

STUDY OF RADICAL COPOLYMERIZATION REACTION OF UNSATURATED
POLYESTERS WITH ACRYLIC ACID

Kovaleva A.K.*, Burkeyeva G.K., Tazhbayev Ye.M., Muslimova D.M.

N-PLC Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan

E-mail: cherry-girl1899@mail.ru

Abstract. *Introduction.* One of the promising and inexpensive types of raw materials, taking into account the use of modern technologies for the production of sealing and adhesive materials, are unsaturated polyesters of various compositions. *The aim* of this work is to study the reaction of radical copolymerization of polyethylene(propylene)-glycolfumarate with acrylic acid in a dioxane solution at various molar ratios of the initial polymer-monomer mixture. *Methodology.* The composition of the copolymers was identified by HPLC spectroscopy by analyzing the mother liquors, the structure was confirmed by IR spectroscopy. The copolymerization kinetics was studied by the dilatometric method. The degree of swelling of the copolymers was determined by the gravimetric method, and their degree of unsaturation, by the bromid-bromate method. Radical copolymerization constants calculated by the Mayo-Lewis integral method. *The results obtained* indicate that for any composition of the initial polymer-monomer mixture, the composition of the copolymer is enriched with acrylic acid links, and with an increase in its content in the initial polymer-monomer mixture, the reaction rate increases significantly. An increase in the content of unsaturated polyester in the initial polymer-monomer mixture leads to a decrease in the ability of the copolymer to absorb moisture, which makes it possible to assume their use as bases in the production of sealing and adhesive materials. *Conclusion.* An analysis of the numerical values of the copolymerization constants showed a higher activity of acrylic acid in comparison with unsaturated polyesters, thereby confirming the previously put forward assumption about the relatively lower reactive ability of the latter.

Key words: unsaturated polyesters, radical copolymerization, kinetics, sealants, glue

<i>Kovaleva Anna</i>	<i>PhD, e-mail: cherry-girl1899@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9758-648X</i>
<i>Konstantinovna</i>	
<i>Burkeyeva Gulsym Kabayevna</i>	<i>PhD, e-mail: guls_b@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1993-7648</i>
<i>Tazhbayev Yerkeblan Muratovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Full Professor, e-mail: tazhbaev@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2043-6672</i>
<i>Muslimova Danagul Magazovna</i>	<i>2st year PhD student, e-mail: m.dana_777@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3041-7072</i>

Citation: Kovaleva A.K., Burkeyeva G.K., Tazhbayev Ye.M., Muslimova D.M. Study of radical copolymerization reaction of unsaturated polyesters with acrylic acid. *Chem. J. Kaz.*, 2022, 3(79), 130-140. DOI: <https://doi.org/10.51580/2022-3/2710-1185.86>

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ РАДИКАЛЬНОЙ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРОВ С АКРИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

Ковалева А.К., Буркеева Г.К., Тажбаев Е.М., Муслимова Д.М.

*НАО Карагандинский университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан
E-mail: cherry-girl1899@mail.ru*

Резюме: *Введение.* Одним из перспективных и недорогих видов сырья с учетом применения современных технологий получения герметизирующих и клеевых материалов являются ненасыщенные полиэферы различного состава. *Целью данной работы* является исследование реакции радикальной сополимеризации полиэтилен(пропилен)-гликольфумарата с акриловой кислотой в растворе диоксана при различных мольных соотношениях исходной полимер-мономерной смеси. *Методология:* состав сополимеров идентифицировали методом ВЭЖХ-спектроскопии путем анализа маточных растворов, структура подтверждена ИК-спектроскопией. Кинетика сополимеризации исследована dilatометрическим методом. Степень набухания сополимеров определена гравиметрическим методом, а их степень ненасыщенности – бромид-броматным методом. Константы радикальной сополимеризации рассчитаны интегральным методом Майо-Льюиса. *Полученные результаты* свидетельствуют о том, что при любом составе исходной полимер-мономерной смеси состав сополимера обогащается звеньями акриловой кислоты, а с увеличением ее содержания в исходной полимер-мономерной смеси скорость реакции существенно возрастает. Увеличение содержания ненасыщенного полиэфера в исходной полимер-мономерной смеси приводит к снижению способности сополимера к влагопоглощению, что дает возможность предположить их применение в качестве основ при получении герметизирующих и клеевых материалов. *Выводы:* путем анализа численных значений констант сополимеризации доказана более высокая активность акриловой кислоты в сравнении с ненасыщенными полиэферами, и тем самым подтверждено выдвинутое ранее предположение о сравнительно более низкой реакционной способности последних.

