

**Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и  
медицинской химии РАН**

*На правах рукописи*



**Вашуркин Дмитрий Вячеславович**

**Блок-сополимеры на основе стирола, винилпиридина, н- и трет-  
бутилакрилата: синтез и свойства**

1.4. – Химические науки

1.4.7 – Высокомолекулярные соединения

**Научный доклад**

**об основных результатах научно-квалификационной работы**

Научный руководитель



/к.ф.-м.н., в.н.с. Иванов Д.А.

Рецензент



/к.ф.-м.н., рук. группы Анохин Д.В.

Рецензент



/к.х.н., с.н.с. Тарасов А.Е.

Черноголовка, 2024

## Актуальность работы

Блок-сополимеры — это полимеры, в которых химически различные сегменты объединены в одну макромолекулярную цепь. Существует большое множество архитектур, которые можно получить, комбинируя различные блоки. Наиболее распространенными из них являются линейная, звездообразная, разветвленная и гребнеобразная, на основе которой могут быть получены более сложные щеточные блок-сополимеры. Благодаря развитию подходов к получению блок-сополимеров, таких как ионная (анионная и катионная), а также контролируемая радикальная полимеризация, включающая в себя радикальную полимеризацию с переносом атома, радикальную полимеризацию с обратимой передачей цепи можно получать блок-сополимеры с необходимыми молекулярно-массовыми характеристиками и требуемой молекулярной архитектуры. Постепенно появляются новые методики синтеза, которые основаны на комбинации известных техник и с помощью которых появилась возможность синтезировать ранее недостижимые молекулярные архитектуры высокой сложности.

Важной особенностью блок-сополимеров по сравнению со статистическими или смесью гомополимеров является их способность образовывать большое множество надмолекулярных структур. Изменяя их молекулярно-массовые характеристики (степень полимеризации и объемную долю), тип мономеров (параметр взаимодействия Флори-Хаггинса) и количество сегментов в полимерной цепи можно получить различные морфологии, такие как сферы, цилиндры, ламели и другие гораздо более сложные. Конечно, развитие информационных технологий за последние десятилетия сильно ушло вперед, но даже на современном уровне теоретически предсказанные морфологии для систем триблок-сополимеров и сложнее зачастую не сходятся с экспериментальными данными, что обуславливает необходимость изучать эти системы исключительно экспериментально. Благодаря этим интересным особенностям исследования блок-сополимеры различной архитектуры уже давно стали популярной темой во всем мире.

В дополнении к академическому научному интересу блок-сополимеры за последние пятнадцать лет существенно расширили свое практическое применение, например в области наноматериалов, электроники, фотоники, адресной доставки лекарств. Блок-сополимеры используют преимущества сочетания мягких и жестких сегментов в одной молекуле для создания термопластичных эластомеров, сочетания гидрофильности и гидрофобности

для инкапсулирования и доставки лекарственных средств, самоорганизацию в различные морфологии для создания материалов с заданной структурой, пропускающих определенные волны или с помощью дополнительных действий образующие материалы с нужным размером пор.

Одним из перспективных направлений является исследование блок-сополимеров, которые могут объединять в себе гидрофильность и гидрофобность, а также кислотные и основные свойства. В качестве основных компонентов в таких системах используются различные акрилаты и азотосодержащие мономеры. Блок-сополимеры на основе вышеперечисленных мономеров способны самоорганизовываться в различные морфологии благодаря разным химическим свойствам сегментов. Кроме того, на основе полученных блок-сополимеров путем полимераналогичных превращений: гидролиз акрилатов и метакрилатов до соответствующих кислот, а также кватернизации азотосодержащих звеньев могут быть получены новые материалы с уникальными свойствами. Кроме того, при увеличении молекулярной массы блок-сополимеров могут быть получены известные структуры с большими размерами доменов или новые надмолекулярные структуры. Поэтому еще одной основной задачей исследования является получение блок-сополимеров с молекулярной массой, превышающей известные в литературе аналоги.

Таким образом, блок-сополимеры являются крайне интересным и актуальным направлением исследования на сегодняшний день, а поиск новых сочетаний мономеров, новых молекулярных архитектур и надмолекулярных структур и различные модификации известных блок-сополимеров являются перспективными задачами как в академическом, так и в практическом плане.

### **Цели и задачи исследования**

**Цель работы** заключается в получении блок-сополимеров различного состава и архитектуры на основе стирола (PS), 2/4-винилпиридина (P2VP, P4VP), н- и трет-бутилакрилата (PBA, PtBA).

**Основные задачи** исследования:

1) Получение линейных диблок-сополимеров PS-PBA, PS-PtBA, PS-P2VP, PS-P4VP, PBA-PS, PtBA-PS с молекулярной массой более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,35

2) Получение линейных триблок-сополимеров PS-PBA-PS, PBA-PS-PBA, PtBA-PS-PtBA, PBA-PS-PtBA, PtBA-PS-PBA с молекулярной массой более 90кДа и показателем полидисперсности ниже 1,5

- 3) Получение звездообразных диблок-сополимеров PS-PBA, PS-PtBA с молекулярной массой более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4
- 4) Получение гребнеобразных диблок-сополимеров PS-PBA, PS-PtBA с молекулярной массой более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4
- 5) Исследование надмолекулярной архитектуры линейных диблок- и триблок-сополимеров

### **Научная новизна**

- 1) Предложена методика синтеза блок-сополимеров методом радикальной полимеризации с переносом атома для получения блок-сополимеров с молекулярной массой более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4
- 2) Методом радикальной полимеризации с переносом атома получены блок-сополимеры линейной, звездообразной и гребнеобразной архитектуры на основе стирола, 2/4-винилпиридина, н- и трет-бутилакрилата с молекулярной массой более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4, которые ранее не были описаны в литературе

### **Теоретическая и практическая значимость**

В результате выполнения работы методом контролируемой радикальной полимеризации с переносом атома были получены блок-сополимеры на основе стирола, винилпиридина и н- и трет-бутилакрилата молекулярной массой более 60кДа для диблок-сополимеров и 90кДа для триблок-сополимеров и показателем полидисперсности менее 1,4. Такой подход гораздо менее требователен по сравнению с ионной полимеризацией и дает более низкие показатели полидисперсности при схожих молекулярных массах по сравнению с методом радикальной полимеризации с обратимой передачей цепи.

