

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИЭФИРОВ С КАРДОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

К.Т. Шахмурзова, Ж.И. Курданова, А.А. Жанситов, А.Э. Байказиев, С.Ю. Хаширова,
С.И. Пахомов, М.Х. Лигидов

Камила Тимуровна Шахмурзова *, Светлана Юрьевна Хаширова, Мухамед Хусенович Лигидов
Кафедра органической химии и высокомолекулярных соединений, лаборатория "Прогрессивные полимеры", Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Российская Федерация, 360000

E-mail: shahmurzova.kamila@yandex.ru *, new_kompozite@mail.ru, ligidov1953@mail.ru

Жанна Иналовна Курданова, Азамат Асланович Жанситов, Артур Эльдарович Байказиев

Лаборатория "Прогрессивные полимеры", Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Российская Федерация, 360000

E-mail: kurdanova09@mail.ru, azamat-z@mail.ru, 2303tzoo@mail.ru

Сергей Иванович Пахомов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское шоссе, 31, Москва, Российская Федерация, 115409

E-mail: pakhomov@mon.gov.ru

Полиэфиры представляют большой интерес для различных отраслей промышленности благодаря комплексу ценных свойств, таких как термостойкость, огнестойкость, высокая прочность и др. Кардовые полимеры занимают особое место среди полимеров с повышенной теплостойкостью, содержащие в основной полимерной цепи по крайней мере один элемент, входящий в состав боковой циклической группировки. Наличие таких фрагментов повышает температуру стеклования и термостойкость, что позволяет эксплуатировать сополимеры при более высоких температурах без изменения физико-механических показателей. Для кристаллических полимеров наличие кардовых фрагментов приводит к лучшей растворимости в органических растворителях. Один из перспективных путей синтеза теплостойких полимерных материалов основан на использовании в качестве сомономеров ароматических соединений, таких как 3,3-бис(4'-гидроксифенил)фталид, 3-хлор-3-(дифенилоксид-4'-ил)фталид, 3-хлор-3-(дифенилсульфид-4'-ил)фталид, 9,9-бис(4'-гидроксифенил)флуорен, 9,9-бис(4'-гидроксифенил)антрон-10, 2-фенил-3,3-бис(4'-гидроксифенил)фталимидин и др. В настоящее время во всем мире обострилась проблема, связанная с выбросом токсичных отходов в окружающую среду, что вызывает необратимые климатические изменения. Для решения такой проблемы было предложено разработать твердые топливные элементы на основе полимерных протоннообменных мембран. Так, полимерные мембраны должны удовлетворять целому ряду требований: обеспечивать минимальные омические потери, обладать значительной протонной проводимостью, механической прочностью, термическую устойчивость и иметь ограниченную растворимость в органических растворителях. Полимерные мембраны с кардовыми фрагментами в основной цепи удовлетворяют всем предъявляемым требованиям. В представленном обзоре рассмотрены особенности синтеза и свойства сополимеров на основе полисульфонов, полиэфиркетонов, полиэфиримидов с кардовыми фрагментами.

Ключевые слова: полисульфон, полиэфиркетон, полиэфиримид, фенолфталеин, кардовые фрагменты, сополимер, мембраны

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF AROMATIC POLYESTERS WITH CARDED FRAGMENTS

**К.Т. Shakhmurzova, Zh.I. Kurdanova, A.A. Zhansitov, A.E. Baiykaziev, S.Yu. Khashirova,
S.I. Pakhomov, M.Kh. Ligidov**

Kamila T. Shakhmurzova *, Svetlana Yu. Khashirova, Mukhamed Kh. Ligidov

Department of Organic Chemistry and High Molecular Compounds, researcher laboratory "Progressive Polymers", H.M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, Chernyshevsky st., 173, Nalchik, 360000, Russia
E-mail: shakhmurzova.kamila@yandex.ru *, new_kompozite@mail.ru, ligidov1953@mail.ru

Zhanna I. Kurdanova, Azamat A. Zhansitov, Artur E. Baiykaziev

Researcher laboratory "Progressive Polymers", H.M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, Chernyshevsky st., 173, Nalchik, 360000, Russia
E-mail: kurdanova09@mail.ru, azamat-z@mail.ru, 2303tzoo@mail.ru

Sergey I. Pakhomov

National Research Nuclear University "MIFI", Kashirskoye sh., 31, Moscow, 115409, Russia
E-mail: pakhomov@mon.gov.ru

Polyethers are of great interest for various industries due to a complex of valuable properties, such as heat resistance, fire resistance, high strength, etc. Carded polymers occupy a special place among polymers with increased heat resistance, containing in the main polymer chain at least one element that is part of the lateral cyclic grouping. The presence of such fragments increases the glass transition temperature and heat resistance, which allows the copolymers to be operated at higher temperatures without changing the physico-mechanical parameters. For crystalline polymers, the presence of cardo fragments leads to better solubility in organic solvents. One of the promising ways of synthesizing heat-resistant polymeric materials is based on the use of aromatic compounds such as 3,3-bis (4'-hydroxyphenyl) phthalide, 3-chloro-3- (diphenyloxyd-4'-yl) phthalide, 3- chloro-3- (diphenylsulfide-4'-yl) phthalide, 9,9-bis (4'-hydroxyphenyl) fluorene, 9,9-bis (4'-hydroxyphenyl) anthrone-10, 2-phenyl-3,3- Bis (4'-hydroxyphenyl) phthalimidine and the like. At present, the worldwide problem of the release of toxic waste into the environment is aggravated, which causes irreversible climatic changes. To solve this problem, it was proposed to develop solid fuel cells based on polymeric proton-exchange membranes. Thus, polymer membranes must satisfy a number of requirements: to provide minimal ohmic losses, to possess considerable proton conductivity, mechanical strength, thermal stability and to have limited solubility in organic solvents. Polymer membranes with carded fragments in the main chain satisfy all the requirements. In the presented review features of synthesis and properties of copolymers on the basis of polysulfones, polyether ketones, polyetherimides with carded fragments are considered.

Key words: polysulfone, polyether ketone, polyetherimide, phenolphthalein, carded fragments, copolymer, membranes

Для цитирования:

Шахмурзова К.Т., Курданова Ж.И., Жанситов А.А., Байказиев А.Э., Хаширова С.Ю., Пахомов С.И., Лигидов М.Х. Синтез и свойства ароматических полиэфиров с кардовыми фрагментами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 6. С. 28–39.

For citation:

Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Zhansitov A.A., Baiykaziev A.E., Khashirova S.Yu., Pakhomov S.I., Ligidov M.Kh. Synthesis and properties of aromatic polyesters with carded fragments. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 6. P. 28–39.

Одним из направлений в химии высокомолекулярных соединений является установление основных принципов макромолекулярного дизайна полимерной цепи и разработка материалов с заданными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Значение тепло- и термостойких полимерных материалов для современной техники и ее прогресса на сегодняшний день не вызывает сомнений. Для создания конструкционных материалов широко применяются простые полиэфиры, получаемые поликонденсацией [1-6], среди которых особое место занимают полисульфоны (ПСФ).

Возможность синтеза новых полимеров путем их химической модификации безграничны и вызывают бесспорный научный интерес. Введение новых фрагментов в основную цепь гомополимера может привести к получению сополимеров с новыми уникальными свойствами, сочетающимися наряду с высокими прочностными показателями огне-, термо- и теплостойкость.

Начиная с 40-х годов прошлого столетия в научно-технической литературе начинают появляться сведения об использовании фенолфталеина в качестве мономера для получения различных полимеров [7]. В последующие годы исследования в области кардовых полимеров получили широкое развитие [8-15]. Введение кардовых фрагментов в сложные и простые полиэфиры, гетероциклические полимеры придает им ряд специфических свойств [16-31]: увеличение температуры стеклования; высокие значения тепло- и термостойкости, что позволяет эксплуатировать сополимеры при более высоких температурах без изменения физико-механических показателей; наличие фталидных группировок улучшает растворимость полимеров в сильно полярных растворителях, что позволяет перерабатывать полимеры из растворов.