Ключевые слова: ненасыщенные полиэферы, радикальная сополимеризация, кинетика, герметик, клеи

<i>Ковалева Анна Константиновна</i>	<i>Доктор PhD.</i>
<i>Буркеева Гүлсым Кабаевна</i>	<i>Доктор PhD</i>
<i>Тажбаев Еркеблан Муратович</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Муслимова Данагуль Магазовна</i>	<i>Докторант PhD</i>

1. Введение

В настоящее время в связи с расширением области применения в строительстве герметизирующих соединений, способных в той или иной степени к водонабуханию, первоочередной задачей становится необходимость уделять дополнительное внимание к разработке и модификации состава композиций для их синтеза. Составы подобных материалов, которые могут найти применение не только в строительной индустрии, но и в других областях практической деятельности человека, ввиду специфических особенностей их применения и требований по их эксплуатации, постоянно совершенствуются, что позволяет не только улучшить их качество, но и снизить их себестоимость путем подбора новых композиций для их изготовления. Так, значительное внимание в настоящее

время уделяется разработкам, где в качестве исходных сореагентов при синтезе герметиков выступают доступные материалы относительно низкой стоимости, обладающие при этом комплексом практически ценных свойств, что позволяет, в свою очередь, решить основные задачи, предъявляемые к новым видам герметизирующих материалов – увеличение срока их эксплуатации и надежности. Так, перспективным материалом для получения герметиков становятся ненасыщенные полиэферы различного строения, обладающие хорошими диэлектрическими свойствами, устойчивостью к ультрафиолетовому (УФ) излучению и неизменностью оптических характеристик, стойкостью перед химическими веществами и агрессивными средами. Немаловажным является и их хорошая совместимость с наполнителями и способность вступления в реакции радикальной сополимеризации с виниловыми мономерами, в результате чего могут быть получены соединения с высокими показателями стойкости к механическому воздействию и механической нагрузке и адгезии [1, с.117].

Ранее были получены герметики на основе ненасыщенных полиэфиров различного строения [2], однако применение в качестве полимерной основы герметизирующих материалов сополимеров полиэтилен(пропилен-)гликольфумарата с акриловой кислотой ранее не было исследовано, что определяет новизну данного исследования.

2. Экспериментальная часть

В работе были использованы следующие реактивы: этиленгликоль, пропиленгликоль, фумаровая кислота, хлористый цинк («Реахим»), акриловая кислота (Aldrich), перекись бензоила (Aldrich). Все реактивы марки «ЧДА», применялись без дополнительной очистки.

Исходные ненасыщенные полиэферы (НП) – полиэтиленгликольфумарат (п-ЭГФ) и полипропиленгликольфумарат (п-ППФ) были получены реакцией поликонденсации соответствующих реагентов, взятых в соотношении 1.05:1 моль этилен(пропилен)гликоль : фумаровая кислота по стандартной методике [3] в присутствии катализатора – $AlCl_3$, взятого в количестве 2% от исходной реакционной массы. Температура реакции за счет введения катализатора была снижена до 423–433К. Реакция поликонденсации контролировалась посредством определения численного значения кислотного числа и косвенным методом – по количеству выделившейся воды в ходе реакции.

Реакцией радикальной сополимеризации вышеуказанных НП с акриловой кислотой (АК) были получены сополимеры различных мольных концентраций. Реакция радикальной сополимеризации осуществлялась в растворе диоксана в соотношении растворитель : полимер-мономерная

смесь 1:1 по массе, при температуре 333К в присутствии радикалообразующего инициатора – перекиси бензоила (ПБ) в течение 52 часов. Дилатометрическим методом была исследована кинетика радикальной сополимеризации.

