

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERINGУДК 678.745.2 : 665.947.2
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-3-294-301>Поступила в редакцию 29.03.2022
Received 29.03.2022**Я. В. Боркина, В. Л. Флейшер, Ж. С. Шашок***Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь***ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОЛИАМИНОАМИДОВ
КАНИФОЛЬНО-МАЛЕИНОВЫМИ АДДУКТАМИ**

Аннотация. Рассмотрены особенности процесса химического модифицирования полиаминоамидов на основе адипиновой кислоты и диэтилентриамин канифольно-малеиновыми аддуктами, отличающимися содержанием малеопимаровой кислоты (8,55, 16,46 и 31,12 мас.%). Модифицирование полиаминоамидов канифольно-малеиновыми аддуктами в количестве, равном количеству вторичных аминогрупп в повторяющемся звене полимера, осуществляли в расплаве при температуре 160–180 °С в течение 3 ч при непрерывном перемешивании. Протекание процесса контролировали по изменению кислотного и аминного чисел реакционной массы. Наиболее интенсивно модифицирование полиаминоамидов канифольно-малеиновыми аддуктами с различным содержанием малеопимаровой кислоты протекает в течение часа. Установлено, что в наибольшей степени с полиаминоамидами реагирует канифольно-малеиновый аддукт с содержанием малеопимаровой кислоты 16,46 мас.%, при этом степень модифицирования полимера достигает 57,39 %. Структуру синтезированных продуктов изучали методом ИК-спектроскопии. Изученные физико-химические свойства (растворимость, температура размягчения, вязкость растворов, кислотное и аминное числа и др.) полученных продуктов свидетельствуют, что продукты реакций представляют собой сложные смеси, состоящие из химически модифицированных полиаминоамидов, N-замещенных иминов малеопимаровой кислоты и непрореагировавших канифольно-малеиновых аддуктов (свободные смоляные и малеопимаровая кислоты).

Ключевые слова: адипиновая кислота, диэтилентриамин, полиаминоамиды, канифольно-малеиновый аддукт, малеопимаровая кислота, модифицирование

Для цитирования. Боркина, Я. В. Особенности модифицирования полиаминоамидов канифольно-малеиновыми аддуктами / Я. В. Боркина, В. Л. Флейшер, Ж. С. Шашок // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 3. – С. 294–301. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-3-294-301>

Ya. V. Borkina, V. L. Fleisher, Zh. S. Shashok*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus***FEATURES OF MODIFICATION OF POLYAMINOAMIDES WITH ROSIN-MALEIC ADDUCTS**

Abstract. The features of the process of chemical modification of polyaminoamides based on adipic acid and diethylenetriamine with rosin-maleic adducts differing in the content of maleopimaric acid (8.55; 16.46 and 31.12 % wt.) are considered. Modification of polyaminoamides with rosin-maleic adducts in the amount equal to the number of secondary amino groups in the repeating unit of the polymer was carried out in the melt at temperature 160–180 °C for 3 h under continuous stirring. The process was controlled by monitoring the change in the acid and amine numbers of the reaction mass. The most intensive modification of polyaminoamides by rosin-maleic adducts with different content of maleopimaric acid occurs within 1 h. It has been established that the rosin-maleic adduct with the 16.46 % wt. content of maleopimaric acid reacts with polyaminoamides and the degree of polymer modification reaches 57.39 %. The structure of the synthesized products was studied by IR-spectroscopy. The studied physicochemical properties (solubility, softening point, viscosity of solutions, acid and amine numbers, etc.) of the obtained products indicate that the reaction products are complex mixtures that consist of chemically modified polyaminoamides, N-substituted maleopimaric acid imides and unreacted rosin-maleic adducts (free resin and maleopimaric acids).

Keywords: adipic acid, diethylenetriamine, polyaminoamides, rosin-maleic adduct, maleopimaric acid, modification

For citation. Borkina Ya. V., Fleisher V. L., Shashok Zh. S. Features of modification of polyaminoamides with rosin-maleic adducts. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 3, pp. 294–301 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-3-294-301>

Введение. Канифоль представляет собой аморфную смесь смоляных кислот родственного строения общей формулой $C_{19}H_{29}COOH$ (до 98 %), их производных и небольших количеств жирных кислот и неомыляемых веществ. Благодаря своим физико-химическим свойствам канифоль применяют в лакокрасочной промышленности [1], горном деле [2], электротехнической промышленности [3], полиграфии¹, строительстве [4] и др. Химическое модифицирование канифоли направлено на устранение ее недостатков (склонность к кристаллизации, легкая окисляемость кислородом воздуха, хрупкость, низкая температура размягчения и др.), что расширяет области ее применения.