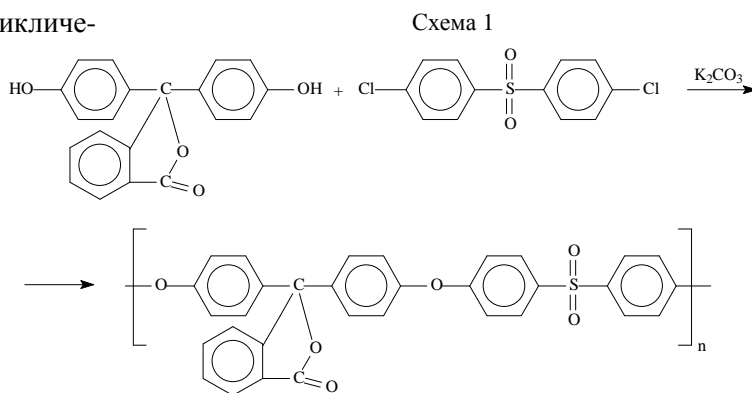
Полисульфоны представляют большой интерес для различных отраслей промышленности благодаря комплексу ценных свойств, таких как термостойкость, огнестойкость, высокая прочность и др. Наибольшее промышленное значение имеют ароматические ПСФ, которые, в отличие от алифатических, термически и химически более устойчивы. В промышленных масштабах производят три типа ПСФ [32]: на основе дифенилпропана (ПСФ), диоксифенила (ПФСн) и диоксифенилсульфона (ПЭС).

Традиционным способом получения ПСФ в промышленности является метод нуклеофильного замещения дигалоидароматического соединения и

бисфеноксидов щелочных металлов в среде апротонного диполярного растворителя (АДПР). Преимуществом данного метода синтеза ПСФ является возможность использования бисфенолов различной структуры, в том числе и кардовых, что позволяет регулировать строение и свойства синтезируемых гомо- и сополимеров. В качестве растворителей чаще всего используют диметилсульфоксид (ДМСО), N,N-диметилацетамид (ДМАА), N-метилпирролидон, чаще всего синтез полимеров проводят при температуре кипения чистого растворителя.

Первые упоминания в патентной литературе по синтезу сополимеров на основе фенолфталеина (ФФ) и 4,4'-дихлордифенилсульфона (ДХДФС) приходится на 1969 г [33].

Авторы [33] синтезировали ПСФ на основе ФФ (схема 1) в три стадии: получение двукалийевой соли ФФ, реакция поликонденсации полученной соли с 4,4'-дихлордифенилсульфоном, очистка и выделение полисульфона. Основными недостатками получения таким методом полимеров является использование в качестве щелочного агента раствора гидроксида натрия и необходимость перерастворения ПСФ с последующим высаживанием в абсолютный этиловый спирт.



Этими же авторами [34] был предложен синтез ПСФ при одновременной загрузке исходных мономеров в среде ДМСО в присутствии раствора гидроксида натрия. В качестве фенолятов кардовых бисфенолов использовали смеси 2,2-бис-(4'-оксифенил)-пропана (диан) и ФФ или же 9,9-бис-(4'-оксифенил)-флуорена (ФФЛ), некоторые свойства которых приведены в табл. 1. Следует подчеркнуть, что полученные полимеры по данным рентгеноструктурного анализа являются аморфными и растворяются в метилхлориде, хлороформе, дихлорэтано, тетрагидроэтано, диметилформамиде, тетрагидрофуране, трикрезоле и т.д.

Таблица 1

Свойства кардовых ПСФ
Table 1. Properties of carded PSF

Содержание исходных компонентов, моль						Свойства полученных полимеров	
№	Диан	ФФЛ	ФФ	ДХДФС	ТХДФС*	[η], дл/г в хлороформе	Температура размягчения, °С
1	0,045	0,005	-	0,05	-	0,45	190
2	0,03	0,02	-	0,05	-	0,24	210
3	0,03	0,02	-	-	0,05	0,35	220
4	0,03	-	0,02	-	0,05	0,4	230
5	0,03	-	0,02	0,05	-	0,35	210

Примечание: *3,3',4,4'- тетрахлордифенилсульфон
Note: *3,3',4,4'-tetrachlorodiphenylsulfone

Температуру размягчения определяли по термомеханическим кривым, снятым при нагрузке на образец 0,8 кг/см² и скорости подъема температуры 70-80 град/мин.

Авторы [35] провели серию работ по синтезу ПСФ с фталидными, фталимидиновыми, флуореновыми и антронными группами. Они показали, что в случае синтеза кардовых бисфенолов с дихлорпроизводными ароматических соединений полимеры не достигают высоких значений молекулярной массы, что обусловлено химическим строением исходных мономеров (табл. 2). Как известно, на продолжительность процесса поликонденсации влияет структура исходного мономера, характеризующаяся как наличием реакционных функциональных групп, так и степенью влияния на данные группы оставшейся части мономера. Наличие у кардовых бисфенолов электроотрицательных групп делает их менее реакционноспособными по сравнению с дианом [36].

В случаях использования фенолантрона, фенолфлуорена и анилида фенолфталеина протекание реакции осложняется вследствие выпадения полимера на ранних стадиях образования, что связано с плохой растворимостью фенолятов данных мономеров в ДМСО. Благоприятным фактором является увеличение температуры синтеза до 185 °С.

Введение в основную полимерную цепь п-оксибензойной кислоты позволяет получать полимеры с высокими значениями молекулярной массы и с улучшенными прочностными характеристиками по сравнению с гомополимером [37-

39]. Методом акцепторно-каталитической поликонденсации синтезированы сополимеры на основе диановых и фенолфталеиновых олигосульфонов с дихлорангидридом терефталойл-ди(п-оксибензойной кислоты) при температуре реакции 20 °С в течение 1,5 ч.

Таблица 2

Условия синтеза кардовых полисульфонов
Table 2. Conditions for the synthesis of carded polysulfones

№	Бисфенол	Дигалоген-производное	T _{реакции} , °С	T, ч	[η], дл/г в хлороформе
1	Диан	ДХДФС	175	4	0,88
2	Фенолфталеин	ДХДФС	190	4	0,2
3	Фенолфталеин	ДФДФС	165	6	0,78
			185	4,5	1,2
4	Имид фенолфталеина	ДФДФС	170	3	1,4
5	Анилид фенолфталеина	ДФДФС	165	18	0,3
6	Фенолантрон	ДФДФС	165	6	0,24
			180	10	0,65
7	Фенолфлуорен	ДФДФС	185	3	0,33
8	Фенолфлуорен	ДХДФС	185	3,5	0,13
9	Фенолаценафтенон	ДФДФС	175	8	0,1

Кардовые сополисульфонимиды синтезируют методом высокотемпературной поликонденсации в смеси ксилола и сульфолана при 200 °С в течение 8 ч (схема 2) [40]. Готовый полимер выгружают в этиловый спирт при интенсивном переме-

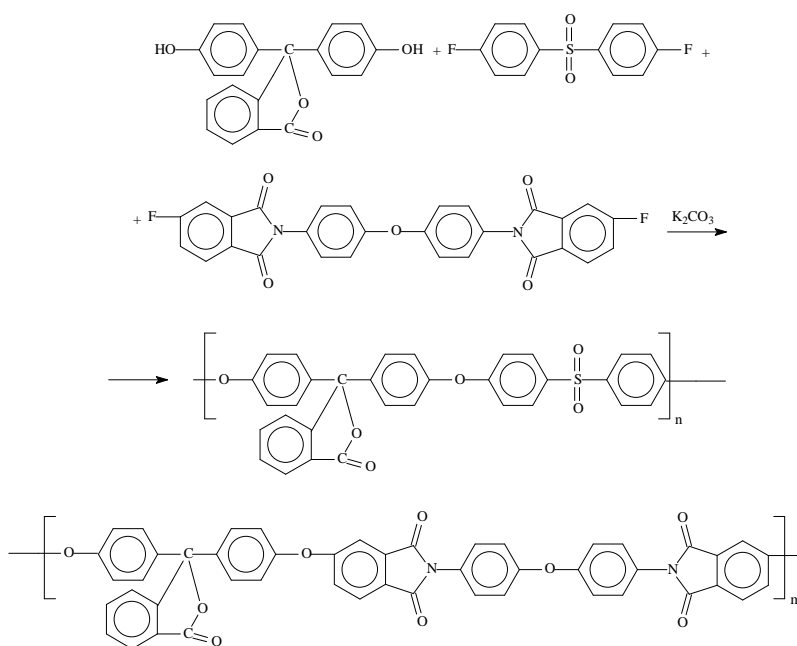


Схема 2
Scheme 2

шивании и промывают горячим спиртом от следов исходных мономеров. Сушку полимера проводят при 120 °С под вакуумом в течение 12 ч.

