

**Н. И. Черкашина, Д. В. Пушкарская, Д. А. Рыжих,  
Р. А. Любушкин**

## **ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ И СПИРТОВОЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС СУСПЕНЗИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА**

*Ключевые слова: метилметакрилат, суспензионная полимеризация, коллоидные частицы, мономер, инициатор, дисперсность системы.*

*В данной работе изучено воздействие химических свойств жидких сред на процесс суспензионной полимеризации метилметакрилата и размер образующихся коллоидных частиц под тепловым воздействием повышенных температур и физическим ускорением процесса. Процесс суспензионной полимеризации на основе метилметакрилата рассмотрен в водной среде (H<sub>2</sub>O) и в спиртовой среде, а именно, в этиловом спирте (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) при одинаковых параметрах: температуре нагрева раствора, давлении, влажности воздуха и температуре окружающей среды в лаборатории. Представлены результаты измерений дисперсности образованных коллоидных частиц в процессе полимеризации в каждой среде. Каждые 10 мин. из раствора отбиралась проба для сравнительного анализа. Размеры коллоидных частиц определяли с использованием прибора для анализа размера частиц Zetatrac компании Microtrac Inc. (Монтгомеривилле, штат Пенсильвания, США). Проведен сравнительный анализ показателей конверсии мономера в различных средах расчетным методом в разные временные отрезки эксперимента. Размер частиц в первые 10 мин. в водной среде составляет 0,121 мкм, что в 30 раз больше размера коллоидной частицы в спиртовой среде в то же время. По результатам проведенного исследования процесс конверсии мономера метилметакрилата проходит согласно трем периодам Харкинсона, в водной среде эффективность конверсии больше на 8 %, чем в среде с этиловым спиртом. Также в водной среде скорость процесса образования коллоидных частиц выше и молекулярная масса коллоидных частиц больше в любой временной промежуток. Процесс образования коллоидных частиц в спиртовой суспензии проходит более плавно. Резкое увеличение молекулярной массы наблюдается после 3,5 часов от начала эксперимента.*

**N. I. Cherkashina, D. V. Pushkarskaya, D. A. Ryzhikh,  
R. A. Lyubushkin**

## **INFLUENCE OF AQUEOUS AND ALCOHOL ENVIRONMENT ON THE PROCESS OF SUSPENSION POLYMERIZATION OF METHYL METHACRYLATE**

*Keywords: methyl methacrylate, suspension polymerization, colloidal particles, monomer, initiator, dispersibility of the system.*

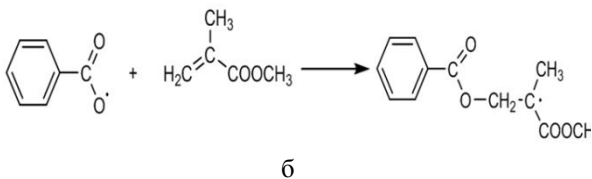
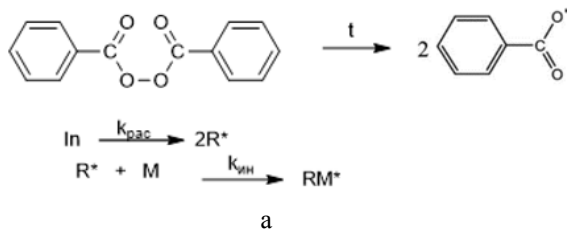
*In this work, the effect of the chemical properties of liquid media on the process of suspension polymerization of methyl methacrylate and the size of the resulting colloidal particles under the thermal effect of elevated temperatures and physical acceleration of the process are studied. The process of suspension polymerization based on methyl methacrylate is considered in an aqueous medium (H<sub>2</sub>O) and in an alcohol medium, namely, in ethyl alcohol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) under the same parameters: solution heating temperature, pressure, air humidity and ambient temperature in the laboratory. The results of measuring the dispersion of the formed colloidal particles during polymerization in each medium are presented. Every 10 min. a sample was taken from the solution for comparative analysis. The sizes of colloidal particles were determined using a Zetatrac particle size analyzer from Microtrac Inc. (Montgomeryville, Pennsylvania, USA). A comparative analysis of the monomer conversion rates in different media was carried out using the calculation method at different time intervals of the experiment. Particle size in the first 10 min. in an aqueous medium is 0.121 μm, which is 30 times larger than the size of a colloidal particle in an alcohol medium at the same time. According to the results of the study, the conversion process of methyl methacrylate monomer occurs according to three Harkinson periods, in an aqueous medium, the conversion efficiency is 8% higher than in a medium with ethyl alcohol. Also, in an aqueous medium, the rate of the process of colloidal particle formation is higher and the molecular weight of colloidal particles is higher at any time interval. The process of colloidal particle formation in an alcohol suspension occurs more smoothly. A sharp increase in molecular weight is observed after 3.5 hours from the beginning of the experiment.*

