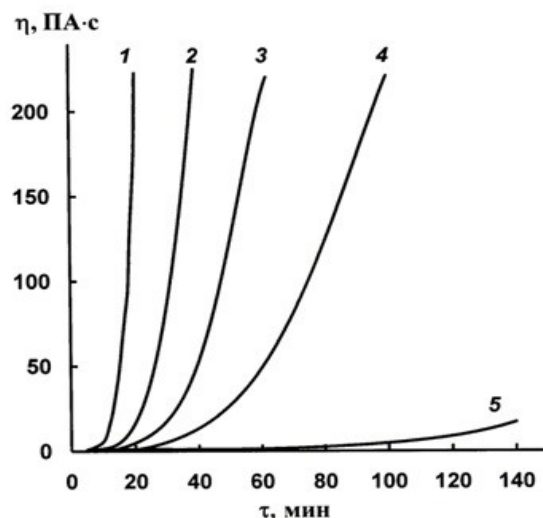
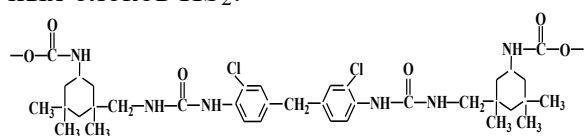


Рис. 3. Реокинетические кривые при 90°C композиций, полученных при разной мольной доле СКУ-ИДИ ( $x_2$ ) в смеси с ФП-1: 0 (1), 0,3(2), 0,5(3), 0,7(4), 1,0(5)

Затем СКУ-ИДИ реагирует с диамином с образованием ОТМО-гибких сегментов  $SS_{\text{ОТМО}}$  и жестких уретанмочевинных блоков  $HS_2$ :



С учетом этого структурную формулу полимерных цепей мультиблоксополимера СПУМ-Т можно представить в виде  $(SS_{\text{РРО}}(HS_1))_m - (SS_{\text{РТМО}}(HS_2))_n$ .

При сильном различии в реакционной способности олигодиизоцианатов полимерные цепи состоят из упорядоченных фрагментов, различающихся по типу твердых жестких и гибких сегментов.

Анализ ИК-спектров политетраблокполиуретанмочевины со смешанными гибкими и разными жесткими сегментами с учетом данных реокинетических исследований показал, что СПУМ-Т представляет собой систему с фрагментарной упорядоченностью полимерных цепей. В материале присутствует как гибкая, так и жесткая фаза. Отмечена частичная растворимость жестких уретанмочевинных блоков в гибкой фазе, содержащей полипропиленоксидные сегменты. Изучено влияние состава смеси форполимеров на термические, термомеханические и физико-механические свойства СПУМ-Т. В табл. 2 приве-

Влияние состава разнородных блоков на характеристики тетраблокполиуретанмочевины

$x_2$	$T_g^s, ^\circ\text{C}$	$T_h, ^\circ\text{C}$	$\sigma_k, \text{МПа}$	$\varepsilon_k, \%$	$E_{100}, \text{МПа}$
0	-5	190	41,8	455	16,3
0,3	-18	175	43,9	488	8,6
0,5	-46	173	49,2	574	6,6
0,7	-61	172	51,0	560	6,0
1,0	-70	170	44,0	562	4,3

дена зависимость характеристик материала при 23°C от мольной доли  $x_2$  СКУ-ИДИ в смеси с ФП-1.

Наличие одной температуры стеклования гибкой фазы  $T_g^s$  полиуретанмочевины СПУМ-Т свидетельствует о термодинамической совместимости политетраметиле-ноксидных и полипропиленоксидных гибких сегментов. Физико-механические свойства зависят от состава смеси форполимеров СКУ-ИДИ и ФП-1, используемых при получении образцов материала и, соответственно, от соотношения фрагментов полимерных цепей  $(SS_{\text{РРО}}HS_1)_m$  и  $(SS_{\text{РТМО}}HS_2)_n$ , где  $n \sim x_2$ . Степень микрофазового разделения гибких и жестких сегментов (блоков) в СПУМ-Т существенно повышается при переходе от эластомера на основе ФП-1 ( $x_2 = 0$ ) к материалу на основе СКУ-ИДИ ( $x_2 = 1$ ), что видно по значительному снижению температуры стеклования гибкой фазы с -5 до -70°C.

Обнаружено, что при набухании СПУМ-Т в толуоле степень равновесного набухания образцов, полученных с использованием СКУ-ИДИ, больше 150% (до 250%). Высокая степень равновесного набухания образцов СПУМ-Т и небольшая температура размягчения жесткой фазы  $T_h \sim 173^\circ\text{C}$  указывают на образование «рыхлой» структуры этой фазы, которая разрушается в мало-полярном растворителе и при нагревании до невысокой температуры. Полагают, что образование «рыхлой» структуры этой фазы обусловлено громоздкой структурой алифатического диамина. Подобную структуру имеют и молекулы ИДИ.