Полученные в ходе работы результаты могут дополнить данные о структуре и свойствах исследуемых блок-сополимерных систем, поскольку при увеличении общей молекулярной массы может существенно меняться структура блок-сополимеров. Путем подбора молекулярно-массовых характеристик могут быть получены структуры необходимого типа и размера. В данной работе получены полимеры с ламеллярной структурой от 14 до 36 нм, которые потенциально могут быть применены в микроэлектронике или для создания материалов с определенной структурой.

В результате проделанной работы были получены блок-сополимеры не только различного состава, но и различной архитектуры, в том числе и активно

изучаемые на данный момент звездообразные и гребнеобразные (щеточные) блок-сополимеры.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Результаты проделанной работы были представлены на Международной молодежной научной конференции Современные тенденции развития функциональных материалов 16-18 ноября 2022 г. Сочи, Россия, XXX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», 10-21 апреля 2023 г. Москва, Россия, Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы» 3-8 июля 2023 г. Нальчик, Россия, Международной молодежной научной конференции Современные тенденции развития функциональных материалов 7-9 ноября 2023 г. Сочи, Россия, Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2024» 12-26 апреля 2024г. Москва, Россия, Девятой всероссийской Каргинской конференции «Полимеры — 2024» 1-3 июля 2024 г. Москва, Россия.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 7 работ, которые являются тезисами докладов в сборниках российских и международных конференций.

Кроме того, автор принимал участие в выполнении гос. задания в лаборатории «Перспективных материалов для биомедицины и энергетики» ФИЦ ПХФ и МХ РАН по тем. карте № 0074-2019-0014 “Перспективные материалы для применения в биомедицине, энергетике и электронике”. Помимо тем. карты автор непосредственно участвовал в проектах № 075–15-2019-1889 и 075-15-2022-1105 Макромолекулярная инженерия блок-сополимерных нанокомпозитов для применения в качестве фононно-фотонных зонных материалов с высокой эффективностью проводимости», в рамках которого с участием диссертанта опубликовано 2 статьи, индексируемых Web of Science.

### **Личный вклад автора**

Диссертант принимал непосредственное участие во всех этапах работы. Сначала был проведен поиск и анализ литературы по теме исследования. В ходе литературного обзора в качестве основного синтетического подхода был выбран метод радикальной полимеризации с переносом атома. На основании этого выбора автором были сформулированы цели и задачи исследования, разработаны методики проведения эксперимента.

Автором были самостоятельно выполнены апробация существующих методик синтеза блок-сополимеров на основе выбранных мономеров. Доработка и оптимизация методик для получения блок-сополимеров определенного состава, молекулярной массы и полидисперсности. Анализ полученных образцов методом гель-проникающей хроматографии, спектроскопии комбинационного рассеяния, дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа.

Автором лично была проведена обработка вышеперечисленных экспериментальных данных. Кроме того, лично автором или студентами под его руководством были получены все представленные в настоящей работе блок-сополимерные системы, включая линейные, звездообразные и гребнеобразные (щеточные) блок-сополимеры.

Экспериментальные данные с помощью ЯМР-спектроскопии на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  были получены сотрудниками АЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН, а также сотрудниками АЦКП МГУ им. М.В. Ломоносова. Эксперименты по малоугловому рентгеновскому рассеянию были выполнены в лаборатории инженерного материаловедения ФФФХИ МГУ им. М. В. Ломоносова.

## Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность и значимость темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, раскрыта практическая значимость полученных результатов. Описаны основные объекты и методы исследования.

**В первой главе** представлен литературный обзор современных способов синтеза, анализа и структурной характеристики блок-сополимеров. Приведены примеры блок-сополимеров, которые активно изучаются и применяются в различных областях. Показаны системы мономеров, из которых можно получить перспективные блок-сополимеры, наиболее интересными из которых являются стирол, различные акрилаты, в частности акриламины и акриламиды, и 2- и 4-винилпиридин. Выбраны и описаны наиболее подходящие для перечисленных мономеров способы полимеризации: контролируемые радикальные полимеризации с переносом атома и обратимой передачей цепи и анионная. Исходя из ряда факторов, таких как трудоемкость процесса наличие сложного оборудования, требования к реактивам по чистоте, наличию примесей методы контролируемой радикальной полимеризации являются наиболее оптимальными по соотношению молекулярно-массовых характеристик продукта и требований к проведению процесса. В качестве основного из двух методов контролируемой радикальной полимеризации была выбрана

полимеризация поскольку позволяет получать продукты с более узким молекулярно-массовым распределением.

**Во второй главе** описан процесс апробации и оптимизации методик синтеза на основе радикальной полимеризации с переносом атома для получения блок-сополимеров с молекулярной массой свыше 60кг/моль. Исходя из литературных данных, исследователи в основном получали сегменты с молекулярной массой от нескольких сотен до двух-трех десятков тысяч и общей массой блок-сополимера до 70кДа.

Основной задачей исследования являлось получение сегментов с массой, превышающей литературные данные. Для этого было необходимо опробовать известные методы и в случае, если будут наблюдаться отклонения, доработать методику для получения сегментов и блок-сополимеров с необходимым молекулярно-массовым распределением.

Предварительно были опробованы несколько классических, которые часто используются для получения сегментов полистирола с использованием в качестве инициатора и катализатора систему EBiB/PMDETA/CuBr при температурах 70-100°C, которые используются в источниках. При попытках получения блок-сополимеров свыше 50 кг/моль на хроматограмме видно появление нескольких фракций полимера, что свидетельствует о протекании побочных процессов (Рисунок 2). В связи с чем было необходимо подобрать параметры системы, а именно соотношение инициатор/катализатор/мономер реакционной смеси.