Для очистки синтезированных сополимеров различного состава от остатков непрореагировавшей исходной полимер-мономерной смеси их промывали диоксаном, а полученный маточный раствор исследовали методом ВЭЖХ на хроматографе Agilent 1260 Infinity LC, что позволило установить фактический состав полученных соединений. После промывки диоксаномсополимеры были также промыты дистиллированной водой и перенесены в чашки Петри для высушивания в вакуумном шкафу до установления постоянной массы.

Идентификация сополимеров была осуществлена методом ИК-спектроскопии на спектрофотометре «ФСМ 1201» в области 450–4000 см⁻¹. Интегральным методом Майо-Льюиса [4] были рассчитаны константы и параметры реакции сополимеризации п-ЭГФ и п-ПГФ с АК.

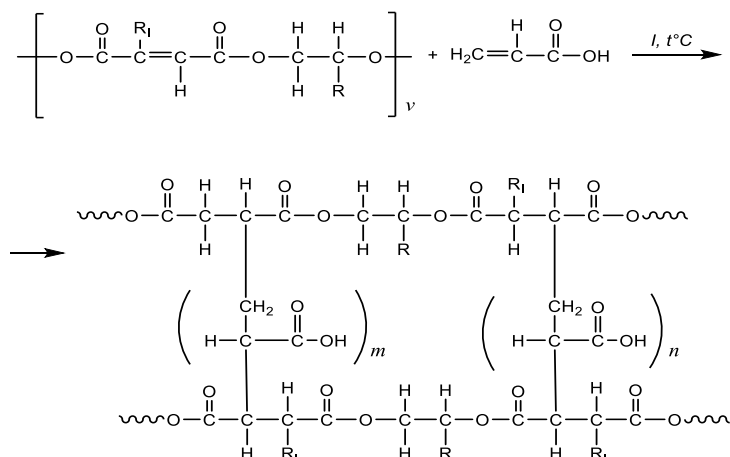
3. Результаты и обсуждение

Полученные полиэфиры п-ЭГФ и п-ПГФ представляли собой высокомолекулярные соединения медоподобной консистенции матового молочно-белого и светло-желтого цвета, обладающие относительно низкой температурой размягчения, хорошо растворимые в хлороформе и диоксане и нерастворимые в воде.

Молекулярная масса п-ЭГФ составила ~2500 Da, в то время как для п-ПГФ данный показатель не превышает ~1488 Da, что дает возможность, согласно [5, с.18] утверждать, что образующиеся соединения являются полимерами. Численные значения молекулярных масс синтезированных нами полиэфиров, определенные методом светорассеяния, хорошо коррелируются со значениями, вычисленными косвенными методами – путем определения кислотного числа и измерения объема выделившейся воды в ходе поликонденсации, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Структура синтезированных нами НП была идентифицирована посредством ИК-спектроскопии. На ИК-спектрах присутствуют характерные полосы поглощения в интервале 1570–1590 см⁻¹, соответствующие ненасыщенным связям fumarатных групп.

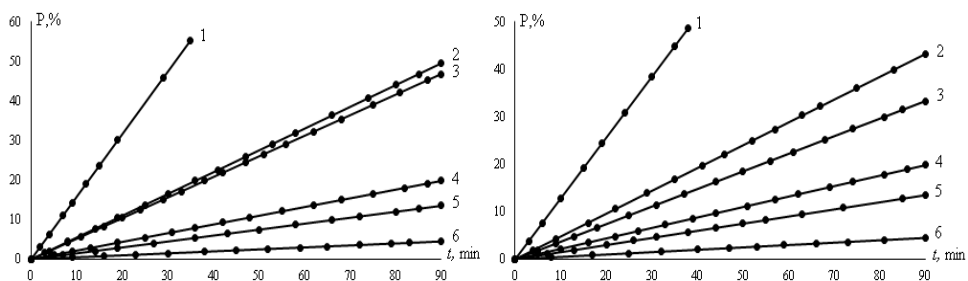
Далее реакцией радикальной сополимеризации были получены сетчатые сополимеры вышеуказанных НП с АК. Данный процесс схематично представлен на рисунке 1:



R_1 – радикал инициатора, $\text{R} = \text{H}, \text{CH}_3$ (группы ненасыщенного полиэфира).