Использование смесей форполимеров позволяет построить полимерные материалы с оптимальным сочетанием микрофазового разделения и взаимодействия в гибкой фазе. Условная  $\sigma_k$  таких материалов может быть существенно выше прочности композиций с одинаковыми мягкими (или твердыми) сегментами на основе форполимера ФП-1 или СКУ-ИДИ ( $x_2=1$ ). Максимальная прочность достигается при мольной доле  $x_2=0.7$  СКУ-ИДИ ( $\sigma_k$  в  $\sim 1,2$  раза выше, чем прочность полиуретанмочевины на основе форполимера ФП-1) (см. табл. 2).

Результаты проведенных исследований демонстрируют широкие возможности регулирования физико-механических свойств мультиблоксополимеров со смешанными полиэфирными сегментами с фрагментарной упорядоченностью полимерных цепей.

Таким образом, предложенный методологический подход и результаты проведенных исследований обеспечивают возможность построения эластичных мультиблокполиуретанмочевин, превосходящих по прочности диблокполиуретанмочевины, не уступая им по морозостойкости.

В результате исследований, проведенных по гранту, разработаны рекомендации по созданию блоксополимеров с улучшенным комплексом термических, термомеханических и механических свойств.

**Рекомендации** – выбор оптимального типа полимера, в качестве которого предлагается полиуретанмочевина на основе простых олигоэфиров. Данный тип блоксополимеров более технологичен по сравнению с полиуретанами, поскольку в качестве отвердителей полиуретанмочевин или основы отверждающих смесей выступают диамины (МОСА, Этакюр-300), имеющие меньшее сродство к воде, они не требуют технически сложной вакуумной сушки. В отличие от сушки 1,4-бутандиола, которую возможно проводить только при глубоком вакууме (остаточное давление менее 1 мм рт. ст.), что часто недостижимо на практике.

Наиболее перспективным для синтеза полиуретанмочевин является использова-

ние в качестве исходных олигомеров олиготетраметиленоксиддиолов. При этом в зависимости от температурных требований выбирается олигомер с заданной молекулярной массой (1000 г/моль для общего применения, 1400 – для низкотемпературных составов, 2000 – для материалов с пониженной твердостью). На стадии синтеза форполимеров выбирается либо 2,4-толуилنديизоцианат (при отсутствии специальных требований), либо изофорондиизоцианат (для изготовления материалов, эксплуатируемых при низких температурах). Для обеспечения наиболее высоких прочностных свойств рекомендуется вместо одного форполимера (олигоэфирдиизоцианата) использовать смеси (например, на основе олиготетраметиленоксиддиола и олигопропиленоксиддиола, 2,4-толуилنديизоцианата, изофорондиизоцианата) с последующей оптимизацией по мольному соотношению, либо использовать в процессе синтеза промежуточные продукты – «обратные» форполимеры на основе исходных олигоэфиров и диизоцианатов.

Для изготовления морозостойких материалов дополнительно в материал необходимо ввести до 20–30% пластификатора ди(2-этилгексил) себацината ДЭГС, что позволит снизить температуру стеклования гибкой полимерной матрицы.

**Область применения** – разработанные материалы могут быть использованы в особо ответственных узлах дорогостоящей транспортной и горнодобывающей техники, эксплуатируемой в естественных климатических условиях, в том числе при низких температурах, например, в качестве эластичных элементов перекачивающих устройств бензина, масел, ряда органических растворителей в нефтехимической промышленности Пермского края. Материалы с улучшенным комплексом физико-механических свойств, включая стойкость к истиранию, можно использовать как эффективные покрытия виброконтейнеров для высокой степени очистки поверхности малогабаритных деталей, используемых на ОАО «Пермские моторы».