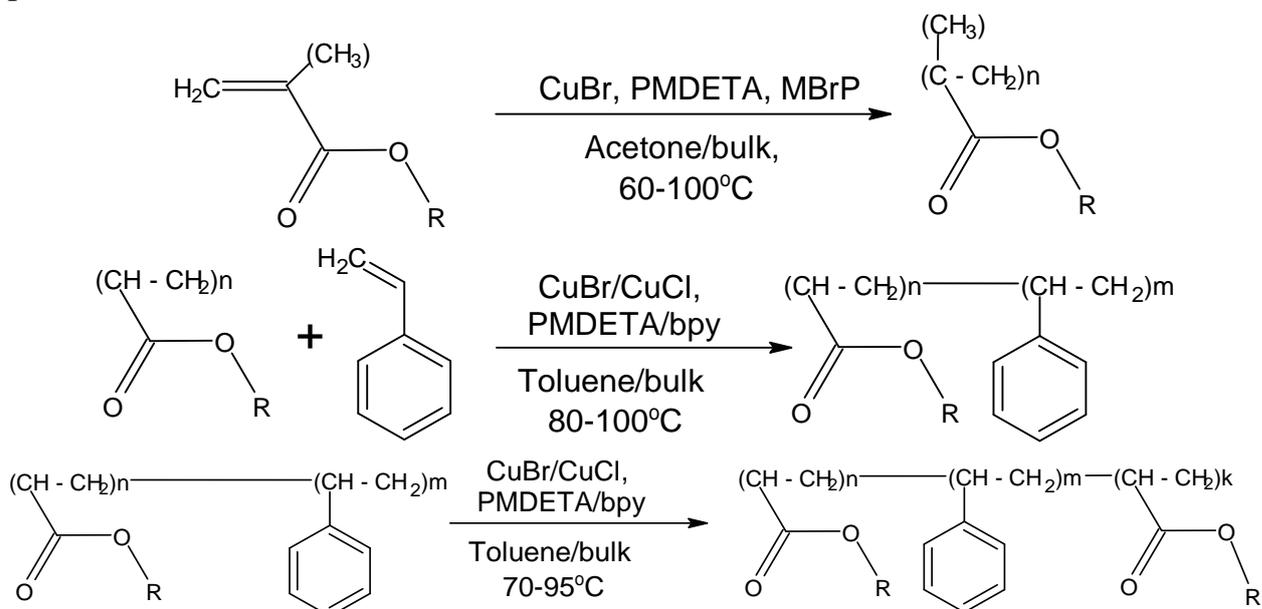


Рисунок 1. Схема синтеза триблок-сополимера АВА и АВС, состоящего из звеньев стирола и одного или двух различных (мет)акрилатов.

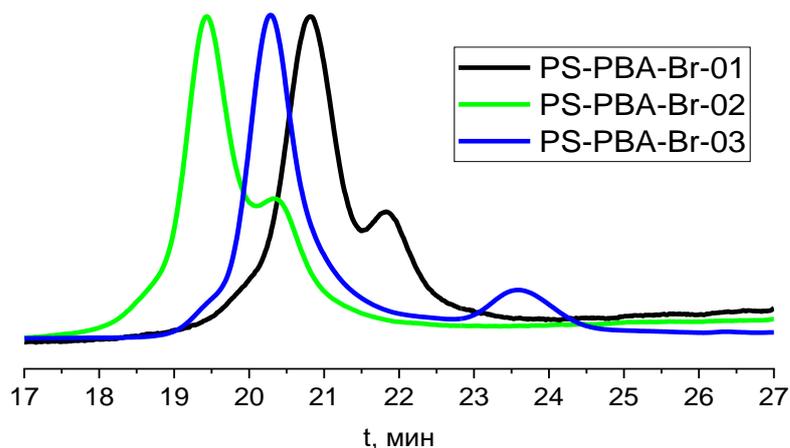


Рисунок 2. Хроматограммы блок-сополимеров, полученных по стандартным методикам. PS-PBA-Br 01 и 02 EBiB/PMDETA/CuBr при 70 и 90 °С, 03 EBiB/MeBTREN//CuBr при 90 °С.

Для поиска оптимальных условия проведения процесса необходимо варьировать несколько параметров: 1) тип инициатора (только для первого сегмента) 2) тип лиганда катализатора 3) тип галогенида меди, 4) соотношение инициатор(макроинициатор)/лиганд/CuX, 5) температура проведения реакции 6) продолжительность процесса (Таблица 1).

Таблица 1. Параметры синтеза блок-сополимеров

Инициатор	Лиганд	Галогенид	Соотношение инициатор/L/CuX	Температура синтеза
EBriB	PMDETA	CuBr	От 1:0,2:0,2 до 1:5:5	От 40°С до 120°С
MBrP	MeбTREN			
2-PEtBr	2,2 бпу	CuCl		
TsCl	TMEDA			

Путем поочередного варьирования этих параметров отдельно для каждой системы были получены блок-сополимеры с менее выраженными дефектами (Рисунок 3). На хроматограмме отсутствуют дополнительные пики, но все еще видны продукты побочных реакций, такие как непрореагировавший макроинициатор (правая часть красной хроматограммы и 2 два плеча справа на зеленой хроматограмме которые соответствуют гомо- и диблок-сополимеру) и нарушение процесса в виде квадратичного обрыва цепи (плечи слева на красной и зеленой хроматограммах). Наиболее сильное влияние на процесс оказывает температура синтеза, тип галогена и соотношение инициатор/лиганд/галогенид реакционной смеси.