Рисунок 1 – Схема синтеза сополимеров п-ЭГФ–АК и п-ПГФ–АК.

Далее, на рисунках 2 (а,б) представлены кинетические кривые сополимеризации вышеуказанных НП с АК, полученные дилатометрическим методом [6].



а – п-ЭГФ–АК: 1 – 4.18:95.82; 2 – 16.31:83.69; 3 – 30.42:69.58; 4 – 58.76:41.24; 5 – 75.28:24.72; 6 – 94.01:5.99 мол. %

б – п-ПГФ–АК: 1 – 3.86:96.14; 2 – 15.96:84.04; 3 – 31.28:68.72; 4 – 62.03:37.97; 5 – 77.52:22.48; 6 – 94.12:5.88 мол. %

Рисунок 2 – Кинетические кривые сополимеризации п-ЭГФ и п-ПГФ с акриловой кислотой

Анализ полученных кинетических кривых показал, что скорость реакции напрямую зависит от состава исходной полимер-мономерной смеси – исходного раствора полимера (п-ЭГФ или п-ПГФ) и мономера (АК) в диоксане. В частности, с увеличением содержания в исходной смеси АК возрастает и скорость реакции (рисунок 2а,б), численные значения которой представлены ниже в таблице 1. Объяснением данному обстоятельству является представление о большей реакционной способности АК в сравнении с вышеуказанными ненасыщенными полиэфирами [7, с.105-107].

Стоит отметить, более низкую скорость реакции с участием п-ЭГФ в отличии от п-ПГФ. Объяснением данному обстоятельству может служить, представление о строении п-ПГФ, который был синтезирован на основе фумаровой кислоты и пропиленгликоля, что указывает на большую разветвленность молекулы гликоля, благодаря чему возникают дополнительные стерические трудности в процессе сополимеризации с АК.

Идентификация сополимеров также была осуществлена методом ИК-спектроскопии. Так, на ИК-спектре сополимера п-ПГФ присутствуют характерные полосы, проявляемые в интервале $1570\text{--}1590\text{ см}^{-1}$, что определяет наличие некоторого количества непрореагировавших ненасыщенных двойных связей, характеризующих вхождение в состав сополимера звеньев НП. Анализ численного значения площади пика данного интервала указывает на его сокращение в 2–3.5 раза в сравнении с соответствующим численным показателем площади указанного пика на ИК-спектре непосредственно самого НП, что дает возможность утверждать об уменьшении числа ненасыщенных двойных связей в составе п-ПГФ в результате протекания реакции сополимеризации с АК. Аналогичные данные были получены в результате сравнения площадей пиков ИК-спектров для рассматриваемой нами бинарной системы п-ЭГФ с АК. Также образование сополимера п-ПГФ–АК подтверждается присутствием на ИК-спектрах данного сополимера областей поглощения в интервале $650\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, характерных для групп --COOH .

Далее, состав двухкомпонентных систем НП–АК, синтезированных при различных мольных долях сомономеров, определенный посредством ВЭЖХ-анализа маточных растворов по остаточному принципу, приведен в таблице 1 [8]. При этом параллельное определение состава синтезированных нами сополимеров методом потенциометрии дало результаты, которые хорошо коррелируются с полученными посредством ВЭЖХ-анализа данными, что может служить подтверждением их достоверности [9].

Таблица 1 – Зависимость состава сополимеров от состава исходной смеси при сополимеризации НП (п-ЭГФ, п-ПГФ) (M_1) с АК (M_2), $[I]=8\text{ моль/м}^3$, $T = 333\text{ К}$

Исходное соотношение мономеров, мол.%		Состав сополимера, мол.%		$\alpha, \%$	Скорость реакции v , $10^{-3}\text{ моль/м}^3\cdot\text{с}$	Выход, %	Степень ненасыщенности
M_1	M_2	m_1	m_2				
п-ЭГФ–АК							
5.09	94.91	4.18	95.82	121.3	4.78	81.9	58.5
20.08	79.92	16.31	83.69	95.8	4.49	80.1	62.6
35.07	64.93	30.42	69.58	69.1	4.35	78.5	64.1
65.01	34.99	58.76	41.24	48.2	1.78	76.9	69.9