Одно из перспективных направлений использования канифоли – создание на ее основе полимерных соединений [5, 6]. Отмечено, что полимерные материалы на основе смоляных кислот канифоли и продуктов ее модифицирования (малео- и фумаропимаровые аддукты и эфиры канифоли) находят применение в производстве продуктов различного функционального назначения: смол, поверхностно-активных веществ, лекарственных препаратов, материалов для биомедицинского назначения, эластомеров, покрытий, адгезивов и т. д. Получение полимеров на основе смоляных кислот канифоли осуществляют в расплаве при температурах более 150 °С или растворе. Следует отметить, что среди них основное количество полимеров синтезировано с использованием азотсодержащих производных смоляных кислот канифоли и их аддуктов. Реакцию полимеризации ведут в расплаве при температурах около 200 °С [7, 8].

Общеизвестно [9–11], что функциональные группы полимеров способны вступать в химические реакции с низкомолекулярными соединениями, что позволяет изменять их свойства и области применения. Химические превращения полимеров имеют свои особенности: длительность, неполноту реагирования, образование структурно неоднородных продуктов, избирательность (реакция быстро протекает в более доступных для частиц низкомолекулярного реагента областях полимера) и др. Основным отличием реакций высокомолекулярных веществ от реакций низкомолекулярных соединений являются условия их проведения, обусловленные высокой вязкостью полимеров в расплавах и растворах.

Для модифицирования полимеров интерес представляет использование смоляных кислот для улучшения их физических, механических и функциональных свойств. Модифицирование осуществляют двумя основными способами: в расплаве при температуре 150–200 °С в течение 1–4 ч; в растворе при температуре не выше 100 °С в присутствии различных каталитических систем в течение 2–24 ч [5, 6, 12, 13].

Полиаминоамиды на основе адипиновой кислоты и диэтилентриаминa нашли применение в качестве основы влагопрочных и упрочняющих веществ для бумаги и картона² и смол³ для очистки воды [14, 15]. Наличие в структуре полиаминоамидов реакционноспособных функциональных групп открывает возможности для их модифицирования карбоновыми кислотами, их галогенангидридами и ангидридами.

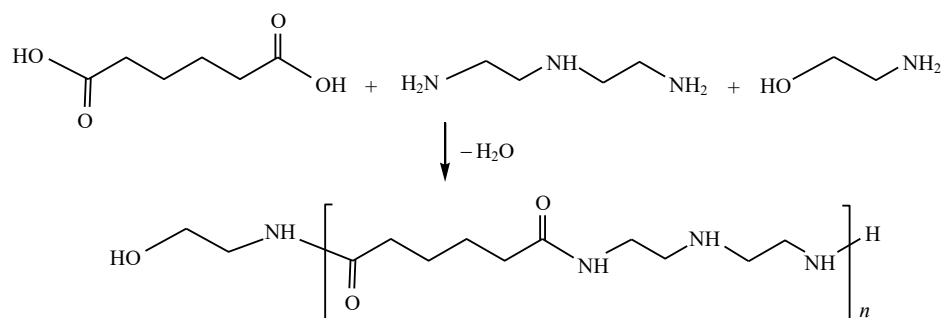
Цель настоящей работы – изучить особенности модифицирования полиаминоамидов на основе адипиновой кислоты и диэтилентриаминa канифольно-малеиновыми аддуктами (КМА), отличающимися содержанием малеопимаровой кислоты.

Методы исследований. Синтез КМА осуществляли конденсацией талловой канифоли высшего сорта с малеиновым ангидридом в количестве 10, 20 и 40 мол.% при температуре 180–190 °С в течение 3 ч. Полиаминоамиды линейного строения получали поликонденсацией адипиновой кислоты с диэтилентриамином в присутствии регулятора молекулярной массы (моноэтаноламина) в расплаве при температуре 160–170 °С в течение 3–4 ч:

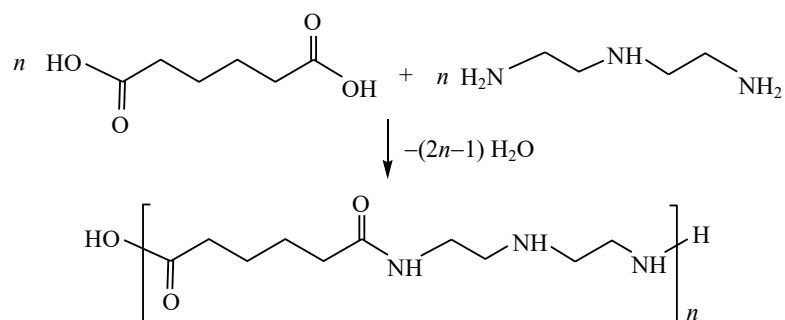
¹ Краска для высокой или офсетной печати: пат. RU 2059677 / Н. А. Нечипоренко, Г. Т. Пепельшева, А. И. Темкина, Л. В. Хохлова. – Оpubл. 10.05.1996.