Температура стеклования синтезированных сополимеров лежит в диапазоне от 258 до 278 °С и зависит от соотношения исходных мономеров. Так, увеличение концентрации фталимида приводит к повышению температуры стеклования, что связано с увеличением жесткости макромолекулы полимера. Полученные полимеры отличаются хорошей растворимостью в полярных растворителях, что позволяет получать прозрачные пленки. Такие пленки отличаются хорошими механическими свойствами: прочностью на разрыв 91-124 МПа, удлинением при разрыве 6,9-12,8%, а при растяжении модулем 2,2-2,8 ГПа.

Введение в структуру полиэфиркетонов сульфоновых групп делает полимеры растворимыми в ряде органических растворителей, однако

они характеризуются невысокими механическими и термическими свойствами [41, 42]. Для решения данной проблемы авторы [43, 44] синтезировали кардовые сополисульфонкетоны блочного строения (схема 3).

Такие сополимеры отличаются высокими показателями огне-, тепло-, термостойкости и механических свойств.

Авторы [45] синтезировали бисфенолы с фталимидными группами при взаимодействии фенолфталеина с аммиаком, метиламином, анилином и 4-*трет*-бутиланилином (схема 4).

На основе синтезированных новых кардовых бисфенолов были получены ПСФ в среде АДПР при температуре синтеза 175 °С в течение 10 ч (схема 5).

Синтезированные полимеры хорошо растворимы в хлорированных органических растворителях и АДПР.

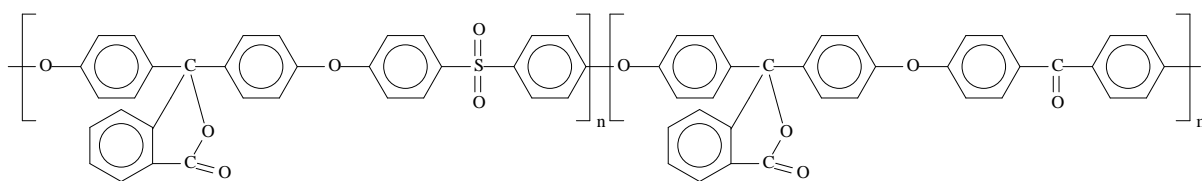


Схема 3
Scheme 3

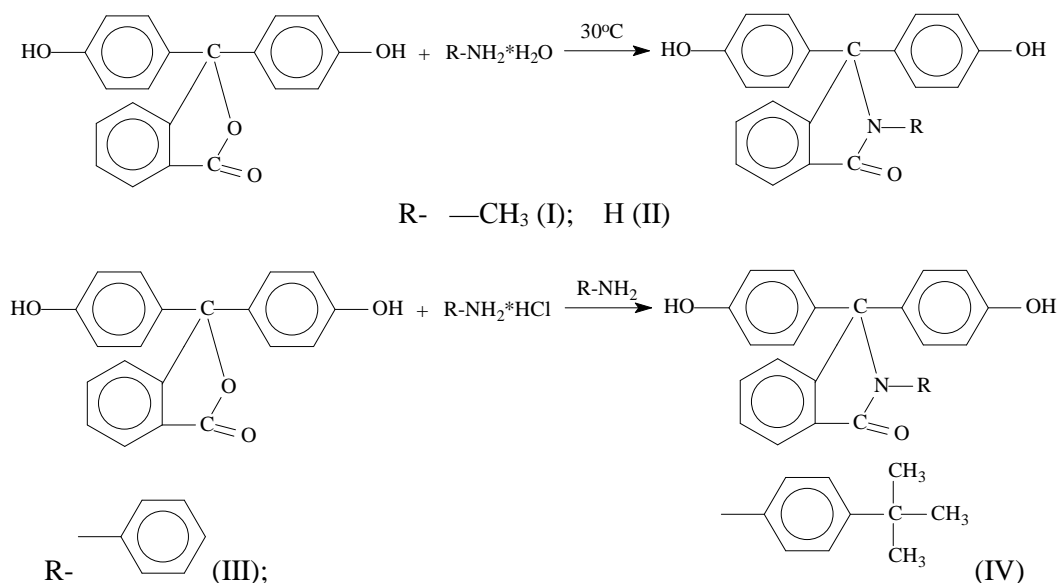


Схема 4
Scheme 4

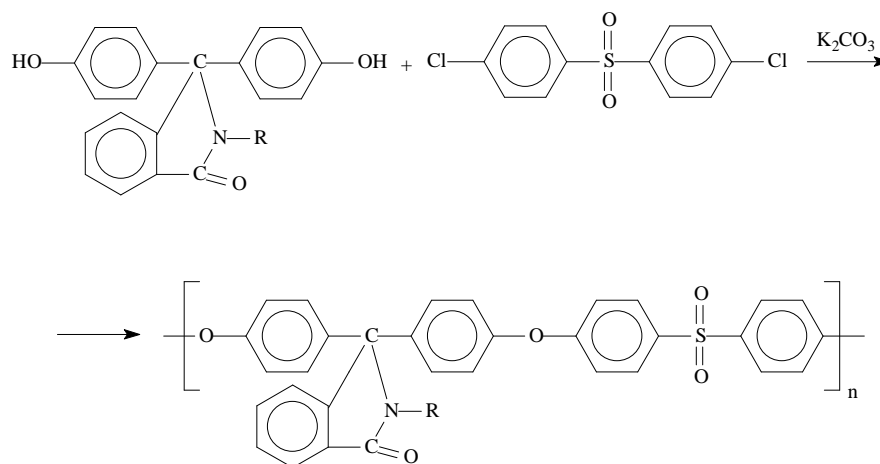


Схема 5
Scheme 5

Таблица 3
Свойства ПСФ с объемными боковыми заместителями
Table 3. Properties of PSF with volume side substituents

Полимер	$[\eta]$, дл/г в ДМАА	T_g (°C)	$T_{5\%}$ (°C)
ПСФ	0,76	251,6	505,2
ПСФ-I	0,86	296,2	483,8
ПСФ-II	0,68	245,7	478,4
ПСФ-III	0,70	235,7	522,6
ПСФ-IV	0,64	230,1	470,1

Как видно из табл. 3, при температуре, соответствующей потере 5% веса ($T_{5\%}$), полимер, синтезированный на основе мономера (III), отличается самой высокой термостойкостью, что может быть связано с полностью ароматической структурой. Замещение атома водорода в бензольном кольце на алкильный радикал приводит к понижению термостойкости по сравнению с исходным ПСФ.

Системы и способ разделения газовых смесей с применением полимерных мембран все чаще находят применение в технике. Хотя принцип разделения газов с использованием мембран известен уже давно [46-50], однако относительно недавно полимерные мембраны стали использовать для разделения воздуха и газовых смесей, что стало привлекательным с коммерческой точки зрения.

В промышленности протонпроводящие мембраны изготавливают из растворов различных полимерных материалов, таких как: полиамиды [51], полиимиды [52-54], ароматические простые

полиэферы [55-59] и т.д. Одну из лидирующих позиций в производстве мембран занимают полисульфоны [60-64], что обусловлено комплексом свойств: прочность, устойчивость к щелочам и кислотам, а также термоустойчивость.

Газовую и селективную проницаемость ПСФ [45] определяли для таких газов как: H_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 при 308 °C и давлении 1 атм (табл. 4). По приведенным в табл. 4 данным видно, что введение в полимерную цепь объемных фталимидных фрагментов приводит к высокой газопроницаемости, так проницаемость O_2 увеличивается в 2,8, а CO_2 в 2 раза. Результаты показывают, что введение 4-*трет*-бутилфениловой группы в ПСФ является весьма перспективным для применения их в качестве мембран.

В настоящее время протонообменные полимерные мембраны являются наиболее перспективными и экологически приемлемыми источниками электрической энергии и являются главным компонентом в топливных элементах. Топливные элементы с протонообменной полимерной мембраной работают при температурах ниже 100 °C, так как при более высоких температурах свойства промышленно доступного материала Нафiona ухудшаются. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых полимерных мембран, способных выдерживать более высокие температуры за счет введения в структуру полимера кардовых фрагментов.