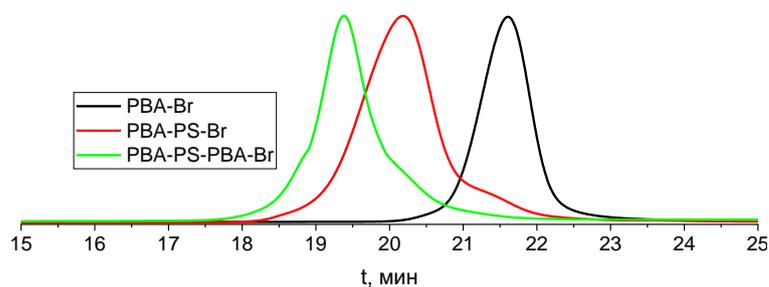


Рисунок 3. Промежуточные результаты подбора необходимых условий синтеза.

В результате снижения температуры и продолжительности синтеза до 70 °С для акрилатов и винилпиридина и 85 °С для стирола, а также использования хлоридов в качестве инициатора и галогенида в ряде образцов позволили добиться уменьшения побочных реакций и получения блок-сополимеров с необходимым молекулярно-массовым распределением (Рисунок 4, Таблица 2)

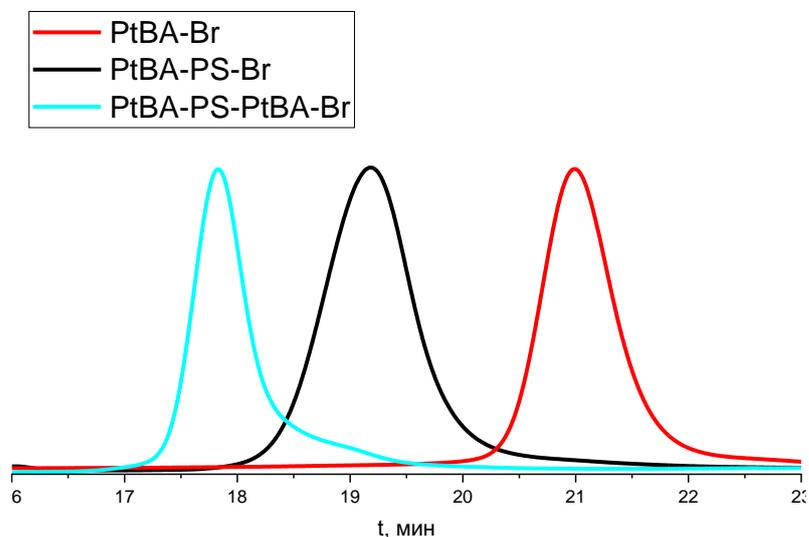


Рисунок 4. Хроматограммы системы PtBA-PS-PtBA.

Таблица 2. Результаты оптимизации методики синтеза диблок- и триблок-сополимеров.

Тип полимера	Молекулярная масса, кДа	Соотношение блоков	PDI
PS-PBA	20-80	0,2-0,6:0,8-0,4	1,15-1,3

PBA-PS	16-90	0,25-0,6	1,2-1,35
PtBA-PS	15-90	0,2-0,8:0,8-0,2	1,1-1,25
PS-P2VP	30-40	~0,4:0,6	1,2
PS-P4VP	30	0,37:0,63	1,26
PS-PBA-PS	72-95	~0,6:0,4	1,2-1,4
PBA-PS-PBA	80-150	0,6-0,8:0,4-0,2	1,2-1,3
PtBA-PS-PtBA	40-150	0,6-0,8:0,4-0,2	1,2-1,35
PBA-PS-PtBA	80-90	~0,3:0,2:0,5	1,2-1,35
PtBA-PS-PBA	110	~0,3:0,2:0,5	1,2-1,35

В представленной выше таблице собраны полученные блок-сополимеры, которые имеют высокую молекулярную массу и относительно низкую полидисперсность.

**В третьей главе** описаны результаты получения звездообразных блок-сополимеров. Схема синтеза представлена на Рисунок 5. Было сделано предположение, что условия протекания процесса не должны сильно отличаться от линейных аналогов, однако при попытке получения первых звездообразных полимеров были отмечены некоторые отклонения. При использовании в качестве лиганда PMDETA при различных температурах наблюдается осаждение инициатора и вследствие этого получение нескольких фракций полимера вместо одной (Рисунок 6). А при использовании более сильного комплексообразующего лиганда MeBTREN был получен сверхвысокомолекулярный полистирол с массой, превышающей диапазон колонки на ГПХ. Использование в качестве катализатора бипиридина способствует нормальному протеканию реакции в стандартном диапазоне температур и позволяет получить гомополимеры с удовлетворительными молекулярно-массовыми характеристиками. Трифункциональные гомополимеры, в свою очередь, вступают в дальнейшие реакции без подобных ограничений по выбору комплексообразующего лиганда (Таблица 3).