### **Введение**

Отрасль производства высокомолекулярных соединений на основе полиметилметакрилата (ПММА) стремительно развивается в области химической промышленности [1]. Изучение окислительно-восстановительных систем, инициирующих радикальную полимеризацию в различных средах, за счет невысокой энергии активации образования радикалов при умеренных температурах, в современном мире по-прежнему занимает важную часть в научных исследованиях [2]. Разработки ученых направлены на получение

устойчивых монодисперсных коллоидных частиц, с определенно упорядоченной структурой [3-7]. Наибольший интерес представляет изучение разветвленных полимеров на основании мультифункциональных метакрилатов с реакционными связями С=C. Такие полимеры обладают способностью снижать показатель вязкости всей композиционной системы в процессе суспензионной полимеризации. Процесс запускается с добавления мономера в жидкость, с образованием суспензии [8-10]. В суспензию добавляется инициатор, который способствует процессу химического инициирования, а именно, разложение

перекиси бензоила с дальнейшим присоединением к молекуле MMA образовавшегося свободного радикала (рис.1.). Главным преимуществом метода проведения свободнорадикальной суспензионной полимеризации является достижение высоких скоростей процесса и получение высокомолекулярного полимера за счет быстрого отделения распространяющихся цепей друг от друга. Свободный радикал образуется из растворимого инициатора, присоединяется к связи C=C и образует радикальную связь вида (R-CH<sub>2</sub>-СХУ·). Образовавшийся радикал может взаимодействовать с другими молекулами мономера, образуя в процессе длинные цепи до тех пор, пока не потеряется активный радикальный центр в результате объединения с другими цепями [11,12]. Процесс происходит стремительно с большим выделением тепла за счет низкой энергии активации. Вследствие короткого жизненного цикла радикалов далее следует обрыв цепи с гибелью активных радикальных центров [13].



**Рис. 1 – Схема разложения перекиси бензоила с присоединением свободного радикала (а), присоединение свободного радикала к молекуле MMA (б)**

**Fig. 1 – Scheme of decomposition benzoyl peroxide with free radical attachment (a), free radical attachment to the MMA molecule (b)**

Скорость первой реакции определяется по формуле (1) и (2):

$$V_{ин} = K_{ин} [I] \quad (1)$$

$$K_{ин} = 2k_{рас}f \quad (2)$$

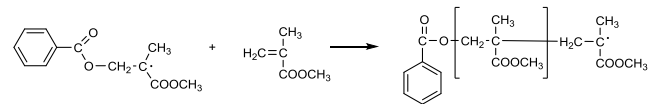
где  $k_{рас}$  – константа скорости распада инициатора;  $f$  – эффективность иницирования;  $[I]$  – концентрация инициатора;  $K_{ин}$  – константа скорости иницирования.

Далее идет рост цепи в радикальной полимеризации MMA, в котором последовательно присоединяется молекула мономера к активному центру (рис. 2).

Скорость роста цепи выражается формулой (3):

$$V_p = K_p [R^*][M] \quad (3)$$

где  $V_p$  – скорость роста цепи;  $k_p$  – константа скорости роста;  $[R^*]$  и  $[M]$  – концентрации активного центра и мономера соответственно.