² Highly branched polyamidoamines and their preparation: pat. US 5902862 / А. J. Allen. – Publ. date 11.05.1999.

³ Способ получения амидоэпихлоргидриновой смолы: пат. RU 2245343 / Р. Н. Загидуллин, З. Г. Расулев, Ю. К. Дмитриев, М. М. Муратов, А. Г. Юсупов, Х. С. Юсупов, Х. С. Вахитов, Д. С. Кульгарин, Е. А. Черникова, З. Ф. Ситдикова. – Оpubл. 27.01.2005.

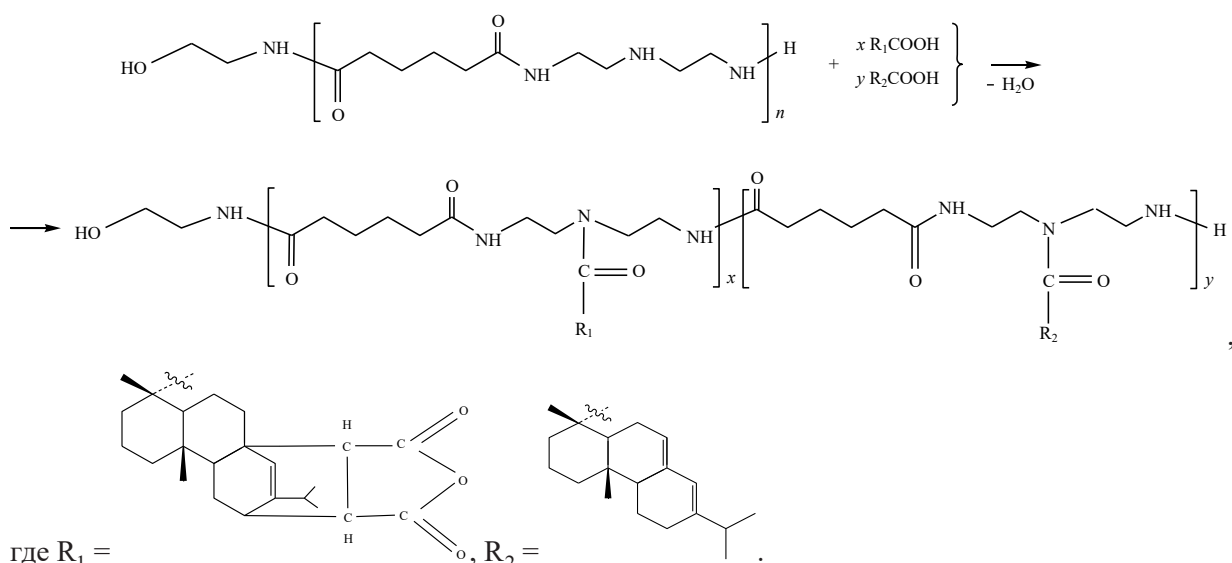


Регулятор молекулярной массы применяли с целью прекращения процесса поликонденсации исходных мономеров, который при дальнейшем модифицировании полиаминоамидов КМА будет являться побочным. Это объясняется тем, что процесс поликонденсации эквимольных количеств адипиновой кислоты и диэтилентриамина в указанных условиях протекает до степени завершенности реакции 0,998 с получением продуктов с высокой степенью полимеризации и соответственно высокой молекулярной массой [16], вследствие чего уменьшается доступность вторичных аминогрупп полимера для модифицирования:



Выбор моноэтаноламина в качестве регулятора молекулярной массы в указанном процессе обусловлен высокой температурой кипения (170 °С), что позволяет использовать его при проведении поликонденсации (в расплаве при 160–170 °С). Кроме того, моноэтаноламин не удаляется из реакционной массы вместе с водой – низкомолекулярным продуктом реакции.

Модифицирование полиаминоамидов КМА осуществляли в расплаве при температуре 160–180 °С в течение 3 ч при непрерывном перемешивании в соответствии со схемой:



Количество КМА, взятое для модифицирования полиаминоамидов, соответствовало количеству вторичных аминогрупп в повторяющемся звене полимера [17]. Протекание процесса модифици-

рования контролировали по кислотному и аминному числам. Кислотное число КМА, реакционной массы и продуктов модифицирования полиаминоамидов определяли по ГОСТ 17823.1–72. Аминное число исходных полиаминоамидов, продуктов их модифицирования и реакционной массы определяли согласно методике [18].