Таблица 4

Газовая и селективная проницаемость ПСФ
Table 4. Gas and selective permeability of PSF

Полимер	Газовая проницаемость					Селективная проницаемость		
	$P(O_2)$	$P(H_2)$	$P(N_2)$	$P(CO_2)$	$P(CH_4)$	$\alpha(O_2/N_2)$	$\alpha(H_2/N_2)$	$\alpha(CO_2/CH_4)$
ПСФ	0,62	13,96	0,21	6,87	0,22	2,95	66,48	31,22
ПСФ-I	0,35	5,59	0,051	2,30	0,086	6,86	109,61	26,74
ПСФ-II	0,52	7,11	0,093	2,61	0,088	5,59	75,45	29,66
ПСФ-III	0,56	8,08	0,098	3,18	0,098	5,71	82,44	32,45
ПСФ-IV	1,78	23,43	0,42	13,80	0,48	4,24	55,79	28,75

Синтез протоннообменных мембран на основе полисульфона осуществляется в 3 этапа [65]: на первом этапе синтезируют олигомер с гидроксильными концевыми группами на основе бис-(4-фтор-3-сульфофенил)сульфон динатриевой соли с 9,9'-бис-(4-гидроксифенил)гексафлуореном в среде АДПР (схема 6) при ступенчатом подъеме температуры до 170 °С и интенсивном перемешивании в токе инертного газа в течение 6 ч.

Полученный олигомер осаждают в изопропиловый спирт в виде белого порошка. На втором этапе синтезируют олигомер на основе 4,4'-дифтордифенилсульфона с дианом (схема 7). Для блокировки концевых гидроксильных групп в конце синтеза в реакционную систему вводили де-

кафторбифенил. Полученный полимер высаждали также в изопропиловый спирт.

На третьем этапе методом высокотемпературной поликонденсации получали мультиблочный кардовый полиариленэфирсульфон (схема 8).

Полимерные мембраны, синтезированные по схеме 8, характеризуются низким водопоглощением, но более высоким значением модуля Юнга и протонной проводимостью.

Для приготовления электролитных мембран были разработаны методы синтеза сульфонированных ПСФ с кардовыми фрагментами (схема 9) [66]. Рост концентрации SO_3H -групп приводит к увеличению влагосодержания и, следовательно, к повышению ионной проводимости мембраны, в отличие от полимеров, синтезированных по схеме 8.