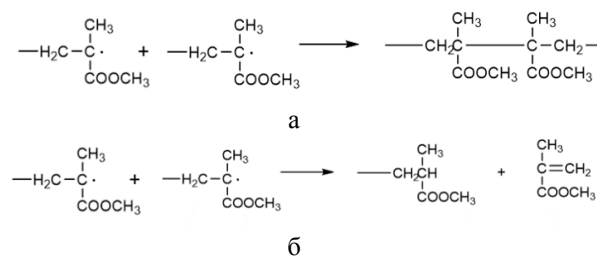
**Рис. 2 – Схема роста цепи радикальной полимеризации**

**Fig. 2 – Schematic of chain growth of radical polymerization**

Далее следует обрыв цепи. При радикальной полимеризации MMA возможны следующие виды обрыва цепи (рис. 3.):

– рекомбинация – соединение двух макрорадикалов между собой, при котором удваивается молекулярная масса;

– диспропорционирование – в процессе диспропорционирования молекулярная масса не изменяется.



**Рис. 3 - Схема обрыва цепи: рекомбинация (а), диспропорционирование (б)**

**Fig. 3 – Chain breakage scheme: recombination (a), disproportionation (b)**

Стадию обрыва можно выразить формулой (4), скорость реакции обрыва цепи (5):

$$R_n^* + R_m^* \xrightarrow{k_0} R_i - R_j \quad (4)$$

$$V_0 = K_0 [R_n^*]^2 \quad (5)$$

где  $K_0$  – константа скорости обрыва цепи;  $[R_n^*]$  – концентрации макрорадикалов.

Суспензионная полимеризация представляет собой процесс производства полимеров, при котором мономеры растворены в жидкой фазе, а полимеры образуются в виде частиц, которые не связаны с жидкой фазой. Это позволяет достичь ряда преимуществ перед другими методами свободнорадикальной полимеризации:

– равномерное распределение мономеров: в суспензионной полимеризации мономеры равномерно распределены по всей частице полимера, что позволяет получить полимеры с высокими физико-химическими свойствами;

– в результате суспензионной полимеризации остаточные мономеры практически отсутствуют, что обеспечивает высокую чистоту получаемых полимеров;

– суспензионная полимеризация позволяет получать полимеры с высокой производительностью, что снижает стоимость производства;

– упрощение технологического процесса: суспензионная полимеризация не требует использования дополнительных агентов, таких как

инициаторы или модификаторы, что упрощает технологический процесс;

- минимальное образование диффузионных трещин, что обеспечивает высокую прочность получаемых полимеров.

- суспензионная полимеризация позволяет получать полимеры с высокой плотностью, что обеспечивает высокие механические свойства.

- упрощение переработки: суспензионная полимеризация позволяет получать полимеры, которые легко поддаются переработке, что обеспечивает эффективность использования ресурсов;

- улучшение термостабильности: суспензионная полимеризация может улучшать термостабильность полимеров, поскольку мономеры диспергируются в жидкой фазе, что уменьшает возможность образования центров кристаллизации;

- суспензионная полимеризация позволяет получать полимеры с сочетанием свойств, которые не могут быть получены при других методах полимеризации, таких как полимеризация в растворе или в газовой фазе;

- суспензионная полимеризация позволяет легко модифицировать свойства полимеров, изменяя условия полимеризации, такие как температура, давление и концентрация мономеров;

- суспензионная полимеризация может использоваться для получения наночастиц полимеров;

- суспензионная полимеризация позволяет получать гидрофобные и гидрофильные полимеры, которые имеют важное значение в биотехнологии и медицине [14,15].

Данный способ проведения процесса полимеризации позволяет получать полимеры с уникальными свойствами и структурами.

Целью работы является изучение влияния водной и спиртовой среды на размер образующихся коллоидных частиц в процессе суспензионной полимеризации метилметакрилата при воздействии повышенных температур.