Количество свободных (непрореагировавших) смоляных кислот в продуктах взаимодействия полиаминоамидов с КМА определяли методом титрования [19]. Температуру размягчения КМА, использованных для модифицирования, и синтезированных продуктов измеряли по ГОСТ 23863–79. Содержание малеопимаровой кислоты в КМА, а также в продуктах их взаимодействия с полиаминоамидами определяли двухфазным потенциометрическим титрованием 0,1 н. водным раствором гидроксида лития в системе вода–дибутиловый эфир [19]. Содержание первичных, вторичных и третичных аминогрупп в исходных полиаминоамидах и продуктах их модифицирования определяли методом титрования в неводной среде [20]. Вязкость метанольных растворов исходного полиаминоамида и синтезированных продуктов концентрацией 0,1, 0,3 и 0,5 г/дл измеряли с помощью вискозиметра ВПЖ-2 при температуре 20 °С. На основании экспериментальных данных находили характеристическую вязкость по методике, описанной в [11].

Выявление функциональных групп в структуре КМА, исходного полимера и продуктов модифицирования осуществляли методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры регистрировали на ИК-микроскопе IN10 Nicolet (USA, ThermoScientific) с приставкой НПВО с кристаллом Ge и разрешением 8 см⁻¹ при 64-кратном сканировании в диапазоне частот 4000–675 см⁻¹. Идентификацию и анализ ИК-спектров осуществляли с использованием источников [21].

Результаты и их обсуждение. Для проведения исследований синтезировали КМА, отличающиеся содержанием малеопимаровой кислоты (табл. 1).

Снижение кислотного и аминного чисел (рис. 1, *a, b*) реакционной массы в процессе модифицирования полиаминоамидов синтезированными КМА свидетельствовало об их химическом взаимодействии. Исходными кислотными числами реакционной смеси считали кислотные числа используемых КМА. За исходное аминное число реакционной смеси принимали аминное число

Таблица 1. Физико-химические свойства КМА, использованных для модифицирования полиаминоамидов
Table 1. Physicochemical properties of RMA used for modification of polyaminoamides

Номер образца КМА	Количество малеинового ангидрида, взятого для модифицирования канифоли, мол.%	Содержание малеопимаровой кислоты, мас.%	Кислотное число, мг КОН/г	Температура размягчения, °С
Образец 1	10	8,55	189,02	60,5
Образец 2	20	16,46	204,30	66,5
Образец 3	40	31,12	232,09	79,5

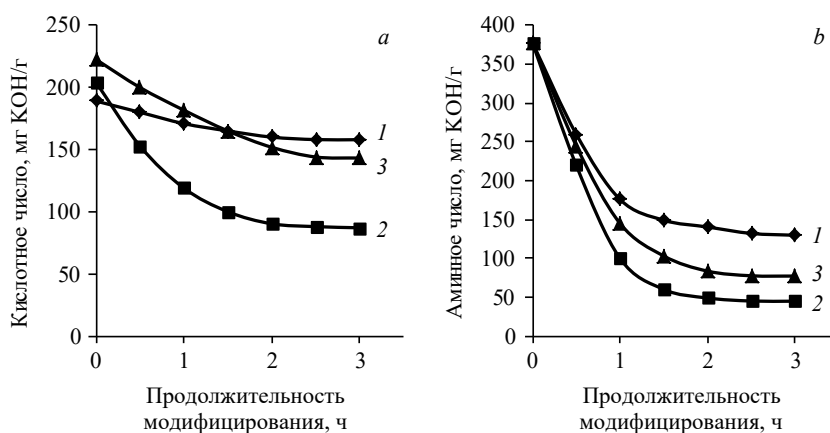


Рис. 1. Изменение кислотного (*a*) и аминного (*b*) чисел реакционной массы при модифицировании полиаминоамидов КМА, отличающимися содержанием малеопимаровой кислоты (мас.%): 1 – 8,55; 2 – 16,46; 3 – 31,12

Fig. 1. Change in the acid (*a*) and amine (*b*) numbers of the reaction mass during modification of polyaminoamides with RMA, that differ in the content of maleopimaric acid (% wt.): 1 – 8.55; 2 – 16.46; 3 – 31.12