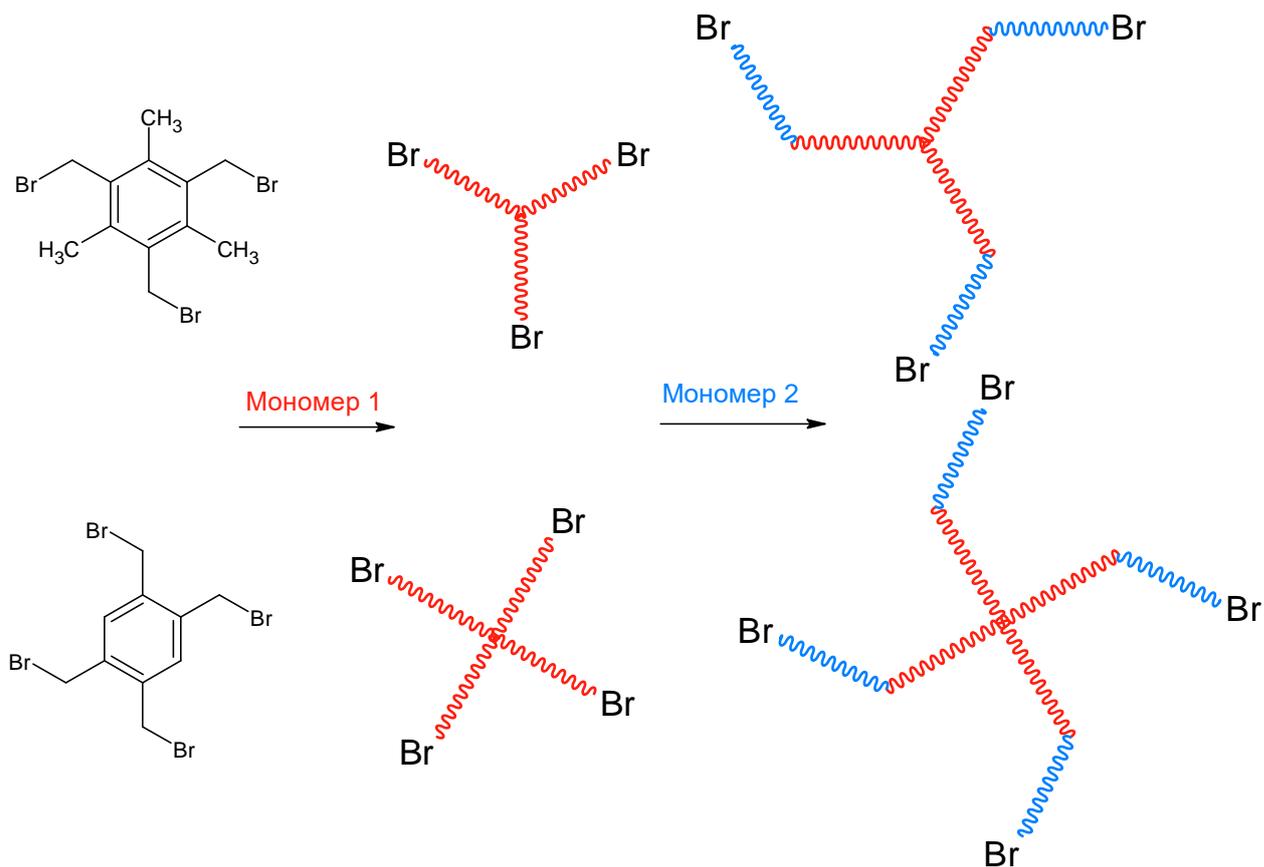


Рисунок 5. Схема синтеза звездообразных блок-сополимеров.

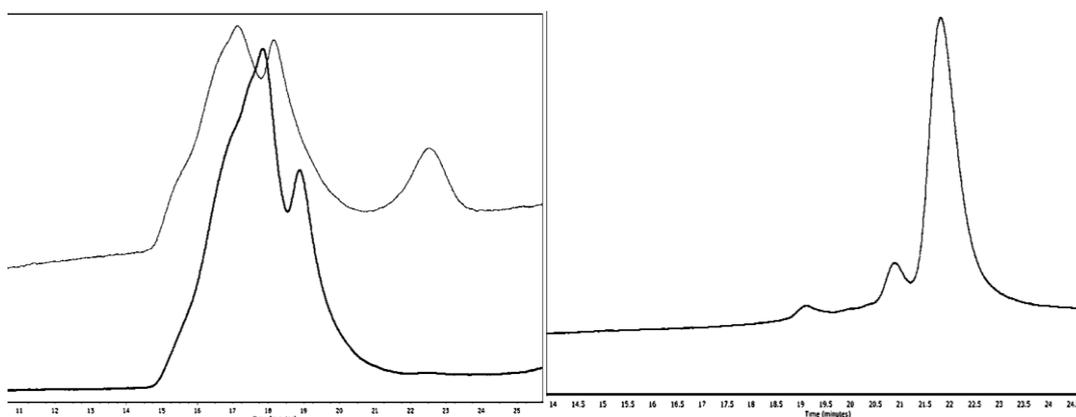


Рисунок 6. Хроматограммы, на которых видно наличие нескольких фракций полимера.

Таблица 3. Основные результаты синтеза звездообразных блок-сополимеров.

Полимер	Молекулярная масса	Соотношение блоков	PDI
PS-PBA	65100	0,33:0,67	1,24
PS-PBA	84900	0,42:0,58	1,21
PS-PtBA	92600	0,35:0,65	1,27
PS-PtBA	105200	0,3:0,7	1,25

PS-PtBMA	89100	0,45:0,55	1,18
----------	-------	-----------	------

В четвертой главе описаны результаты по синтезу гребнеобразных сополимеров. Для получения разветвленного полимера был выбран способ, при котором сначала получают макроинициатор определенной длины, который затем трансформируется в боковую цепь (Рисунок 7). Для этого на первом этапе были получены гомополимеры трет-бутилакрилата с различными степенями полимеризации от 20 до 150 (Рисунок 8).

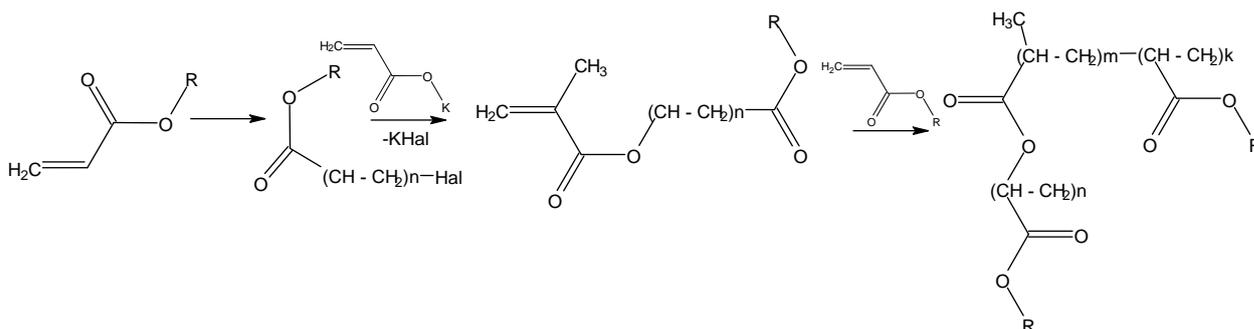


Рисунок 7. Схема синтеза гребнеобразного(щеточного) сополимера путем получения макромономера из макроинициатора и его дальнейшей полимеризации