79.94	20.06	75.28	24.72	32.9	1.62	76.1	73.5
94.96	5.04	94.01	5.99	8.8	1.53	74.2	79.4
п-ПГФ-АК							
4.98	95.02	3.86	96.14	124.6	4.43	90.5	61.1
20.12	79.88	15.96	84.04	92.3	4.26	78.4	64.1
35.96	64.04	31.28	68.72	68.5	2.96	76.1	65.8
65.06	35.94	62.03	37.97	47.1	2.17	71.2	71.4
79.94	20.06	77.52	22.48	42.1	1.97	67.8	74.8
95.05	4.95	94.12	5.88	10.7	1.66	64.4	81.1

Анализ полученных данных указывает на то, что состав синтезированных сополимеров при любых соотношениях исходной полимер-мономерной смеси несколько обогащен звеньями АК, что указывает на ее более высокую реакционную способность в сравнении с НП [7, с.107]. Выход полученных сополимеров во всех рассматриваемых случаях антибатоен его степени ненасыщенности, определенной бромид-броматным методом [10]. Объяснением данному обстоятельству является недостаточность концентрации АК (с учетом разницы в значениях молекулярных масс сореагентов) для протекания реакций разветвления и сшивки, что способствует увеличению количества непрореагировавших fumarатных групп [10, с.15, с.22-24].

Стоит также отметить относительно невысокую степени влагосорбционную емкость полученных сетчатых сополимеров в результате значительной частоты полимерной сетки, что, однако, позволяет надеяться на возможность включения наполнителя при получении на их основе герметиков и клеев.

Далее в таблице 2 приведены константы сополимеризации НП с АК различного состава [6, с. 105-106], рассчитанные интегральным методом Майо-Льюиса [4].

Таблица 2 – Константы и параметры радикальной сополимеризации НП-АК

M ₁	M ₂	r ₁	r ₂	r ₁ ·r ₂	1/r ₁	1/r ₂
п-ЭГФ	АК	0.84	1.18	0.99	1.19	0.85
п-ПГФ	АК	0.82	1.21	0.99	1.22	0.83

Анализ данных, представленный в таблице 2 указывает на то, что в обоих рассматриваемых случаях константа сополимеризации r₂, определяющая активность АК по отношению к НП, превышает единицу, что свидетельствует о преимущественном протекании реакций присоединения к радикалу на основе АК «собственного» радикала или мономера. Данное

обстоятельство также является прямым подтверждением протекания частичной гомополимеризации при высоких содержаниях АК в составе сополимера [11, с. 35]. Относительно константы сополимеризации r_1 , определяющей относительную активность НП, следует отметить, что в обоих рассматриваемых в данной работе бинарных системах она не превышает единицы, что позволяет сделать вывод о проявлении большей активности радикала на основе НП в отношении «чужого» мономера или радикала. Данное обстоятельство подтверждает образование чередующихся или блочных структур в процессе сополимеризации. Стоит отметить, что ожидаемое стремление константы r_1 к нулю не оправдалось ввиду неспособности fumarатных групп к гомополимеризации: напротив, ее значение приближается к единице, что может быть объяснено участие fumarатных групп в реакциях обрыва [12].

Произведения констант сополимеризации ($r_1 \cdot r_2$) для всех рассматриваемых нами бинарных систем близки к единице, что указывает на возможность образования структур со свободным распределением звеньев [13].

Таким образом, можно отметить, что на химические свойства полученных нами сополимеров на основе п-ЭГФ и п-ПГФ с АК существенное влияние оказывает не только природа ненасыщенного полиэфира, но и его количественное содержание в составе исходной полимер-мономерной смеси, что дает возможность путем вариации составом управлять проявляемыми свойствами конечного сополимера.

4. Заключение

Так, радикальной сополимеризацией в растворе были получены сополимеры п-ЭГФ и п-ПГФ с АК. Исследованы кинетика процесса, определены фактический состав сополимеров, а также их химические свойства.