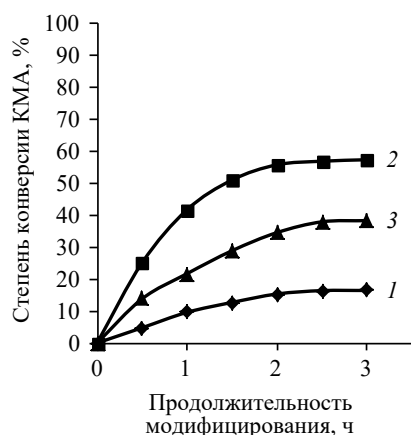


Рис. 2. Изменение степени конверсии КМА с различным содержанием малеопимаровой кислоты в процессе модифицирования полиаминоамидов (мас.%): 1 – 8,55; 2 – 16,46; 3 – 31,12

Fig. 2. Change in the conversion degree of RMA with different content of maleopimaric acid in the process of modifying polyaminoamides (% wt.): 1 – 8.55; 2 – 16.46; 3 – 31.12

способной, чем смоляные кислоты. Однако экспериментальные данные (табл. 2) показывают, что малеопимаровая и смоляные кислоты КМА в указанных условиях в сопоставимой степени реагируют с аминогруппами полиаминоамидов.

Таблица 2. Состав продуктов модифицирования полиаминоамидов КМА

Table 2. Composition of polyaminoamides modification with RMA products

Номер продукта	Содержание малеопимаровой кислоты в исходных КМА, мас.%	Состав продукта, мас.%			Степень модифицирования полимера, %
		N-замещенные полиаминоамиды	непрореагировавший КМА		
			смоляные кислоты	малеопимаровая кислота	
Продукт 1	8,55	54,55	43,96	1,49	16,45
Продукт 2	16,46	78,23	17,87	3,90	57,39
Продукт 3	31,12	65,69	21,79	12,52	38,32

Установлено, что наибольшая степень химического превращения полимера достигалась при использовании КМА с содержанием малеопимаровой кислоты 16,46 мас.%, на что помимо степени конверсии КМА указывает наименьшее количество аминогрупп в полученном продукте по сравнению с другими образцами КМА (табл. 3).

Таблица 3. Физико-химические свойства продуктов модифицирования полиаминоамидов КМА

Table 3. Physicochemical properties of polyaminoamides modification with RMA products

Номер продукта	Кислотное число, мг КОН/г	Аминное число, мг КОН/г	Содержание аминогрупп, мас.%			Температура размягчения, °С	Характеристическая вязкость, дл/г
			первичных	вторичных	третичных		
<i>Исходный полиаминоамид</i>							
Полиаминоамид	0,6	377,82	4,46	5,94	1,95	–	1,968
<i>Продукты модифицирования</i>							
Продукт 1	157,93	129,63	1,66	0	2,46	81,5	2,495
Продукт 2	87,05	44,80	0,81	0	2,45	83,8	2,507
Продукт 3	143,16	77,12	1,28	0	2,32	88,5	2,565

полиаминоамида (377,8 мг КОН/г). Указанные показатели характеризовали изменение количества карбоксильных групп КМА и аминогрупп полимера в реакционной массе соответственно.

Представленные зависимости свидетельствуют, что процесс взаимодействия полиаминоамидов с КМА интенсивно протекал в течение часа, а затем замедлялся. В зависимости от состава КМА аминное число реакционной смеси в процессе модифицирования полиаминоамидов уменьшилось на 65,69–88,14 %. При этом степень конверсии КМА (рис. 2) составила 16,45 % при содержании малеопимаровой кислоты в КМА 8,55 мас.%; 57,39 % при содержании – 16,46 мас.%; 38,32 % при содержании – 31,12 мас.%.

Продукты модифицирования полиаминоамидов КМА содержали смесь модифицированных полимеров и непрореагировавших КМА и представляли собой твердые, прозрачные вещества темно-желтого цвета, не растворимые при 20 °С в неполярных растворителях (петролейный и диэтиловый эфиры, гексан), растворимые в этаноле, метаноле, частично растворимые в воде, ацетоне (табл. 2).

Первоначально нами было выдвинуто предположение, что в первую очередь в реакцию с полимером вступает малеопимаровая кислота КМА, так как является более реакционноспособной, чем смоляные кислоты.

Увеличение содержания малеопимаровой кислоты в КМА от 8,55 до 31,12 мас.% привело к получению продуктов с более высокой температурой размягчения (от 81,5 до 88,5 °С). Модифицирование полиаминоамидов КМА, отличающимися содержанием малеопимаровой кислоты, сопровождалось повышением характеристической вязкости растворов образующихся продуктов по сравнению с исходным полиаминоамидом. Характеристическая вязкость имеет особое значение для линейных полимеров, так как может использоваться для определения средневязкостной молекулярной массы. Как было указано выше, синтезированные продукты представляли собой сложные смеси, поэтому определение их молекулярной массы с использованием экспериментальных данных затруднительно.