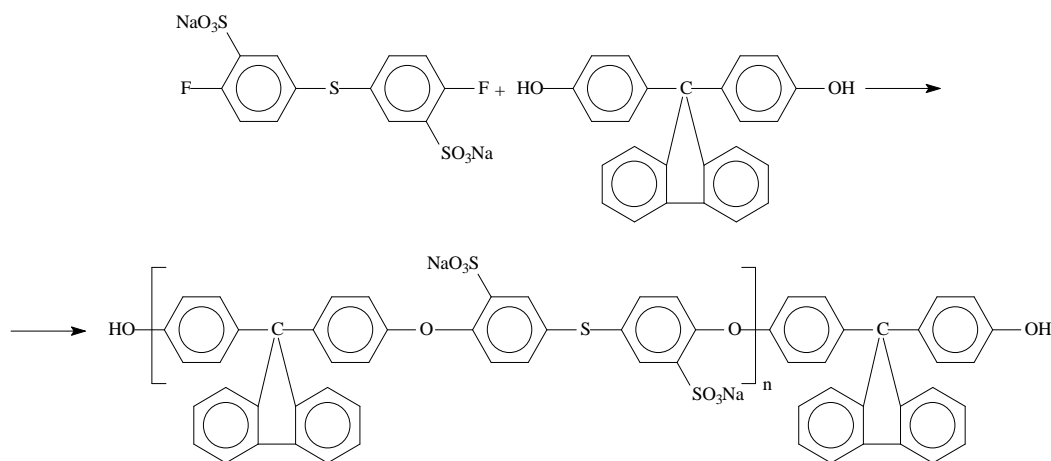


Схема 6
Scheme 6

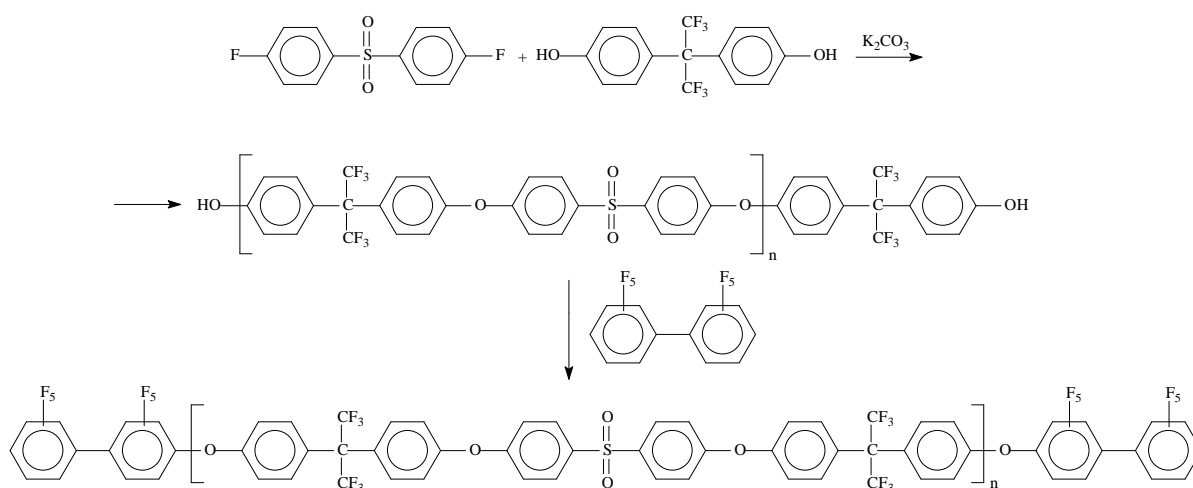


Схема 7
Scheme 7

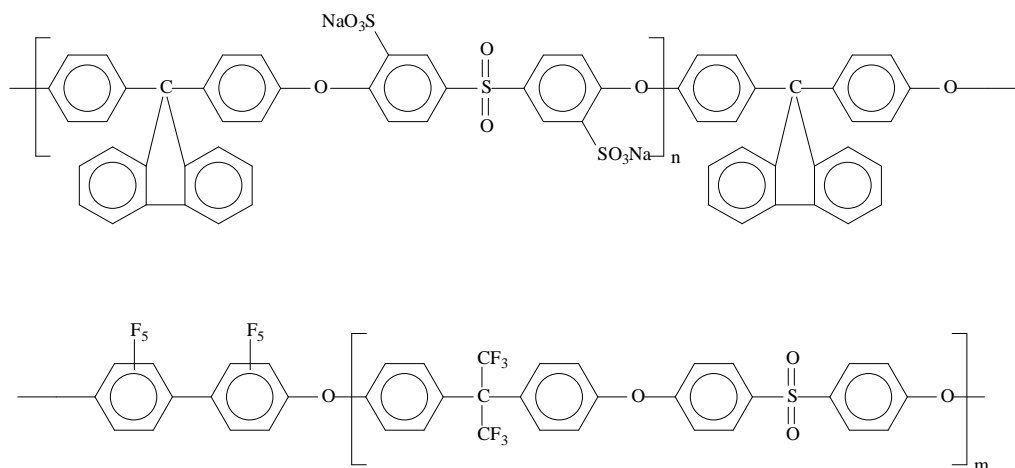


Схема 8
Scheme 8

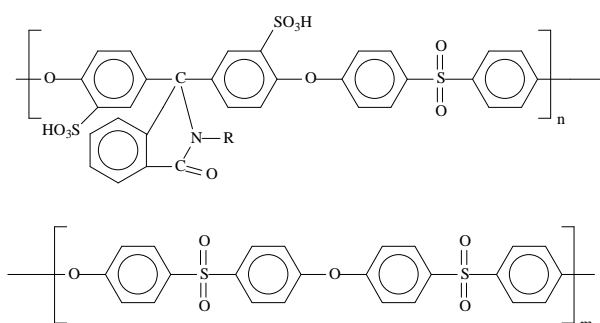


Схема 9
Scheme 9

Анализ литературных данных по получению ПСФ мембран позволяет заключить, что введение кардовых фрагментов увеличивает термостабильность полимеров, что позволяет использовать подобные материалы в широком температурном интервале. Введение сульфокатионитов приводит к росту влагосодержания и ионной проводимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виноградова С.В., Васнев В.А.** Поликонденсационные процессы и полимеры. М.: МАИК Наука/Интерпериодика. 2000. 377 с.
2. **Виноградова С.В., Васнев В.А.** Тенденции развития поликонденсации и конденсационных полимеров. *Успехи химии*. 2004. Т. 73. № 5. С. 526-541.
3. **Hedrick J.L., Labadie J.W.** Step-growth polymers for high-performance materials: New synthetic methods. Washington: American Chemical Society. 1996. N 46. P. 480-487.
4. **Коршак В.В., Кронгауз Е.С.** Успехи в области синтеза термостойких полимеров. *Успехи химии*. 1984. Т. 33. № 12. С. 1409-1464.
5. **Коршак В.В., Виноградова С.В.** Зависимость термостойкости полимеров от их химического строения. *Успехи химии*. 1968. Т. 37. № 11. С. 2024-2068.
6. **Виноградова С.В., Коршак В.В.** Новое в поликонденсационных методах синтеза термостойких полимеров. *Успехи химии*. 1970. Т. 39. № 4. С. 679-701.
7. **Wagner F.C.** Патент USA 2035578. Synthetic resin. 1936.
8. **Виноградова С.В., Васнев В.А., Выгодский Я.С.** Кардовые полигетероарилены. Синтез, свойства и своеобразие. *Успехи химии*. 1996. Т. 65. № 3. С. 266-295.
9. **Коршак В.В., Салазкин С.Н., Беридзе Л.А., Виноградова С.В.** Исследование влияния химического строения и упорядоченности структуры полиарилатов на их свойства. *Высокомолек. соед. Сер. А*. 1973. Т. 15. № 4. С. 841-851.

REFERENCES

1. **Vinogradova S.V., Vasnev V.A.** Polycondensation processes and polymers. M: MAIK "Nauka / Interperiodika". 2000. 377 p. (in Russian).
2. **Vinogradova S.V., Vasnev V.A.** Trends in the development of polycondensation and condensation polymers. *Uspekhi Khim.* 2004. V. 73. N 5. P. 526-541 (in Russian).
3. **Hedrick J.L., Labadie J.W.** Step-growth polymers for high-performance materials: New synthetic methods. Washington: American Chemical Society. 1996. N 46. P. 480-487.
4. **Korshak V.V., Krongaus E.S.** Advances in the synthesis of heat-resistant polymers. *Uspekhi Khim.* 1984. V. 33. N 12. P. 1409-1464 (in Russian).
5. **Korshak V.V., Vinogradova S.V.** Dependence of the heat resistance of polymers on their chemical structure. *Uspekhi Khim.* 1968. V. 37. N 11. P. 2024-2068 (in Russian).
6. **Vinogradova S.V., Korshak V.V.** New in polycondensation methods of synthesis of heat-resistant polymers. *Uspekhi Khim.* 1970. V. 39. N 4. P. 679-701 (in Russian).
7. **Wagner F.C.** US Patent N 2035578. Synthetic resin.
8. **Vinogradova S.V., Vasnev V.A., Vygodsky Ya.S.** Carded polyheteroarylene. Synthesis, properties of originality. *Uspekhi Khim.* 1996. V. 65. N 3. P. 266-295 (in Russian).
9. **Korshak V.V., Salazkin S.N., Beridze L.A., Vinogradova S.V.** Investigation of the influence of the chemical structure and the orderliness of the structure of polyarylates on their properties. *Vysokomol. Soed.* 1973. V. 15. N 4. P. 841-851 (in Russian).

10. **Виноградова С.В., Выгодский Я.С., Коршак В.В., Чурочкина Н.А., Тур Д.Р., Данилов В.Г.** Влияние строения гетероцикла на физико-химические свойства полиимидов и поли-1,3,4-оксадиазолов. *Высокомолек. соед.* 1971. Т. 13. № 7. С. 1507-1516.
11. **Кульков А.А.** Синтез и исследование ароматических простых кардовых полиэфиров. Дис. ... к.х.н. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1972. 177 с.
12. **Салазкин С.Н., Шапошникова В.В., Донецкий К.И., Горшков Г.В., Петровский П.В., Комарова Л.И., Генина М.М., Ткаченко А.С.** Синтез дигалогенпроизводных, содержащих фталидную группировку, и полиариленаэфиркетонов на их основе. *Изв. Акад. наук. Сер. Хим.* 2000. № 6. С. 1099-1117.
13. **Hergenrother P.M.** Recent advances in high temperature polymers. *Polymer J.* 1987. V. 19. N 1. P. 73-83.
14. **Hergenrother P.M., Jensen B.J., Havens S.J.** Poly(arylene ethers). *Polymer.* 1988. V. 29. N 2. P. 358-369.
15. **Singh R., Hay A.S.** Synthesis and physical properties of soluble, amorphous poly(ether ketone)s containing the o-dibenzoylbenzene moiety. *Macromolecules.* 1992. V. 25. N 3. P. 1017-1024.
16. **Виноградова С.В., Васнев В.А., Валецкий П.М.** Полиарилаты. Получение и свойства. *Успехи химии.* 1994. Т. 63. № 10. С. 885-904.
17. **Микитаев А.К., Вологиров А.К.** Синтез и свойства ненасыщенных сополиарилатов. *Пластические массы.* 2012. № 7. С. 22-24.
18. **Коршак В.В., Виноградова С.В., Салазкин С.Н.** О гетероцепных полиэфирах. XXXIII. Полиарилаты на основе фенолфталеина. *Высокомолек. соед.* 1962. Т. 4. № 3. С. 339-348.
19. **Виноградова С.В., Коршак В.В., Салазкин С.Н., Береза С.В.** О гетероцепных полиэфирах. XLI. Синтез полиарилатов анилида фенолфталеина методом межфазной поликонденсации. *Высокомолек. соед.* 1964. Т. 6. № 9. С. 1555-1558.
20. **Коршак В.В., Виноградова С.В., Слонимский Г.Л., Салазкин С.Н., Аскадский А.А.** Полиарилаты с боковой фталидной группировкой в полимерной цепи на основе дифенилфтальдикрбонической кислоты. *Высокомолек. соед.* 1966. Т. 8. № 3. С. 548-552
21. **Слонимский Г.Л., Коршак В.В., Виноградова С.В., Китайгородский А.Ц., Аскадский А.А., Салазкин С.Н., Белавцева Е.М.** Физико-химические пути регулирования надмолекулярных структур и механических свойств аморфных полиарилатов на основе фенолфталеина и его производных. *Высокомолек. соед.* 1967. Т. 9. № 3. С. 402-408.
22. **Виноградова С.В., Салазкин С.Н., Коршак В.В., Береза С.В., Лошин Б.В., Комарова Л.И.** Полиарилаты имида фенолфталеина. *Высокомолек. соед.* 1967. Т. 9. № 8. С. 1792-1796.
23. **Коршак В.В., Виноградова С.В., Слонимский Г.Л., Выгодский Я.С., Салазкин С.Н., Аскадский А.А., Мжельский А.И., Сидорова В.П.** Регулирование некоторых свойств полиарилатов и ароматических полиамидов. *Высокомолек. соед.* 1968. Т. 10. № 9. С. 2058-2069.
24. **Виноградова С.В., Салазкин С.Н., Беридзе Л.А., Мжельский А.И., Аскадский А.А., Слонимский Г.Л., Коршак В.В.** Полиарилаты 9,9-бис-(4-оксифенил)антрацена-10. *Высокомолек. соед.* 1969. Т. 11. № 1. С. 27-34.
25. **Коршак В.В., Виноградова С.В., Данилова В.Г., Беридзе Л.А., Салазкин С.Н.** О термической стойкости
10. **Vinogradova S.V., Vygodsky J.S., Korshak V.V., Churochkina N.A., Tour D.R., Danilov V.G.** Influence of heterocycle structure on physico-chemical properties of polyimides and poly-1,3,4-oxadiazoles. *Vysokomol. Soed.* 1971. V. 13. N 7. P. 1507-1516 (in Russian).
11. **Kulkov A.A.** Synthesis and research of aromatic simple carded polyethers. Dissertation for candidate degree on chemical sciences. M.: MKhTI im. DI. Mendeleev. 1972. 177 p. (in Russian).
12. **Salazkin S.N., Shaposhnikova V.V., Donetskii K.I., Gorshkov G.V., Petrovsky P.V., Komarova L.I., Genina M.M., Tkachenko A.S.** Synthesis of dihalogen derivatives containing a phthalide moiety and polyarylene ether ketones based on them. *Izv. Akad. Nauk. Ser. Khim.* 2000. N 6. P. 1099-1117 (in Russian).
13. **Hergenrother P.M.** Recent advances in high temperature polymers. *Polymer J.* 1987. V. 19. N 1. P. 73-83. DOI: 10.1295/polymj.19.73.
14. **Hergenrother P.M., Jensen B.J., Havens S.J.** Poly(arylene ethers). *Polymer.* 1988. V. 29. N 2. P. 358-369. DOI: 10.1016/0032-3861(88)90347-3.
15. **Singh R., Hay A.S.** Synthesis and physical properties of soluble, amorphous poly(ether ketone)s containing the o-dibenzoylbenzene moiety. *Macromolecules.* 1992. V. 25. N 3. P. 1017-1024. DOI: 10.1021/ma00029a002.
16. **Vinogradova S.V., Vasnev V.A., Valetskiy P.M.** Polyarylates. Obtaining and properties. *Uspekhi Khim.* 1994. V. 63. N 10. P. 885-904 (in Russian).
17. **Mikitaev A.K., Vologirov A.K.** Synthesis and properties of unsaturated copolyarylates. *Plastich. Massy.* 2012. N 7. P. 22-24 (in Russian).
18. **Korshak V.V., Vinogradova S.V., Salazkin S.N.** On heterochain polyesters. XXXIII. Polyarylates based on phenolphthalein. *Vysokomol. Soed.* 1962. V. 4. N 3. P. 339-348 (in Russian).
19. **Vinogradova S.V., Korshak V.V., Salazkin S.N., Bereza S.V.** Polyethers. XLI. Synthesis of phenylephthalein anilide polyarylates by interfacial polycondensation. *Vysokomol. Soedin.* 1964. V. 6. N 9. P. 1555-1558 (in Russian).
20. **Korshak V.V., Vinogradova S.V., Slonimsky G.L., Salazkin S.N., Askadsky A.A.** Polyarylates with a lateral phthalide moiety in a polymeric chain based on diphenylphthalide dicarboxylic acid. *Vysokomol. Soed.* 1966. V. 8. N 3. P. 548-552 (in Russian).
21. **Slonimsky G.L., Korshak V.V., Vinogradova S.V., Kitaygorodsky A.C., Askadsky A.A., Salazkin S.N., Belavtseva E.M.** Physico-chemical ways of regulation of supra-molecular structures and mechanical properties of amorphous polyarylates based on phenolphthalein and its derivatives. *Vysokomol. Soed.* 1967. V. 9. N 3. P. 402-408 (in Russian).
22. **Vinogradova S.V., Salazkin S.N., Korshak V.V., Bereza S.V., Loshin B.V., Komarova L.I.** Polyarylates of imide of phenolphthalein. *Vysokomol. Soed.* 1966. V. 9. N 8. P. 1792-1796 (in Russian).
23. **Korshak V.V., Vinogradova S.V., Slonimsky G.L., Vygodsky J.S., Salazkin S.N., Askadsky A.A., Mzhelsky A.I., Sidorova V.P.** Regulation of some properties of polyarylates and aromatic polyamides. *Vysokomol. Soed.* 1968. V. 10. N 9. P. 2058-2069 (in Russian).
24. **Vinogradova S.V., Salazkin S.N., Beridze L.A., Mzhelsky A.I., Askadsky A.A., Slonimsky G.L., Korshak V.V.** Polyarylates of 9,9-bis (4-hydroxyphenyl) anthron-10. *Vosokomol. Soed.* 1969. V. 11. N 1. P. 27-34 (in Russian).
25. **Korshak V.V., Vinogradova S.V., Danilova V.G., Beridze L.A., Salazkin S.N.** On the thermal stability of some polyarylates. *Vosokomol. Soed.* 1970. V. 12. N 2. P. 129-132 (in Russian).