Установлено, что путем вариации не только выбором сореагента (ненасыщенного полиэфира), но и непосредственно его содержанием в исходной полимер-мономерной смеси можно управлять свойства синтезированных сополимеров, в частности, частотой полимерной сетки, которая оказывает непосредственное влияние на проявление сополимером адгезионных свойств – последнее может сыграть главную роль при возможности применения в дальнейшем сополимеров п-ЭГФ и п-ПГФ с АК в качестве основы герметизирующих материалов.

Финансирование. Данная работа выполнена по программе РК №BR10965249 «Разработка новых герметиков и клеев на основе ненасыщенных полиэфирных смол для нужд строительной и оборонных отраслей» в рамках программно-целевого финансирования научных исследований на 2021–2023 годы, осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки.

Конфликт интересов: Конфликт интересов между авторами отсутствует.

АКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫМЕН ҚАНЫҚПАҒАН ПОЛИЭФИРЛЕРДІҢ РАДИКАЛДЫ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ РЕАКЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Ковалева А.К., Буркеева Г.К., Тажбаев Е.М., Муслимова Д.М.

КЕАҚ Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

E-mail: cherry-girl1899@mail.ru

Түйіндемe. *Kіріспе.* Тығыздағыш және жабысқақ материалдарды алудың заманауи технологияларын қолдануды ескере отырып, шикізаттың перспективалы және арзан түрлерінің бірі әртүрлі құрамдағы қанықпаған полиэфирлер болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты бастапқы полимер-мономер қоспасының әр түрлі моль коэффициенттерінде диоксан ерітіндісінде акрил қышқылымен полиэтилен(пропилен-) гликольфумараттың радикалды сополимеризация реакциясын зерттеу болып табылады. *Қолданылған методология:* сополимерлердің құрамын аналық ерітінділердегі ЖЭСХ-спектроскопия әдісі арқылы анықталды және құрылымы ИҚ спектроскопиясымен расталды. Сополимеризация кинетикасы дилатометриялық әдіспен зерттелген. Сополимерлердің ісіну дәрежесі гравиметриялық әдіспен, ал олардың қанықпау дәрежесі бромид – бромат әдісімен анықталады. Майо-Льюистің интегралды әдісімен есептелген радикалды сополимеризация константалары анықталды. *Алынған нәтижелер:* бастапқы полимер-мономер қоспасының кез-келген құрамымен сополимердің құрамы акрил қышқылының сілтемелерімен байытылатындығы және оның бастапқы полимер-мономер қоспасындағы құрамының жоғарылауымен реакция жылдамдығы едәуір артатындығы анықталды. Полимер-мономерлі қоспадағы қанықпаған полиэфир құрамының жоғарылауы сополимердің ылғал сіңіру қабілетінің төмендеуіне әкелетіні анықталды, бұл оларды герметикалық және жабысқақ материалдарды алу кезінде негіз ретінде қолдануға мүмкіндік береді. *Қорытынды:* Сополимеризация тұрақтыларының сандық мәндерін талдау қанықпаған полиэфирмен салыстырғанда акрил қышқылының жоғары белсенділігін көрсетті, осылайша соңғысының салыстырмалы түрде төмен реактивтілігі туралы бұрын ұсынылған болжамды дәлелдейді.

Түйін сөздер: қанықпаған полиэфирлер, радикалды сополимеризация, кинетика, герметик, желімдер.

Ковалева Анна Константиновна	Доктор PhD
Буркеева Гульсым Кабаевна	Доктор PhD
Тажбаев Еркеблан Муратович	Химия ғылымдарының докторы, профессор
Муслимова Данагүл Мағазқызы	Докторант PhD