Отсутствие вторичных аминогрупп в структуре синтезированных продуктов при неполном реагировании КМА (степень конверсии – 16,45–57,39 %) указывало на протекание побочных реакций, которые привели к увеличению количества третичных аминогрупп от 1,95 до 2,32–2,46 мас.%.

Появление на ИК-спектрах синтезированных продуктов полосы поглощения при длине волны 1636 см⁻¹, характерной для валентных колебаний карбонильной группы в третичных амидах, свидетельствовало, что смоляные и малеопимаровая кислоты, содержащиеся в КМА, вступили в реакцию со вторичными аминогруппами полиаминоамидов, что вызвало смещение указанной полосы поглощения в сторону более низких частот в связи с возникшими стерическими затруднениями. Однако присутствие полос поглощения слабой интенсивности при длинах волн 1689 и 1761 см⁻¹ (валентные колебания карбонильной группы 5-членных имидов) с учетом данных табл. 3 позволило сделать вывод, что незначительное количество малеопимаровой кислоты вступило в реакцию с первичными (концевыми) аминогруппами полимера с образованием N-замещенных имидов малеопимаровой кислоты. Отсутствие характеристических полос поглощения сложных эфиров свидетельствовало, что смоляные и малеопимаровая кислоты КМА не вступают в реакцию с концевой гидроксильной группой полимера.

Заключение. Таким образом, были установлены следующие особенности модифицирования полиаминоамидов на основе адипиновой кислоты и диэтилентриамина КМА, отличающимися содержанием малеопимаровой кислоты:

при применении КМА для модифицирования полиаминоамидов реакция интенсивно протекает в течение часа, при этом в зависимости от содержания малеопимаровой кислоты в КМА (8,55, 16,46 и 31,12 мас.%) кислотное и аминное числа реакционной массы снижаются на 9,60–41,74 % и 53,46–73,53 % соответственно;

наибольшая степень химического превращения полимера (57,39 %) достигается при использовании для его модифицирования КМА с содержанием малеопимаровой кислоты 16,46 мас.%, что, по нашему мнению, объясняется изменениями, происходящими в структуре полимера: скорость реакции замещения аминогруппы зависит от типа соседней с ней функциональной группы, при этом прореагировавшие группы могут оказывать как ускоряющее, так и замедляющее действие;

продукты модифицирования полиаминоамидов КМА отличаются между собой физико-химическими свойствами (растворимость, кислотное и аминное числа, температура размягчения). Наблюдается прямая зависимость между температурой размягчения и вязкостью растворов продуктов и количеством малеопимаровой кислоты в КМА, использованных для модифицирования полимера: увеличение содержания малеопимаровой кислоты от 8,55 до 31,12 мас.% приводит к повышению температуры размягчения образующихся продуктов на 7,0 °С (от 81,5 до 88,5 °С) и увеличению характеристической вязкости их растворов от 2,495 до 2,565 дл/г;

продукты модифицирования полиаминоамидов КМА являются структурно неоднородными и представляют собой смесь, состоящую из химически модифицированных полимеров, непрореагировавших КМА, а также N-замещенных имидов малеопимаровой кислоты, образующихся при протекании побочных реакций, что затрудняет их идентификацию.

Список использованных источников

1. Шампетье, Г. Химия лаков, красок и пигментов: в 2 т.: пер. с фр. / Г. Шампетье, Г. Рабатэ. – М.: Госхимиздат, 1960. – Т. 1. – 584 с.
2. New reagent formulations for selective flotation of scheelite from a skarn ore with complex calcium minerals gangue / L. O. Filippov [et al.] // Minerals Engineering. – 2018. – N 123. – P. 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.05.001>