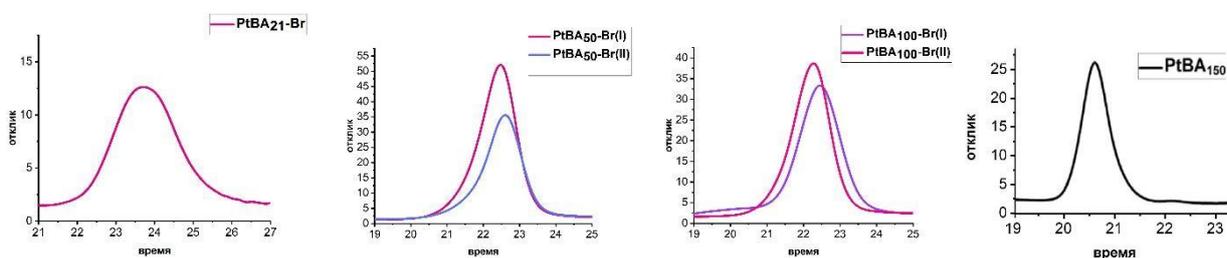


Рисунок 8. Хроматограммы гомополимеров PtBA с различной степенью полимеризации.

Таблица 4 Характеристики полученных сегментов PtBA.

Полимер	Молекулярная масса	Степень полимеризации	PDI
PtBA21	3770	29	1,5
PtBA50	7420	57	1,27
PtBA50	7660	60	1,32
PtBA100	12200	95	1,22
PtBA100	13100	102	1,27
PtBA150	19800	154	1,17

Далее из синтезированных макроинициаторов были получены макромономеры путем замены конечного атома брома на метилметакрилатную группу. Реакции конденсации проводили при

добавлении большого избытка метакрилата калия в растворе диметилацетамида при комнатной температуре в течение 3 дней чтобы достичь максимальной конверсии. Для подтверждения успешного протекания реакции были сняты ЯМР спектры метакрилата калия и предполагаемого продукта. По сдвигу протонов при двойной связи метилметакрилата в область слабого поля (более 0,5 м.д.), а также по интегральному соотношению интенсивностей сигналов протонов при двойной связи и протонов, принадлежащих политретбутилакрилату можно сделать вывод о том, что реакция замещения прошла более чем на 90% (Рисунок 9).

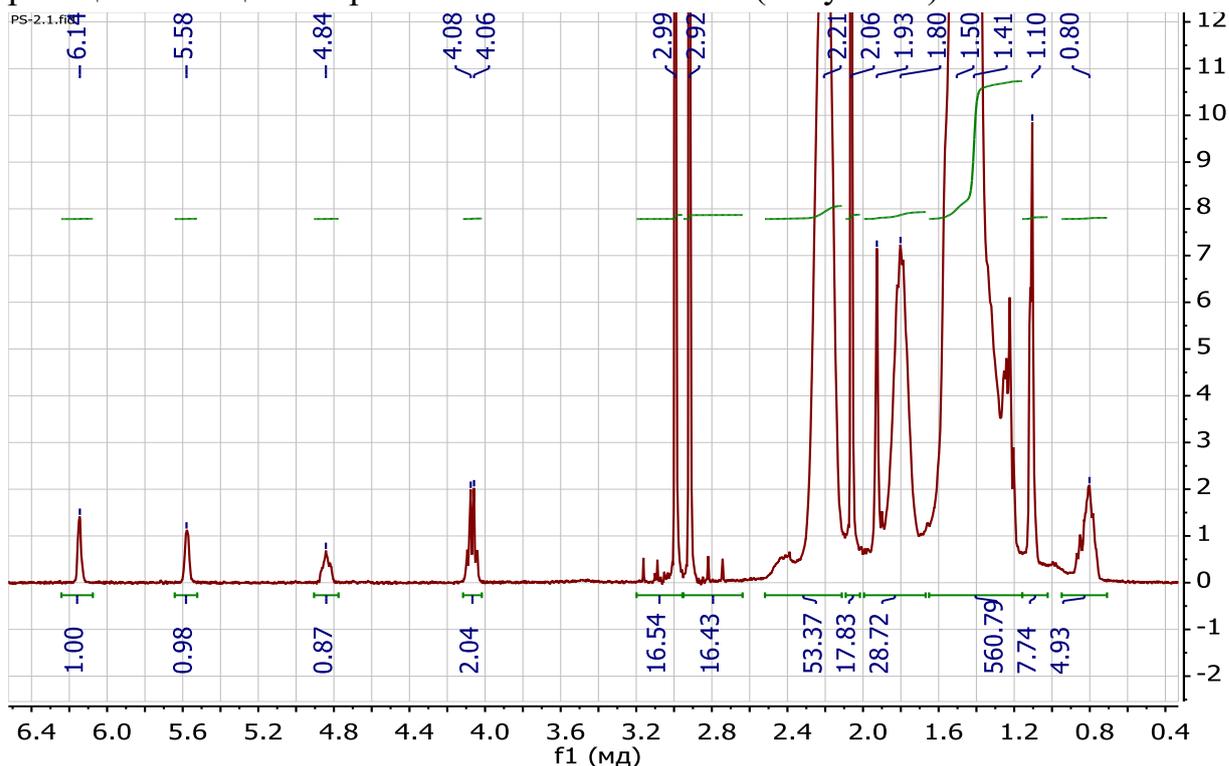


Рисунок 9.  $^1\text{H}$ -ЯМР макромономера PtBA50-MA (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ): 6.16, 5.58 ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}=\text{O}$ , s, 1H) 2.21 ( $-\text{CH}-\text{CH}_2-$ ), m, ~53H), 1.42 ( $-\text{O}-\text{C}-(\text{CH}_3)_3$ , t, ~560H).