Список литературы

1. Воробьева Г.Я. *Химическая стойкость полимерных материалов*. Москва, Химия, **1981**, 296. <https://www.twirpx.com/file/260132/>
2. Петрова А.П., Донской А.А., Чалых А.Е., Щербина А.А. *Клеящие материалы. Герметики: справочник*. Санкт-Петербург: Профессионал, **2008**, 589.
3. Патент РК 31052. *Способ получения ненасыщенных полиэфирных смол на основе пропиленгликоля, фталевого ангидрида и fumarовой кислоты*. Буркеев М.Ж., Ковалева А.К., Тажбаев Е.М., Жакупбекова Э.Ж., Жумағалиева Т.С., Кажмуратова А.Т., Копбосынова А.А., Хамитова Т.О., Ибраева Л.Т., Жортарова Е.А., Буркеева Г.К., Сарсенбекова А.Ж. **2016**. <https://kzpatents.com/5-ip31052-sposob-polucheniya-nenasasyshennyh-poliefirnyh-smol-na-osnove-propilenglikolya-ftalevogo-angidrida-i-fumarovoyj-kisloty.html>
4. Mayo F.R., Lewis F.M. Copolymerization. I. A Basis for Comparing the Behavior of Monomers in Copolymerization; The Copolymerization of Styrene and Methyl Methacrylate. *J. Amer. Chem. Soc.*, **1944**, 66(9), 1594-1601. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01237a052>
5. Бениг Г.В. *Ненасыщенные полиэфирсы*. Москва, Химия, **1968**, 254. <https://www.twirpx.com/file/228273/>

6. Кабанова В.А. *Практикум по высокомолекулярным соединениям*. Москва, Химия, **1985**, 224.
7. Буркеев М.Ж., Тажбаев Е.М., Ковалева А.К., Копбосынова А.А., Омашева А.В. Исследование реакции радикальной сополимеризации полипропиленгликольmaleинатфталата с акриловой кислотой. *Хим. Журн. Каз.*, **2014**, 4(45), 104-111.
8. D.Brown, A.Floyd, M.Sainsbury. *Spectroscopy of organic matters*. 2nded. Oxford, Oxford Univ.Press, 1984, 312. (Russ. ed.: Браун Д., Флойд А., Сейнзбери М. *Спектроскопия органических веществ*. Москва, Мир, **1992**, 300) <http://chemteq.ru/library/analytical/0018.html>
9. Илларионова Е.А., Сыроватский И.П. *Высокоэффективная жидкостная хроматография. Теоретические основы. Практическое применение метода: учеб. пос.* Иркутск, ИГМУ, **2013**, 84. https://www.ismu.baikal.ru/src/downloads/8a2f22de_vysokoef_zhid_hromatografiya._teoreticheskie_osnovy_metoda.pdf
10. Михайлова И.В., Кузьмичева Н.А., Карманова Д.С. *Методы окислительно-восстановительного титрования (броматометрия, йодхлорметрия) в анализе лекарственных средств: учеб. пос.* Оренбург, ОрГМУ, **2015**, 40.
11. Burkeev M.Zh., Kudaibergen G.K., Tazhbayev Ye.M., Burkeyeva G.K., Sarsenbekova A.Zh., Hranicek J., Yesentayeva N.A., Bolatbay A.N., Aukadiyeva S.B. Constants and parameters of radical copolymerization of poly(propylene glycol fumarate) with acrylic acid. *Bulletin of University of Karaganda. Series «Chemistry»*, **2019**, 1(93), 32-37. DOI: 10.31489/2019Ch1/25-31
12. Mayo F., Lewis F., Walling C. The Relation Between Structure and reactivity of monomers in copolymerization. *J. Amer. Chem. Soc.*, **1948**, 70(4), 1529-1533.
13. Буркеев М.Ж., Тажбаев Е.М., Сарсенбекова А.Ж. *Полигликольmaleинаты в реакциях радикальной сополимеризации*. Саарбрюккен, LAP Lambert Academic Publishing, **2017**, 120.