- некоторых полиарилатов. *Высокомолек. соед.* 1970. Т. 12. № 2. С. 129-132.
26. **Виноградова С.В., Беридзе Л.А., Павлова Т.М., Салазкин С.Н., Коршак В.В.** Полиарилаты на основе 9,9-бис-(4-карбоксифенил)антрона-10 и 2-фенил-3,3-бис-(4-карбоксифенил)фталимидина. *Высокомолек. соед.* 1971. Т. 13. № 9. С. 681-685.
 27. **Смирнова О.В., Микитаев А.К., Колесников Г.О.** Поликарбонаты и смешанные поликарбонаты на основе фенолфталеина. *Высокомолек. соед.* 1968. Т. 10. № 1. С. 102-106.
 28. **Смирнова О.В., Фортунатов О.Г., Коршак В.В., Агапов О.А.** Синтез поликарбоната и фосгена методом низкотемпературной поликонденсации. *Высокомолек. соед.* 1975. Т. 17. № 12. С. 2669-2675.
 29. **Виноградова С.В., Коршак В.В., Выгодский Я.С.** Ароматические полипиромеллитимиды на основе ароматических дианов, содержащих боковую фталимидную и фталимидиновую группировку. *Высокомолек. соед.* 1966. Т. 8. № 5. С. 809-814.
 30. **Виноградова С.В., Коршак В.В., Выгодский Я.С., Зайцев В.И.** Полиамиды на основе ароматических диаминов, содержащих боковую фталидную и фталимидиновую группировки. *Высокомолек. соед.* 1967. Т. 9. № 3. С. 658-662.
 31. **Виноградова С.В., Чурочкина Н.А., Выгодский Я.С., Коршак В.В.** Синтез и свойства смешанных кардовых полиимидов. *Высокомолек. соед.* 1973. Т. 15. № 8, С. 1713-1716.
 32. **Альперн В.Д., Каграманов З.Г.** Сульфоновые полимеры фирмы SOLVAY. Свойства и применение. *Пластические массы.* 2006. № 11. С. 3-6.
 33. **Акутин М.С., Либина С.Л., Гребенюк Н.М., Попов Г.Г.** Авторское свидетельство СССР 301073. Способ получения полисульфона. 1969.
 34. **Акутин М.С., Рейтбурд Л.И., Семенкова А.Э., Тихонова М.А., Коршак В.В., Виноградова С.В., Салазкин С.Н.** Авторское свидетельство 495336. Способ получения полисульфонов. 1975.
 35. **Виноградова С.В., Коршак В.В., Салазкин С.Н., Кульков А.А.** Ароматические простые полиэфиры кардового типа. *Высокомолек. соед.* 1972. Т. 14. № 12. С. 2545-2552.
 36. **Коршак В.В., Крешков А.П., Виноградова С.В., Алдарова Н.Ш., Васнев В.А., Баранов Е.И., Славгородская М.В., Тарасо А.И., Митайшвили Т.И.** Константы кислотности некоторых бисфенолов. *Реакц. способность орг. соед.* 1970. Т. 7. № 2. С. 286-293.
 37. **Хасбулатова З.С., Асуева Л.А., Насурова М.А.** Ароматические полиэфиры, содержащие мезогенную группу терефталоил-ди(п-оксибензоата) (обзор). *Пластические массы.* 2008. № 7. С. 13-21.
 38. **Хасбулатова З.С., Насурова М.А., Асуева Л.А.** Полиэфиры п-оксибензойной кислоты (обзор). *Химическая промышленность сегодня.* 2009. № 1. С. 26-30.
 39. **Асуева Л.А., Насурова М.А., Хасбулатова З.С., Шустов Г.Б.** Деформационно-прочностные свойства полиэфирсульфонов. *Пластические массы.* 2012. № 4. С. 18-20.
 40. **Lan Li, Jiangtao Liu, Guofei Chen, Lubo Xu, Nafeesa Mushtaq, Lala Rukh Sidra, Ruixin Wang, Xingzhong Fang** Synthesis of organosoluble and transparent phenolphthalein-based cardo poly(ether sulfone imide)s via aromatic nucleophilic substitution polymerization. *High Performance Polymers.* 2016. P. 1-9.
 26. **Vinogradova S.V., Beridze L.A., Pavlova T.M., Salazkin S.N., Korshak V.V.** Polyarylates based on 9,9-bis (4-carboxyphenyl) anthron-10 and 2-phenyl-3,3-bis (4-carboxyphenyl) phthalimidine. *Vysokomol. Soed.* 1971. V. 13. N 9. P. 681-685 (in Russian).
 27. **Smirnova O.V., Mikitaev A.K., Kolesnikov G.O.** Polycarbonates and mixed polycarbonates based on phenolphthalein. *Vysokomol. Soed.* 1968. V. 10. N 1. P. 102-106 (in Russian).
 28. **Smirnova O.V., Fortunatov O.G., Korshak V.V., Agapov O.A.** Synthesis of polycarbonate and phosgene by the method of low-temperature polycondensation. *Vysokomol. Soed.* 1975. V. 17. N 12. P. 2669-2675 (in Russian).
 29. **Vinogradova S.V., Korshak V.V., Vygodsky Ya.S.** Aromatic polypyromellitimides based on aromatic dianes containing a side phthalimide and phthalimidine grouping. *Vysokomol. Soed.* 1966. 8. N 5. P. 809-814 (in Russian).
 30. **Vinogradova S.V., Korshak V.V., Vygodsky Ya.S., Zaitsev V.I.** Polyamides based on aromatic diamines containing side phthalide and phthalimidine moieties. *Vysokomol. Soed.* 1967. N 9. N 3. P. 658-662 (in Russian).
 31. **Vinogradova S.V., Churochkina N.A., Vygodsky Ya.S., Korshak V.V.** Synthesis and properties of mixed carded polyimides. *Vysokomol. Soed.* 1973. V. 15. N 8, P. 1713-1716 (in Russian).
 32. **Alpern V.D., Kagramanov Z.G.** SOLVAY sulfone polymers. Properties and application. *Plastich. massy.* 2006. N 11. P. 3-6 (in Russian).
 33. **Akutin M.S., Libina S.L., Grebenyuk N.M., Popov G.G.** Author's certificate of the USSR 301073. Method of obtaining polysulfone. 1969 (in Russian).
 34. **Akutin M.S., Reitburd L.I., Semenkova A.E., Tikhonova M.A., Korshak V.V., Vinogradova S.V., Salazkin S.N.** Author's certificate 495336. Method for the preparation of polysulfones. 1975 (in Russian).
 35. **Vinogradova S.V., Korshak V.V., Salazkin S.N., Kulkov A.A.** Aromatic simple polyethers of card type. *Vysokomol. Soed.* 1972. V. 14, N 12, P. 2545-2552. (in Russian).
 36. **Korshak V.V., Kreshkov A.P., Vinogradova S.V., Aldarova N.Sh., Vasnev V.A., Baranov E.I., Slavgorodskaya M.V., Taraso A.I., Mitayshvili T.I.** The acidity constants of some bisphenols. *Reakts. Sposobn. Org. Soed.* 1970. V. 7. N 2. P. 286-293 (in Russian).
 37. **Khasbulatova Z.S., Asueva L.A., Nasurova M.A.** Aromatic polyesters containing mesogenic group of terephthaloyl-di (p-hydroxybenzoate) (review). *Plastich. Massy.* 2008. N 7. P. 13-21 (in Russian).
 38. **Khasbulatova Z.S., Nasurova M.A., Asueva L.A.** Polyesters of p-hydroxybenzoic acid (review). *Khim. Promysh. Segodnya.* 2009. N 1. P. 26-30 (in Russian).
 39. **Asueva L.A., Nasurova M.A., Khasbulatova Z.S., Shustov G.B.** Deformation-strength properties of polyethersulfones. *Plastich. Massy.* 2012. N 4. P. 18-20 (in Russian).
 40. **Lan Li, Jiangtao Liu, Guofei Chen, Lubo Xu, Nafeesa Mushtaq, Lala Rukh Sidra, Ruixin Wang and Xingzhong Fang** Synthesis of organosoluble and transparent phenolphthalein-based cardo poly(ether sulfone imide)s via aromatic nucleophilic substitution polymerization. *High Performance Polymers.* 2016. P. 1-9
 41. **Khasbulatova Z.S., Asueva L.A., Nasurova M.A., Shustov G.B.** Patent of the Russian Federation N 2436762. Aromatic copolyethersulfone ketones and a method for their preparation. Opubl. 12/20/11 (in Russian).
 42. **Huang Zhen-Zhong, Yu La-Mei, Sheng Shou-Ri, Ge Wei-Wei, Liu Xiao-Ling, Song Cai-Sheng.** Synthesis and characterization of novel soluble poly(ether ketone sulfone)s with