### Материалы и методы исследования

Основными составляющими процесса суспензионной полимеризации являются: компонент, представляющий собой в данном случае жидкую среду; раствор, содержащий мономер и для инициирования процесса необходим растворимый свободнорадикальный инициатор. Для проведения сравнительного анализа использовали две жидкие среды, воду (H<sub>2</sub>O) и этиловый спирт (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) х.ч., с плотностью 0,78 г/см<sup>3</sup> и температурой кипения 78,4 °С, в качестве мономера использовали метилметакрилат (C<sub>5</sub>O<sub>2</sub>H<sub>8</sub>) с плотностью 0,94 г/см<sup>3</sup> и температурой кипения 101 °С представляющий собой сложный эфир метилового спирта (CH<sub>4</sub>O) и метакриловой кислоты (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>), а в качестве инициатора используют наиболее распространенный, выгодный, органический пероксид – бензоилпероксид (C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>) с плотностью 1,334 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 106 °С, который наиболее эффективен в диапазоне

температур реакций 65 – 95 °С (таблица 1). Параметры проведения исследования, такие как, давление, температура окружающей среды в рабочем помещении, влажность воздуха были идентичными друг другу. Компоненты соединяли между собой, далее суспензию в колбе помещали на магнитную мешалку AMTAST PRO (г. Лейкленд, штат Флорида, США), процесс полимеризации ускоряли повышением температуры до 100 °С и увеличением скорости перемешивания раствора магнитной лопастной мешалкой до 600 об./мин. для равномерного перемешивания эмульсии. Этанол, содержащий несколько процентов воды, способен растворять низкомолекулярный полимер. Этиловый спирт является одним из экологически чистых, малотоксичных, доступных и дешевых проявителей ПММА в электронно-лучевой литографии [16].

Размеры коллоидных частиц определяли с использованием прибора для анализа размера частиц Zetatrac компании Microtrac Inc. (Монтгомеривилле, штат Пенсильвания, США).

**Таблица 1 – Компоненты для суспензионной полимеризации**

**Table 1 – Components for suspension polymerization**

Компонент	1 раствор	2 раствор
Жидкая фаза	Дистиллированная вода (H <sub>2</sub> O)	Этиловый спирт (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH)
Мас. %	1	1
Мономер	Метилметакрилат (C <sub>5</sub> O <sub>2</sub> H <sub>8</sub> )	
Мас. %	1	1
Инициатор	Бензоилпероксид (C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> )	
Мас. %	0,06	0,06

### Результаты и их обсуждение

Процесс полимеризации осуществляли в три этапа, определяется тремя интервалами. Первый интервал характеризуется периодом, когда начинаются образовываться зародыши частиц. Конверсия данного периода примерно от 0 до 5 %. Во втором интервале частицы растут, их состояние определяется как стабильное в дальнейшем процессе полимеризации. На втором этапе скорость процесса постоянная, а конверсия достигает 40%. В третьем интервале скорость процесса наибольшая, пока не израсходован мономер, далее наблюдается ее замедление [17]. Конверсия достигает критического значения в момент, когда система из жидкого и текучего состояния переходит в состояние с равновесным модулем упругости [18].

Конверсию в каждый момент времени рассчитывали по формуле (6):

$$X[t] = ([M_0] - [M])/[M_0] \cdot 100\%, \quad (6)$$

где [M<sub>0</sub>] и [M] мольная концентрация мономера в начальный момент и в момент времени t [19].

Результаты практических исследований степени конверсии мономера в разных жидкостях представлены таблице 2.

Таблица 2 – Показатель конверсии мономера

Table 2 – Monomer conversion rate

Время, мин.	Конверсия мономера в воде (H <sub>2</sub> O), %	Конверсия мономера в этиловом спирте (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH), %
0	0	0
30	4	1
60	5	2
90	25	21
120	30	27
150	60	56
180	65	64
210	73	69
240	82	76
270	84	79
300	90	82

В таблице 3 представлены результаты измерений дисперсности коллоидных частиц в процессе полимеризации. Каждые 10 мин. из раствора отбиралась проба для сравнительного анализа и проверялась на приборе Zetatrac.