Последней стадией синтеза в этом процессе является получение гребнеобразного (щеточного) сополимера путем сополимеризации полученных макромономеров с третбутилметакрилатом. Пример характеристики такого соединения представлен на рисунке ниже (Рисунок 10). Как хорошо видно, на хроматограмме наблюдается несколько плечей, которые соответствуют 1) оставшемуся после процесса конденсации макроинициатору и 2) части макроинициатора, который провзаимодействовал с добавленным мономером, получив тем самым блок-сополимер. Основная часть макромономера и мономера вступили в целевую реакцию, образовав тем самым гребнеобразный полимер с молекулярной массой около 65000 г/моль. Это является удовлетворительным результатом, поскольку при такой

архитектуре полимеры самоорганизуются иначе, чем линейные и звездообразные.

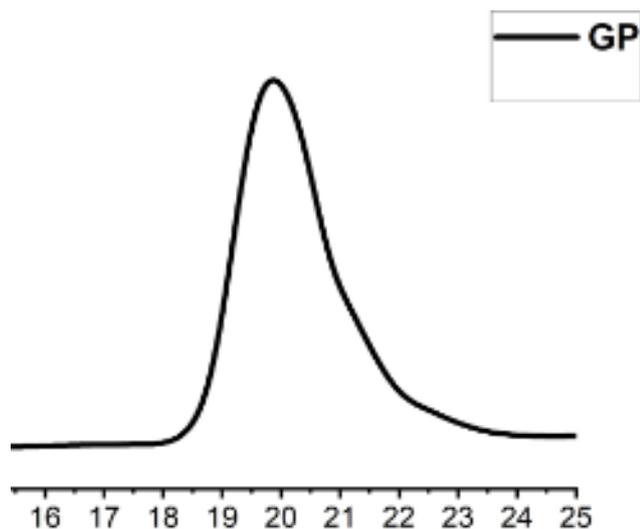


Рисунок 10. Хромотограмма гребнеобразного сополимера.

В пятой главе описаны результаты по термической и структурной характеристики линейных диблок- и триблок-сополимеров.

Методами ДСК было изучено фазовое поведение всех полученных систем. В зависимости от типа строения и состава образца, наблюдалось появление и смещение пика температуры стеклования, соответствующего взаимодействию между блоками в блок-сополимерной системе (Рисунок 11).

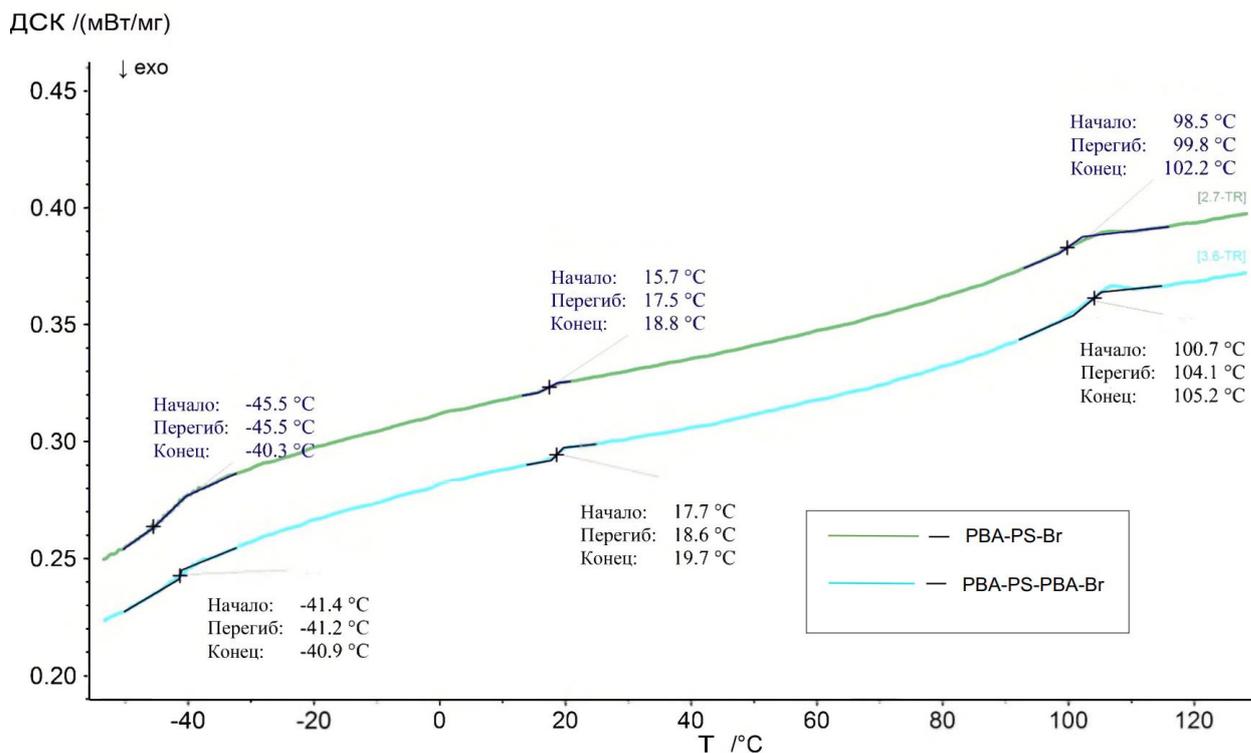


Рисунок 11. Результаты термического анализа для диблок- и триблок-сополимера одной серии.

Для всех полученных образцов была охарактеризована структура методом малоуглового рентгеноструктурного анализа. Образцы продемонстрировали наличие ламеллярной структуры с фазовым разделением. Толщина слоя ламеллярной структуры изменялась в зависимости от массы полимера и соотношения между блоками (Рисунок 12, Таблица 5). Было показано, что влияние блока PBA на формирование структуры больше, чем блока PS, а также показана возможность управления размером формируемых доменов путем варьирования химической структуры образца.