3. Клюев, А. Ю. Разработка и исследование свойств флюсующих составов, полученных с использованием вторичных терпеноидных продуктов / А. Ю. Клюев // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 1 (241). – С. 153–162.
4. The rheological properties of self-compacting concrete containing superplasticizer and air-entraining agent / F. Huang [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 166. – P. 833–838. <https://doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2018.01.169>
5. Advances in Rosin-Based Chemicals: the Latest Recipes, Application and Future Trends / Sz. Kugler [et al.] // *Molecules*. – 2019. – N 24 (9). – P. 1651–1702. <https://doi.org/10.3390/molecules24091651>
6. Bei, M. P. Synthesis and properties of new derivatives of maleopimaric and citraconopimaric acids / M. P. Bei, A. P. Yuvchenko, O. V. Sokol // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2017. – N 2. – P. 111–125.
7. *Polymers from Renewable Resources, Part 7. Synthesis and Properties of Polyamideimide from Rosin-Maleic Anhydride Adduct* / S. S. Ray [et al.] // *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*. – 1983. – N 122. – P. 153–167.
8. Pirgulyeva, M. S. Synthesis of polyamideimides on the basis of rosin / M. S. Pirgulyeva // *The European Journal of Analytical and Applied Chemistry*. – 2017. – Iss.1. – P. 8–13. <https://doi.org/10.29013/EJAAC-17-1-8-13>
9. Леонович, А. А. Основы химии и физики полимеров: учеб. пособие / А. А. Леонович, А. В. Оболенская. – Л.: ЛТА, 1988. – 84 с.
10. Григорьев, А. П. Лабораторный практикум по технологии пластических масс. Ч. II. Поликонденсационные и химически модифицированные пластические массы: учеб. пособие / А. П. Григорьев, О. Я. Федотова. – М.: Высшая школа, 1977. – 264 с.
11. Шишенок, М. В. Высокомолекулярные соединения: учеб. пособие / М. В. Шишенок. – Минск: Выш. шк., 2012. – 535 с.
12. Полежаева, Н. И. Полиэфирная смола, модифицированная канифолью / Н. И. Полежаева, М. Н. Пашенных, Д. Е. Вдовин // *Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Красноярск, 9 дек. 2016 г., в 2 т. / СибГАУ ; редкол.: И. В. Ковалев [и др.]*. – Красноярск, 2016. – Т. 1. – С. 226–230.
13. Abdel-Raouf, M. E. Rosin: Chemistry, Derivatives and Application: a review / M. E. Abdel-Raouf, A. M. Abdul-Raheim // *BAOJ Chem*. – 2018. – Vol. 4, Iss. 1. – P. 39–55.
14. Амиды фумаровой кислоты в технологии бумаги и картона / М. В. Андрюхова [и др.] // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2012. – № 4. – С. 33–35.
15. Андрюхова, М. В. Новый азотсодержащий полимер с упрочняющим и гидрофобизирующим действием на бумагу и картон / М. В. Андрюхова, В. Л. Флейшер, Н. В. Черная // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 99–106. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-99-106>
16. Боркина, Я. В. Кинетические характеристики поликонденсации адипиновой кислоты с диэтилентриамином / Я. В. Боркина, В. Л. Флейшер // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2 (247). – С. 53–59.
17. Боркина, Я. В. Влияние регулятора молекулярной массы на протекание процесса поликонденсации диэтилентриамина и адипиновой кислоты и свойства образующегося продукта / Я. В. Боркина, В. Л. Флейшер // *Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП–2021): материалы XVI Всерос. науч.-техн. конф., Бийск, 27–28 сент. 2021 г., Алт. гос. техн. ун-т, БТИ*. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2021. – С. 86–87.
18. Карякина, М. И. Лакокрасочные материалы. Технические требования и контроль качества: справ. пособие / М. И. Карякина, Н. В. Майорова, Р. Ф. Минаева. – М.: Химия, 1979. – 280 с.
19. Химико-технический контроль лесохимических производств / Л. В. Гордон [и др.] – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 352 с.
20. Крешков, А. П. Основы органической химии / А. П. Крешков. – М.: Химия, 1970. – 472 с.
21. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений: пер. с англ. / К. Наканиси. – М.: Мир, 1965. – 186 с.

References

1. Champetier G., Rabaté H. *Chemistry of varnishes, paints and pigments. Vol. 1*. Moscow, Goskhimizdat Publ., 1960. 584 p. (in Russian).
2. Filippov L. O., Foucaud Y., Filippova I. V., Badawi M. New reagent formulations for selective flotation of scheelite from a skarn ore with complex calcium minerals gangue. *Minerals Engineering*, 2018, no. 123, pp. 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.05.001>
3. Klyuev A. Yu. Development and research of properties of flushing compounds obtained using secondary terpenoid products. *Trudy BGTU. Seriya 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya = Proceedings of BSTU, Series 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 1 (241), pp. 153–162 (in Russian).
4. Huang F., Li H., Yi Zh., Wang Zh., Xie Y. The rheological properties of self-compacting concrete containing superplasticizer and air-entraining agent. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 166, pp. 833–838. <https://doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2018.01.169>
5. Kugler Sz., Ossowicz P., Malarczyk-Matusiak K., Wierzicka E. Advances in Rosin-Based Chemicals: the Latest Recipes, Application and Future Trend. *Molecules*, 2019, no. 24 (9), pp. 1651–1702. <https://doi.org/10.3390/molecules24091651>
6. Bei M. P., Yuvchenko A. P., Sokol O. V. Synthesis and properties of new derivatives of maleopimaric and citraconopimaric acids. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2017, no. 2, pp. 111–125.