Таблица 3 – Размер образовавшихся коллоидных частиц

Table 3 – Size of colloidal particles formed

Время, мин.	Размер частиц в воде (H <sub>2</sub> O), мкм	Размер частиц в этиловом спирте (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH), мкм
0	0	0
10	0,121	0,004
20	0,234	0,004
30	0,305	0,004
40	0,438	0,004
50	0,522	0,004
60	0,522	0,004
70	0,589	0,004
80	0,605	0,004
90	0,611	0,004
100	0,620	0,008
120	0,625	0,008
130	0,636	0,008
140	0,643	0,008
150	0,649	0,009
160	0,666	0,061
170	0,678	0,064
180	0,684	0,064
190	0,703	0,064
200	0,707	0,064
210	0,712	0,067
220	0,734	0,067
230	0,735	0,071
240	0,736	0,071
250	0,744	0,071
260	0,760	0,426
270	0,763	0,426
280	0,794	0,708
290	0,830	0,784
300	0,889	0,814

Размер микрочастиц увеличивается с ростом концентрации полимера, за счет объединения макромолекул в более крупные частицы.

## Заключение

Таким образом, в ходе исследования было изучено воздействие жидкой среды (воды и спирта) на процесс суспензионной полимеризации метилметакрилата, а именно показатель конверсии и размер образующихся коллоидных частиц в ходе химических реакций. По результатам сравнительного анализа показателей конверсии мономера установлено, что в водной среде показатель конверсии мономера незначительно (на 8 %) превышает показатель конверсии мономера в этиловом спирте, за счет наибольшего коэффициента диффузии в воде. Процесс происходит согласно всем трем интервалам Харкинсона. Резкое увеличение скорости реакции происходит в период времени 2,5 часа и планомерно прогрессирует до окончания эксперимента. Размер частиц в первые 10 мин. в водной среде составляет 0,121 мкм, что в 30 раз больше размера коллоидной частице в спиртовой среде в то же время. Размер частиц увеличивается с ростом концентрации полимера в растворе за счет дальнейшего объединения макромолекул в более крупные частицы. По окончании исследования разница в размерах частиц уже не такая значительная. Гидрофобные взаимодействия метильных групп спиртов с метильными группами полимера также уменьшают взаимодействия фрагментов макромолекул. Предполагается, что гидрофобные взаимодействия играют роль «смазки», уменьшая потенциальный барьер вращения и перемещения соседних фрагментов относительно друг друга. Для получения частиц с большей молекулярной массой предпочтительнее использовать метод суспензионной полимеризации в водной среде. Так как водная среда более полярна, чем спиртовая, и в воде образуются более сильные водородные связи с полимерными группами. Для более детальных исследований кинетических аспектов процесса или изменений параметров контроля предпочтительнее использовать суспензионную полимеризацию мономера в спиртовой эмульсии, так как процесс осуществляется более планомерно и резкий рост частиц наблюдается только на момент времени 260 минут.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № FZWN-2024-0001 с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

## Литература

- Б.А. Брыков, А. Г. Лопатин, Д. П. Вент, *Успехи в химии и химической технологии*, **11**, 23-25 (2019).
- Н. А. Джафарова, С. М. Аббасова, А. А. Джафарова, Р.Н. Шафиева, А.Ш. Алиева, М. Ф. Абасов, *Вестник Технологического университета*, **25**, 2. 10-13 (2022).
- А.И. Юраш, *Science Time*, **6**,66, 141-142 (2019).
- С. А. Бисанова, *Вестник магистратуры*, **12**,1, 10-12 (2017).
- Пат. Российская Федерация 2472832 С2 (2013).