41. **Хасбулатова З.С., Асуева Л.А., Насурова М.А., Шустов Г.Б.** Патент РФ № 2436762. Ароматические сополиэфирсульфонкетоны и способ их получения. Опубл. 20.12.11 г.
42. **Huang Zhen-Zhong, Yu La-Mei, Sheng Shou-Ri, Ge Wei-Wei, Liu Xiao-Ling, Song Cai-Sheng.** Synthesis and characterization of novel soluble poly(ether ketone sulfone)s with pendant polychloro groups. *J. Appl. Polym. Sci.* 2008. V. 18. N 2. P. 1049-1054.
43. **Шаов А.Х., Бажева Р.Ч., Бегиева М.Б., Хараев А.М.** Патент РФ № 2556229. Ароматические полиэфирсульфонкетоны. Опубл. 20.12.11.
44. **Бажева Р.Ч., Бегиева М.Б., Хараев А.М.** Патент РФ №2556233 Ароматические полиэфирсульфонкетоны. Опубл. 20.12.2014.
45. **Guang Ch., Xiaosa Zh., Suobo Zh., Tianlu C., Yonglie Wu.** Synthesis, properties, and gas permeation performance of cardo poly(arylene ether sulfone)s containing phthalimide side groups. *J. Appl. Polymer Sci.* 2007. V. 106. P. 2808-2816.
46. **Wang Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Gas and Water Vapor Transport through a Series of Novel Poly(aryl ether sulfone) Membranes. *Macromolecules.* 2001. N 34. P. 9015-9022.
47. **Mathews A.S., Kim I., Ha C.S.** Synthesis and characterization of novel fully aliphatic polyimidosiloxanes based on alicyclic or adamantyl diamines. *J. Polym. Sci. Part A. Polym. Chem.* 2006. V. 44. P. 5254-5270.
48. **Kita H., Yoshino M., Tanaka K., Okamoto.** Gas permselectivity of carbonized polypyrrolone membrane. *Chem. Com. Chem. Soc.* 1997. N 11. P. 1051-1052.
49. **Ruaan R.C., Wu T.H., Chen S.H., Lai J.Y.** Oxygen/nitrogen separation by polybutadiene/polycarbonate composite membranes modified by ethylenediamine plasma. *J. Membr. Sci.* 1998. V. 138. N 2. P. 213-220.
50. **Козлов Г.В., Нафадзюкова Л.Х., Заиков Г.Е.** Влияние фрактальности структуры полимерных мембран на диффузию газов. *Инж. физ.* 2007. № 1. С. 50-52.
51. **Панов Ю.Т., Тарасов А.В., Лепешин С.А., Ермолаева Е.В.** Полиамидные микрофильтрационные мембраны с улучшенными порометрическими прочностными свойствами. *Современные наукоемкие технологии.* 2015. № 12. С. 258-262.
52. **Яблокова М.Ю., Семенова Г.К., Кузнецов А.А., Лазарева Ю.Н., Алентьев А.Ю.** Полиимидные мембранные материалы: подходы к синтезу и созданию мембран. *Структура и динамика молекулярных систем.* 2007. Т. 1. С. 345-350.
53. **Hasegawa M, Ishigami T, Ishii J.** Solution-processable transparent polyimides with low coefficients of thermal expansion and self-orientation behavior induced by solution casting. *Eur. Polym. J.* 2013. V. 49. P. 3657-3672.
54. **Chen Y.Y., Yang C.P., Hsiao S.H.** Novel organosoluble and colorless poly(ether imide)s based on 1,1-bis[4-(3,4-dicarboxyphenoxy) phenyl]cyclohexane dianhydride and trifluoromethyl-substituted aromatic bis(ether amine)s. *Eur. Polym. J.* 2006. V. 42. P. 1705-1715.
55. **Wang Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Gas and water vapor transport through a series of novel poly(arylether sulfone) membranes. *Macromolecules.* 2001. N 34. P. 9015-9022.
56. **Li L., Wang Y.X.** Sulfonated polyethersulfone cardo membranes for direct methanol fuel cell. *J. Membrane Sci.* 2005. N 246. P. 167-172.
57. **Li L, Wang Y.X.** Quaternized polyethersulfone cardo anion exchange membranes for direct methanol alkaline fuel cells. *J Membrane Sci.* 2005. N 262. P. 1-4.
58. **pendant polychloro groups. J. Appl. Polym. Sci. 2008. V. 18. N 2. P. 1049-1054.**
43. **Shaov, Bazheva R.Ch. Begieva M.B., Kharaev A.M.** RF Patent № 2556229. Aromatic polyestersulfoneketones. Publ. 20.12.11 (in Russian).
44. **Bazheva R.Ch., Begiev M.B., Kharaev A.M.** Patent of the Russian Federation N 2556233. Aromatic polyethersulfone ketones. Opobl 12/20/2014 (in Russian).
45. **Guang Ch., Xiaosa Zh., Suobo Zh., Tianlu C., Yonglie Wu.** Synthesis, properties, and gas permeation performance of cardo poly(arylene ether sulfone)s containing phthalimide side groups. *J. Appl. Polymer Sci.* 2007. V. 106. P. 2808-2816.
46. **Wang, Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Gas and Water Vapor Transport through a Series of Novel Poly(aryl ether sulfone) Membranes. *Macromolecules.* 2001. N 34. P. 9015-9022.
47. **Mathews A.S., Kim I., Ha C.S.** Synthesis and characterization of novel fully aliphatic polyimidosiloxanes based on alicyclic or 38adamantly diamines. *J. Polym. Sci. Part A. Polym. Chem.* 2006. V. 44. P. 5254-5270.
48. **Kita H., Yoshino M., Tanaka K., Okamoto.** Gas permselectivity of carbonized polypyrrolone membrane. *Chem. Com. Chem. Soc.* 1997. N 11. P. 1051-1052.
49. **Ruaan R.C., Wu T.H., Chen S.H., Lai J.Y.** Oxygen/ nitrogen separation by polybutadiene/polycarbonate composite membranes modified by ethylenediamine plasma. *J. Membr. Sci.* 1998. V. 138. N 2. P. 213-220.
50. **Kozlov G.V., Nafadzokova L.Kh., Zaikov G.E.** Effect of fractal structure of polymer membranes on gas diffusion. *Ing. Fiz. Zhurn.* 2007. N 1. P. 50-52 (in Russian).
51. **Panov Yu.T., Tarasov A.V., Lepeshin S.A., Ermolaeva E.V.** Polyamide microfiltration membranes with improved porosimetric and strength properties. *Sovrem. Naukoemkie Tekhnol.* 2015. N 12. P. 258-262 (in Russian).
52. **Yablokova M.Yu., Semenova G.K., Kuznetsov A.A., Lazareva Yu.N., Alentiev A.Yu.** Polyimide membrane materials: approaches to the synthesis and creation of membranes. *Struktura i Dinamika Molek. Sistem.* 2007. V. 1. P. 345-350 (in Russian).
53. **Hasegawa M, Ishigami T, Ishii J.** Solution-processable transparent polyimides with low coefficients of thermal expansion and self-orientation behavior induced by solution casting. *Eur. Polym. J.* 2013. V. 49. P. 3657-3672.
54. **Chen Y.Y., Yang C.P., Hsiao S.H.** Novel organosoluble and colorless poly(ether imide)s based on 1,1-bis[4-(3,4-dicarboxyphenoxy) phenyl]cyclohexane dianhydride and trifluoromethyl-substituted aromatic bis(ether amine)s. *Eur. Polym. J.* 2006. V. 42. P. 1705-1715.
55. **Wang Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Gas and water vapor transport through a series of novel poly(arylether sulfone) membranes. *Macromolecules* 2001. N 34. P. 9015-9022.
56. **Li L., Wang Y.X.** Sulfonated polyethersulfone cardo membranes for direct methanol fuel cell. *J. Membrane Sci.* 2005. N 246. P. 167-172.
57. **Li L., Wang Y.X.** Quaternized polyethersulfone cardo anion exchange membranes for direct methanol alkaline fuel cells. *J. Membrane Sci.* 2005. N 262. P. 1-4.
58. **Liu J.T., Chen G.F., Guo J.C.** Synthesis of high performance phenolphthalein-based cardo poly(ether ketone imide)s via aromatic nucleophilic substitution polymerization. *Polymer.* 2015. N 70. P. 30-37.