**Библиографический список**

1. Терешатов В.В., Терешатова Э.Н., Макарова М.А., Терешатов С.В. Влияние химического строения и состава смешанных гибких сегментов на структуру и свойства эластомеров с уретанмочевинными жесткими блоками // Высокомолекулярные соединения – 2002. – Т. 44 А. №3. – С.443–451.
2. Терешатов В.В., Слободинюк А.И., Макарова М.А., Внутских Ж.А., Пинчук А.В., Сеничев В.Ю. Исследование полиэфируретанов со смешанными гибкими сегментами, полученных двух- и трехстадийным способом // Журнал прикладной химии. – 2016. – Вып. 89. – №. 6. – С. 784–789.
3. Ahn T.O., Jung S.U., Jeong H.M. & Lee S.W. The properties of polyurethanes with mixed chain extenders and mixed soft segments // Journal of applied polymer science. – 1994. – Vol. 51. – № 1. – P. 43–49.
4. Caracciolo P.C., Buffa F., Abraham G.A. Effect of the hard segment chemistry and structure on the thermal and mechanical properties of novel biomedical segmented poly (esterurethanes) // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2009. – Vol. 20. – № 1. – P. 145–155.
5. Ertem S.P., Yilgor E., Kosak C., Wilkes G.L., Zhang M.Q., Yilgor I. Effect of soft segment molecular weight on tensile properties of poly(propylene oxide) based polyurethaneureas // Polymer. – 2012. – Vol. 53. – № 21. – P. 4614–4622.
6. Finnigan B., Halley P., Jack K., McDowell A., Truss R., Casey P., Knott R., Martin D. Effect of the Average Soft-Segment Length on the Morphology and Properties of Segmented Polyurethane Nanocomposites // Journal of Applied Polymer Science. □ 2006. □ Vol. 102. □ P. 128–139.
7. Huibo Zhang, W.Li., Xujie Yang, Yongchun Zhang, Yadong Chen. Microstructural characterizations and mechanical behavior of polyurethane elastomers strengthened with milled fiberglass // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 190. – P.96–101.
8. Klinedinst D.B. Yilgör E., Yilgör I., Beyer F.L., Wilkes G.L. Structure–property behavior of segmented polyurethaneurea copolymers based on an ethylene–butylene soft segment // Polymer. – 2005. – Vol. 46. – № 23. – P. 10191–10201.
9. Petrovic Z.S., Ferguson J. Polyurethane elastomers // J. Polym. Sci. – 1991. – Vol. 16. – P.695–836.
10. Randall D., Lee S. The polyurethanes book. – New York: Wiley, 2003. – 494p.
11. Sheth J. P. [et al.] A comparative study of the structure–property behavior of highly branched segmented poly (urethane urea) copolymers and their linear analogs // Polymer. – 2005. – Vol. 46. – № 23. – P. 10180–10190.
12. Shushan Deng, Qianping Ran Shishan Wu, Jian She Study on Polyurethane/MDI-Modified-Organic Montmorillonite Nanocomposites // Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 2008. – Vol. 47. – P.1200–1204.
13. Tereshatov V.V., Makarova M.A., Senichev V.Yu., Volkova E.R., Vnutskikh Zh.A., Slobodinyuk A.I. The role of the soft phase in the hardening effect and the rate dependence of the ultimate physico-mechanical properties of urethane-containing segmented elastomers // Colloid and Polymer Science. – 2015. – Vol. 293. – № 1. – P. 153–164.
14. Thomson T. Polyurethanes as specialty chemicals: principles and applications; CRC Press: Boca Raton, 2005. – 190p.
15. Yeganeh H., Lakouraj M.M., Jamshidi S. Synthesis and characterization of novel biodegradable epoxy-modified polyurethane elastomers // Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry. – 2005. – Vol. 43. – Iss: 14. – P. 2985–2996.

**DEVELOPMENT OF AN APPROACH AND PRINCIPLES FOR FORMING  
A NEW TYPE OF URETHAN CONTAINING MULTIBLOCK COPOLYMERS  
WITH CONTROLLABLE STRUCTURE OF POLYMER CHAINS**

M.A. Makarova<sup>1</sup>, V.V. Tereshatov<sup>1</sup>, V.Yu. Senichev<sup>1</sup>,  
Zh.A. Vnutskikh<sup>2</sup>, A.I. Slobodinyuk<sup>1</sup>, A.V. Savchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Technical Chemistry UB RAS

<sup>2</sup> Testing center for personal protective equipment of Perm National Research Polytechnic University

The method of obtaining multiblock-copolymers with heterogeneous alternating soft segments connected by hard urethane blocks, with a predetermined regular structure of polymer chains based on the use of «reverse» prepolymers, was developed, including its three-stage variant. It was shown that triblock-copolymers obtained by a new method exceeded the materials obtained by the traditional method. Block-copolymers with fragmentary ordering of polymer chains based on rheokinetic data were developed. It was found that the use of prepolymer mixtures enables developing polymeric materials with an optimal combination of microphase separation and interchain

interaction in the soft phase. This part of the work was performed using compositions based on oligoethers. Such optimization enables to achieve a significant increase in the strength properties of block-copolymers. Directions for optimizing the structure and properties of polyurethane ureas with heterogeneous segments were proposed. Recommendations for the creation of block-copolymers with an improved complex of thermal, thermomechanical, and mechanical properties were developed in the direction of using polyurethanes and polyurethane ureas based on oligoethers with tetramethylene oxide units.

*Keywords:* urethane-containing elastomers, polymer chains, multiblock-copolymers, synthesis, structure and properties.

**Сведения об авторах**

*Макарова Марина Александровна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт технической химии УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (ИТХ УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3; e-mail: makmara65@mail.ru

*Терешатов Василий Васильевич* профессор, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИТХ УрО РАН

*Сеничев Валерий Юльевич*, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ИТХ УрО РАН; e-mail: senichev85@yandex.ru

*Внутских Жанна Анатольевна*, кандидат химических наук, заместитель директора, Испытательный центр средств индивидуальной защиты (ИЦ СИЗ), Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ); 614113, г. Пермь, ул. Гальперина, 6; e-mail: vnutskich@mail.ru

*Слободинюк Алексей Игоревич*, кандидат технических наук, научный сотрудник, ИТХ УрО РАН; e-mail: slobodinyk.aleksey.ktn@mail.ru

*Савчук Анна Викторовна*, аспирант, ИТХ УрО РАН; e-mail: ataraksa@mail.ru

*Материал поступил в редакцию 01.07.2019 г.*