6. Д. Р. Латыпов, А. В. Клинов, А. Р. Фазлыев, *Вестник Технологического университета*, **27**, 5, 72-76 (2024).
7. R.A. Lyubushkin, N.I. Cherkashina, D.V. Pushkarskaya, D.S. Matveenko, A.S. Shcherbakov, Y.S. Ryzhkova, *ChemEngineering*, **7**, 8. (2023).
8. Б. Б. Троицкий, А. А. Локтева, В. Н. Денисова, М.А. Новикова, А.Н. Конев, И.Л. Федюшкин, *Журнал прикладной химии*, **89**, 7, 942-946 (2016).
9. И. А. Новиков, Я. С. Выгодский, М. А. Ваниев, Т.В. Волкова, В.А. Лукасик, И.М. Гресь, *Высокомолекулярные соединения. Серия А*, **48**, 7, 1095-1100 (2006).
10. Н. М. Больбит, Е. А. Дубова, В. Р. Дуфлот, *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*, **52**, 7, 1180-1189 (2010).
11. А. Д. Усманова Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы научных исследований: теоретический и практический аспекты» (Волгоград, Россия, 12 марта, 2024). Стерлитамак: АМИ. Волгоград, 2024. С. 94-96.
12. И. А. Грицкова, С. В. Жаченков, С. М. Левачев, Н. И. Прокопов, *Пластические массы*, **6**, 3-11 (2011).
13. И. В. Григорьев, С. А. Мустафина, *Вестник Технологического университета*, **22**, 3, 10-16 (2019).
14. Ш. Р. Шарипов, Г. Н. Шарифов, Н. Абдуллаев, Х. М. Насимов, З. Нормуродов, Ш. Мирзаев, *Universum: химия и биология*, **3**, 81, 79-82 (2021).
15. А. А. Липин, А. В. Шибашов, А. Г. Липин, *Журнал прикладной химии*, **88**, 1, 103-108 (2015).
16. Б. Б. Троицкий, А. А. Локтева, Ю. Е. Беганцова, М. А. Новикова, А. Н. Конев, И.Л. Федюшкин, *Журнал прикладной химии*, **92**, 7, 875-880 (2019).
17. Д.В. Пушкарская, Д.А. Рыжих, Р.А.Любушкин, Н.И.Черкашина, О.А.Фролова VI Международная конференция по коллоидной химии и физико-химической механике (IC CCPM), посвященная 125-летию со дня рождения П.А. Ребиндера (Казань, Россия, Октябрь 23-26, 2023), ИОФХ им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, 2023, С. 176.
18. J.M. Monteiro, F. M. Cunningham, *Biomacromolecules*, **21**, 11, 4377-4378 (2020).
19. Ю.И. Нейн, О.С. Ельцов, М.Ф. Костерина, *Химия и технология высокомолекулярных соединений: учеб.-метод. пособ.* Изд-во Урал. ун-та, Екатеринбург, 2018, 74.
20. N. A. Jafarova, S. M. Abbasova, A. A. Jafarova, R. N. Shafieva, A. Sh. Alieva, M. F. Abasov, *Herald of Technological University*, **25**, 2, 10-13 (2022).
3. A. I. Yurash, *Science Time*, **6**, 66, 141-142 (2019).
4. S. A. Bisanova, *Bulletin of the Graduate School*, **12**, 1, 10-12 (2017).
5. Pat. Russian Federation 2472832 C2 (2013).
6. D. R. Latypov, A. V. Klinov, A. R. Fazlyev, *Herald of Technological University*, **27**, 5, 72-76 (2024).
7. R.A. Lyubushkin, N.I. Cherkashina, D.V. Pushkarskaya, D.S. Matveenko, A.S. Shcherbakov, Y.S. Ryzhkova, *ChemEngineering*, **7**, 8. (2023).
8. B. B. Troitsky, A. A. Lokteva, V. N. Denisova, M. A. Novikova, A. N. Konev, I. L. Fedyushkin, *Journal of Applied Chemistry*, **89**, 7, 942-946 (2016).
9. I.A. Novikov, J.S. Vygodsky, M.A. Vaniev, T.V. Volkova, V.A. Lukasik, I.M. Gres, *High molecular weight compounds. Series A*, **48**, 7, 1095-1100 (2006).
10. N. M. Bolbit, E. A. Dubova, V. R. Dufлот, *High molecular weight compounds. Series B*, **52**, 7, 1180-1189 (2010).
11. A. D. Usmanova, *International Scientific and Practical Conference "Actual problems of scientific research: theoretical and practical aspects"* (Volgograd, Russia, March 12, 2024). Sterlitamak: AMI. Volgograd, 2024. С. 94-96.
12. I. A. Gritskova, S. V. Zhachenkov, S. M. Levachev, N. I. Prokopov, *Plastic Masses*, **6**, 3-11 (2011).
13. I. V. Grigoriev, S. A. Mustafina, *Herald of Technological University*, **22**, 3, 10-16 (2019).
14. Sh. R. Sharipov, G. N. Sharifov, N. Abdullaev, H. M. Nasimov, Z. Normurodov, and Sh. Mirzaev, *Universum: chemistry and biology*, **3**, 81, 79-82 (2021).
15. A. A. Lipin, A. V. Shibashov, A. G. Lipin, *Journal of Applied Chemistry*, **88**, 1, 103-108 (2015).
16. B. B. Troitsky, A. A. Lokteva, Y. E. Begantsova, M. A. Novikova, A. N. Konev, I. L. Fedyushkin, *Journal of Applied Chemistry*, **92**, 7, 875-880 (2019).
17. D.V. Pushkarskaya, D.A. Ryzhikh, R.A. Lyubushkin, N.I. Cherkashina, O.A. Frolova, VI International Conference on Colloidal Chemistry and Physicochemical Mechanics (IC CCPM) dedicated to the 125th anniversary of the birth of P.A. Rebinder (Kazan, Russia, October 23-26, 2023), IOFC named after A.E. Arbuzov. A.E. Arbuzov - separate structural subdivision of FIC KazNTs RAS, Kazan, 2023, P. 176.
18. J. M. Monteiro, F. M. Cunningham, *Biomacromolecules*, **21**, 11, 4377-4378 (2020).
19. Y. I. Nein, O. S. Eltsov, M. F. Kosterina, *Chemistry and technology of high-molecular compounds : textbook* Izd. v. Ural. unta, Ekaterinburg, 2018, 74.