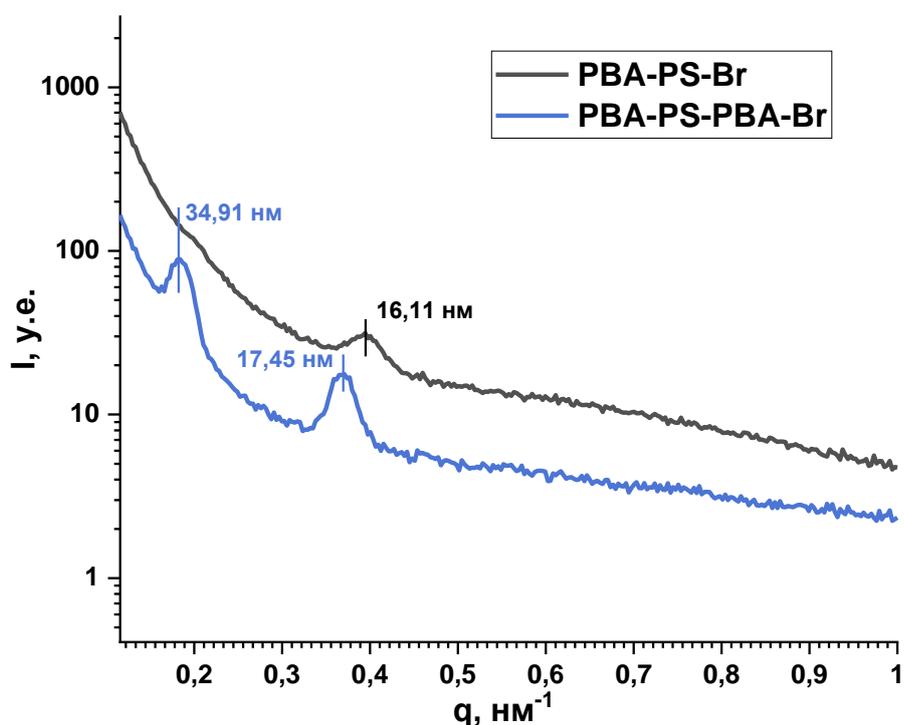


Рисунок 12. Кривые малоуглового рентгеновского рассеяния диблок- и триблок-сополимера одной серии.

Таблица 5. Надмолекулярная структура блок-сополимеров.

Тип полимера	Молекулярная масса, кДа	Соотношение блоков	PDI	Тип структуры	Размер структуры
PS-PBA	71000	0,56:0,44	1,25	Ламеллярная	14,6 нм
PBA-PS	72000	0,23:0,77	1,3	Ламеллярная	16,1 нм
PtBA-PS	90000	0,3:0,7	1,2	Ламеллярная	20,4 нм
PS-PBA-PS	120000	0,27:0,73	1,35	Ламеллярная	29,2 нм
PBA-PS-PBA	140000	0,61:0,39	1,27	Ламеллярная	34,9 нм

PtBA-PS- PtBA	140000	0,63:0,37	1,21	Ламеллярная	36 нм
------------------	--------	-----------	------	-------------	-------

### Выводы

- 1) Предложена методика синтеза блок-сополимеров методом радикальной полимеризации с переносом атома для получения блок-сополимеров с молекулярной более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4
- 2) Методом радикальной полимеризации с переносом атома получены блок-сополимеры линейной, звездообразной и гребнеобразной архитектуры на основе стирола, 2/4-винилпиридина, н- и трет-бутилакрилата с молекулярной более 60кДа и показателем полидисперсности ниже 1,4, которые ранее не были описаны в литературе
- 3) Показано, что для получения звездообразных блок-сополимеров необходимо использовать 2,2-бипиридин, поскольку использование алифатических аминосодержащих лигандов приводит к образованию побочных продуктов из-за взаимодействия с инициатором
- 4) Получены блок-сополимеры с ламеллярной структурой размером 14-36 нм, которые потенциально могут быть использованы в микроэлектронике и для создания материалов с заданной структурой

### Публикации

#### *Тезисы -7*

1. Вашуркин Д.В., Иванов Д.А., Avgeropoulos A. СИНТЕЗ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И РАЗЛИЧНЫХ (МЕТ)АКРИЛАТОВ Сборник тезисов докладов Международной молодежной научной конференции СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Сочи, 16-18 ноября 2022 г.

2. Максимович М.С., Вашуркин Д.В. Пирязев А.А. Синтез линейных блок-сополимеров на основе стирола и бутилакрилата Материалы XXX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» 10-21 апреля 2023

3. Вашуркин Д.В., Максимович М.С., Иванов Д.А. «СИНТЕЗ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА, ВИНИЛПИРИДИНА И РАЗЛИЧНЫХ (МЕТ)АКРИЛАТОВ», Материалы XIX Международной

научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы» 3-8 июля 2023

4. Вашуркин Д.В., Максимович М.С. СИНТЕЗ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И РАЗЛИЧНЫХ (МЕТ)АКРИЛАТОВ материалы докладов Международной молодежной научной конференции СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Сочи, 07-09 ноября 2023 г.

5. Максимович М.С., Вашуркин Д.В., Пирязев А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И БУТИЛАКРИЛАТА материалы докладов Международной молодежной научной конференции СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Сочи, 07-09 ноября 2023 г.

6. Максимович М.С., Вашуркин Д.В., Пирязев А.А. Синтез и изучение надмолекулярной структуры линейных блок-сополимеров на основе стирола, н- и трет-бутилакрилата Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2024» 12-26 апреля 2024г.

7. Вашуркин Д.В., Максимович М.С., Пирязев А.А. Синтез и исследование процессов самосборки в блок-сополимерных системах на основе стирола и н- и трет-бутилакрилата. ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КАРГИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Полимеры — 2024» 1-3 июля 2024 г.