References

1. Vorob`eva G.Ya. *Khimicheskayastoykost` polimernyhmaterialov* [Chemical resistance of polymeric materials]. Moscow, Chemistry, **1981**, 296. (In Russ.) <https://www.twirpx.com/file/260132/>
2. Petrova A.P., Donskoy A.A., Chalyih A.E., Scherbina A.A. *Kleyaschiematerialy. Germetiki: spravochnik* [Adhesive materials. Sealants: reference book]. Sankt-Peterburg, Professional, **2008**, 589. (In Russ.)
3. Pat. 31052 RK. *Sposob polucheniya nenasyschennyh poliefirnyh smol na osnove propilenglicolya, ftalevogo ангидрида I fumarovoj kisloty* [Method for producing unsaturated polyester resins based on propylene glycol, phthalic anhydride and fumaric acid]. Burkeyev M.Zh., Kovaleva A.K. Tazhbayev Ye.M., Zhakupbekova E.Zh., Zhumagalieva T.S., Kazhmuratova A.T., Kopbosynova A.A., Khamitova T.O., Ibraeva L.T., Zhortarova E.A., Burkeyeva G.K., Sarsenbekova A.Zh. **2016**. (In Russ.). <https://kzpatents.com/5-ip31052-sposob-polucheniya-nenasyschennyh-poliefirnyh-smol-na-osnove-propilenglicolya-ftalevogo-angidrida-i-fumarovoj-kisloty.html>
4. Mayo F.R., Lewis F.M. Copolymerization. I. A Basis for Comparing the Behavior of Monomers in Copolymerization; The Copolymerization of Styrene and Methyl Methacrylate. *J. Amer. Chem. Soc.*, **1944**, 66(9), 1594-1601. <https://doi.org/10.1021/ja01237a052>
5. Benig G.V. *Nenasyschennye poliefiry* [Unsaturated polyesters]. Moscow, Chemistry, **1968**, 254. <https://www.twirpx.com/file/228273/>
6. Kabanova V.A. *Praktikum po vysokomolekulyarnym soedineniyam* [Practical work on macromolecular compounds]. Moscow, Chemistry, **1985**, 224. (In Russ.)
7. Burkeyev M.Zh., Tazhbayev Ye.M., Kovaleva A.K., Kopbosynova A.A., Omashева A.V. Issledovanie reakcii radikal'noj sopolimerizacii polipropilenglikol' maleinatfталата s акриловой кислотой [Investigation of the reaction of radical copolymerization of polypropylene glycol maleate phthalate with acrylic acid. *Chem. J. Kaz.*], **2014**, 4(45), 104-111. (In Russ.)
8. D. Brown, A.Floyd, M.Sainsbury. *Spectroscopy of organic matters*. 2nded. Oxford, Oxford Univ.Press, 1984. 312 p. (Russ. ed.: Braun D., Floid A., Seinzberі M. *Spektroskopiya organicheskikh veschestv*. Moscow, Mir, **1992**, 300). (In Russ.) <http://chemteq.ru/library/analytical/0018.html>
9. Illarionova E.A., Syrovatskii I.P. *Vysokoeffektivnaya zhidkostnaya hromatografiya. Teoreticheskie osnovy. Prakticheskoe primeneniye metoda: ycheb.pos.* [High performance liquid chromatography. Theoretical basis. Practical application of the method: tutorial]. Irkutsk, IMGU, **2013**, 84. (In Russ.)

https://www.ismu.baikal.ru/src/downloads/8a2f22de_vysokoef_zhid_hromatografiya_teoreticheskie_osnovy_metoda.pdf

10. Mikhailova I.V., Kuz'micheva N.A., Karmanova D.S. *Metody oksiditel'no-vosstanovitel'nogo titrovaniya (bromometriya, iodkhlormetriya) v analize lekarstvennyh sredstv: ucheb.pos.* [Methods of redox titration (bromometry, iodine chlormetry) in the analysis of drugs: tutorial]. Orenburg, OrGMU, **2015**, 40. (In Russ.).

11. Burkeev M.Zh., Kudaibergen G.K., Tazhbayev Ye.M., Burkeyeva G.K., Sarsenbekova A.Zh., Hranicek J., Yesentayeva N.A., Bolatbay A.N., Aukadieva S.B. Constants and parameters of radical copolymerization of poly(propylene glycol fumarate) with acrylic acid. *Bulletin of University of Karaganda. Series «Chemistry»*, **2019**, 1(93), 32-37. DOI: 10.31489/2019Ch1/25-31

12. Mayo F., Lewis F., Walling C. The Relation Between Structure and reactivity of monomers in copolymerization. *J. Amer. Chem. Soc.*, **1948**, 70(4), 1529-1533.

13. Burkeyev M.Zh., Tazhbayev Ye.M., Sarsenbekova A.Zh. *Polyglycol'maleinaty v reakciyah radikal'noj sopolimerizacii* [Polyglycol maleates in radical copolymerization reactions]. Saarbrücken, LAP Lambert Academic Publishing, **2017**, 120. (In Russ.).