## References

1. В. А. Brykov, А. G. Lopatin, D. P. Vent, *Uspekhi v chemii i khimicheskoy tekhnologii*, **11**, 23-25 (2019).

© **Н. И. Черкашина** – д-р техн. наук, руководитель молодежной НИЛ «Разработка научно-технических основ создания полимерных систем из возобновляемого растительного сырья», ведущий научный сотрудник каф. Теоретической и прикладной химии (ТПХ), Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, Россия, natalipv13@mail.ru; **Д. В. Пушкарская** – асп. каф. ТПХ, БГТУ им. В.Г. Шухова, dashamenzhulina@mail.ru; **Д. А. Рыжих** – асп. каф. ТПХ, БГТУ им. В.Г. Шухова, sinebokd@mail.ru; **Р. А. Любушкин** – канд. хим. наук, доц. каф. ТПХ, БГТУ им. В.Г. Шухова, romanlyubushkin@yahoo.com

© **N. I. Cherkashina** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Head of the Youth Research Laboratory Development of Scientific and Technical Bases for Creation of Polymer Systems from Renewable Plant Raw Materials, Leading Researcher of the Department of Theoretical and Applied Chemistry (TAC), Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU), Belgorod, Russia, natalipv13@mail.ru; **D. V. Pushkarskaya** – PhD-student of the TAC department, BSTU, dashamenzhulina@mail.ru; **D. A. Ryzhikh** – PhD-student of the TAC department, BSTU, sinebokd@mail.ru; **R. A. Lyubushkin** – PhD (Chemical Sci.), Associate Professor of the TAC department, BSTU, romanlyubushkin@yahoo.com.