58. **Liu J.T., Chen G.F., Guo J.C.** Synthesis of high performance phenolphthalein-based cardo poly(ether ketone imide)s via aromatic nucleophilic substitution polymerization. *Polymer*. 2015. N 70. P. 30–37.
59. **Wang Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Novel poly(aryl etherketone)s containing various pendant groups. II. Gastransport properties. *J Appl. Polym. Sci.* 1997. N 64. P. 1725–1732.
60. **Chen G., Zhang X.S., Zhang S.B.** Synthesis, properties, and gas permeation performance of cardo poly(arylene ethersulfone)s containing phthalimide side groups. *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. N 106. P. 2808–2816.
61. **Chen G., Li S.H., Zhang X.S.** Novel thin-film composite membranes with improved water flux from sulfonated cardo poly(arylene ether sulfone) bearing pendant amino groups. *J. Membrane Sci.* 2008. N 310. P. 102–109.
62. **Gao N., Zhang S.B.** Phenolphthalein-based cardo poly(arylene ether sulfone): preparation and application to separation membranes. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013. N 128. P. 1–12.
63. **Nian G., Feng Zh., Suobo Zh., Jia L.** Novel cardo poly(arylene ether sulfone)s with pendant sulfonated aliphatic side chains for proton exchange membranes. *J. Membrane Sci.* 2011. N 372. P. 49–56.
64. **Yi Z., Ao Nan Lai, Ai Mei Zhu, Mei Ling Ye, Qing Lin** Highly ionic-conductive crosslinked cardopoly(aryleneethersulfone)s as anion exchange membranes for alkaline fuel cells. *J. Membrane Sci.* 2015. N 491. P. 138–148.
65. **Zhaoxia H., Weifen T., Xulue Zh., Huiping B., Shanshan Ch., Ying G., Shouwen Ch.** Multiblock sulfonated poly(arylene ether sulfone)s with fluorenyl hydrophilic moieties for PEMFC applications. *J. Polym. Res.* 2016. N 23. P. 2–30.
66. **Islam M., Jang H., Lim Y., Seo D., Kim T., Hong Y., Kim D., Kim W.** Synthesis and characterization of sulfonated cardo poly(arylene ether sulfone)s for fuel cell proton exchange membrane application. *J. Fuel Cell.* 2012. N 6. P. 978–986.
59. **Wang Z.G., Chen T.L., Xu J.P.** Novel poly(aryl etherketone)s containing various pendant groups. II. Gastransport properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 1997. N 64. P. 1725–1732.
60. **Chen G., Zhang X.S., Zhang S.B.** Synthesis, properties, and gas permeation performance of cardo poly(arylene ethersulfone)s containing phthalimide side groups. *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. N 106. P. 2808–2816.
61. **Chen G., Li S.H., Zhang X.S.** Novel thin-film composite membranes with improved water flux from sulfonated cardo poly(arylene ether sulfone) bearing pendant amino groups. *J. Membrane Sci.* 2008. N 310. P. 102–109.
62. **Gao N., Zhang S.B.** Phenolphthalein-based cardo poly(arylene ether sulfone): preparation and application to separation membranes. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013. N 128. P. 1–12.
63. **Nian G., Feng Zh., Suobo Zh., Jia L.** Novel cardo poly(arylene ether sulfone)s with pendant sulfonated aliphatic side chains for proton exchange membranes. *J. Membrane Sci.* 2011. N 372. P. 49–56.
64. **Yi Z., Ao Nan Lai, Ai Mei Zhu, Mei Ling Ye, Qing Lin.** Highly ionic-conductive crosslinked cardopoly(aryleneethersulfone)s as anion exchange membranes for alkaline fuel cells. *J. Membrane Sci.* 2015. N 491. P. 138–148.
65. **Zhaoxia H., Weifen T., Xulue Zh., Huiping B., Shanshan Ch., Ying G., Shouwen Ch.** Multiblock sulfonated poly(arylene ether sulfone)s with fluorenyl hydrophilic moieties for PEMFC applications. *J. Polym. Res.* 2016. N 23. P. 2–30.
66. **Islam M., Jang H., Lim Y., Seo D., Kim T., Hong Y., Kim D., Kim W.** Synthesis and characterization of sulfonated cardo poly(arylene ether sulfone)s for fuel cell proton exchange membrane application. *J. Fuel Cell.* 2012. N 6. P. 978–986.

Поступила в редакцию 22.12.2016
Принята к опубликованию 27.04.2017

Received 22.12.2016
Accepted 27.04.2017