7. Ray S. S., Kundu A. K., Maiti M., Ghosh M., Maiti S. Polymers from Renewable Resources, Part. 7. Synthesis and Properties of Polyamideimide from Rosin-Maleic Anhydride Adduct. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 1983, no. 122, pp. 153–167.
8. Pirculiyeva M. S. Synthesis of polyamideimides on the basis rosin. *The European Journal of Analytical and Applied Chemistry*, 2017, iss. 1, pp. 8–13. <http://doi.org/10.29013/EJAAC-17-1-8-13>
9. Leonovich A. A., Obolenskaya A. V. *Fundamentals of chemistry and physics of polymers*. Leningrad, LTA Publ., 1988. 84 p. (in Russian).
10. Grigor'ev A. P., Fedotova O. Ya. *Laboratory workshop on the technology of plastics. Part II. Polycondensation and chemically modified plastics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977. 264 p. (in Russian).
11. Shishonok M. V. *Macromolecular compounds*. Minsk, Vysheishaya shkola Publ., 2012. 535 p. (in Russian).
12. Polezhaeva N. I., Pashennykh M. N., Vdovin D. E. Polyester resin modified with rosin. *Lesnoi i khimicheskii komplekсы – problemy i resheniya: sbornik statei po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Krasnoyarsk, 9 dekabrya 2016. T. 1* [Forest and chemical complexes – problems and solutions: a collection of articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, December 9, 2016. Vol. 1]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 226–230 (in Russian).
13. Abdel-Raouf M. E., Abdul-Raheim A. M. Rosin: Chemistry, Derivatives and Application: a review. *BAOJ Chem*, 2018, vol. 4, iss. 1, pp. 39–55.
14. Andryukhova M. V., Fleisher V. L., Chernysheva T. V., Gordeiko S. A., Makarova D. S. Fumaric acid amides in paper and board technology. *Trudy BGTU. Seriya IV, Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of BSTU. Series IV, Chemistry, technology of organic substances and biotechnology], 2014, no. 4, pp. 33–35 (in Russian).
15. Andrukova M. V., Fleisher V. L., Chernaya N. V. New nitrogen containing polymer with strengthening and hydrophobizing effect on paper and cardboard. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 99–106 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-99-106>
16. Borkina Ya. V., Fleisher V. L. Kinetic characteristics of polycondensation of the adipic acid with diethylenetriamine. *Trudy BGTU. Seriya 2, Khimicheskii tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya = Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 2 (247), pp. 53–59 (in Russian).
17. Borkina Ya. V., Fleisher V. L. Influence of the molecular weight regulator on the course of the process of polycondensation of diethylenetriamine and adipic acid and the properties of the resulting product. *Izmereniya, avtomatizatsiya i modelirovanie v promyshlennosti i nauchnykh issledovaniyakh (IAMP–2021): materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh s mezhdunarodnym uchastiem, Biisk, 27–28 sentyabrya 2021* [Measurements, automation and modeling in industry and scientific research (MAMI–2021): materials of the All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists with international participation, Biisk, September 27–28, 2021]. Biisk, 2021, pp. 86–87 (in Russian).
18. Karyakina M. I., Maiorova N. V., Minaeva R. F. *Paints and varnishes. Technical requirements and quality control (reference guide)*. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 280 p. (in Russian).
19. Gordon L. V., Chashchin A. M., Radbil' B. A., Maslennikov A. S., Bogdanova E. V. *Chemical and technical control of wood chemical production*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 352 p. (in Russian).
20. Koreshkov A. P. *Basics of organic chemistry*. Moscow, Khimiya Publ., 1997. 472 p. (in Russian).
21. Nakanishi K. *Infrared spectra and the structure of organic compounds*. Moscow, Mir Publ., 1965. 186 p. (in Russian).

Информация об авторах

Боркина Яна Валерьевна – аспирант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: yanaborkina@mail.ru

Флейшер Вячеслав Леонидович – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v_fleisher@list.ru

Шашок Жанна Станиславовна – д-р техн. наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shashok@belstu.by

Information about the authors

Borkina Yana V. – Ph. D. student of the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yanaborkina@mail.ru

Fleisher Viachaslau L. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor. Head of the Department. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v_fleisher@list.ru

Shashok Zhanna S. – D. Sc. (Engineering), Associate Professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shashok@belstu.by