

С. В. Молодкин (асп., зам.дир.)^{1,2}, А. В. Виноградов (асп., дир.)^{1,2},
И. М. Борисов (д.х.н., проф.)¹, А. Д. Бадикова (д.т.н., проф., зав. каф.)¹

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ АМИДИРОВАНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНАМИ. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАМЕЩЕННОГО АЛКИЛИМИДАЗОЛИНА

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра физической и органической химии
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: foh@rusoil.net

² Акционерное общество Научно-производственное объединение «Технолог»
453110, г. Стерлитамак, ул. Техническая, 32; e-mail: tehnolog-nauka@mail.ru

S. V. Molodkin^{1,2}, A. V. Vinogradov^{1,2}, I. M. Borisov¹, A. D. Badikova¹

STUDY OF THE REACTION OF FATTY ACID AMIDATION WITH POLYETHYLENEPOLYAMINES. SELECTION OF THE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF SUBSTITUTED ALKYLIMIDAZOLINE

¹ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: foh@rusoil.net

² Joint-Stock Company Scientific and Production Association «Technolog»
32, Tekhnicheskaya Str., 453110, Sterlitamak, Russia; e-mail: teknol@mail.ru

Изучены различные способы реализации технологии синтеза ингибитора коррозии в виде замещенного 1,2-алкилимидазолина на основе олеиновой кислоты и двух образцов полиэтиленполиаминов: диэтилентриамин и тетраэтиленпентамина. Показана зависимость кинетических закономерностей процесса от температурного режима реакции, способа удаления реакционной воды и наличия гетерогенного катализатора КУ-2-8. Показана возможность синтеза при относительно низких температурах без катализатора, зависимость скорости процесса от масштаба опыта, что связывается авторами с решающим влиянием интенсивности осушки реакционной массы.

Ключевые слова: азеотропная осушка; выход; время синтеза; диэтилентриамин; катализатор; кинетические закономерности; олеиновая кислота; температура; химическое равновесие.

Замещенный 1,2-алкилимидазолин относится к катионным ПАВ и находит широкое применение в качестве основы для ингибиторов коррозии, бактерицидов, гидрофобизаторов поверхности, кислотных моющих средств, адгезионных добавок в лакокрасочные материалы, диспергирующих до-

Various methods of implementing the technology for synthesizing a corrosion inhibitor in the form of substituted 1,2-alkylimidazoline based on oleic acid and two samples of polyethylenepolyamines: diethylenetriamine and tetraethylenepentamine are studied. The dependence of the kinetic regularities of the process on the reaction temperature regime, the method for removing reaction water and the presence of a heterogeneous catalyst KU-2-8 is shown. The possibility of synthesis at relatively low temperatures without a catalyst, the dependence of the process rate on the scale of the experiment are shown, which the authors associate with the decisive influence of the intensity of drying of the reaction mass.

Key words: azeotropic drying; catalyst; chemical equilibrium; diethylenetriamine; kinetic regularities; oleic acid; synthesis time; temperature; yield.

бавок для дизельного топлива¹. Алкилимидазолины испытываются также в качестве антиокислительных присадок в моторные масла и как смазывающие присадки для дизельного топлива².

Свойства алкилимидазолина определяются строением как гидрофобной, так и гидрофильной части молекул смеси веществ, образующихся в

Дата поступления 13.01.25

ходе синтеза в последовательных и параллельных реакциях. Состав смеси зависит не только от состава исходного сырья, но и от технологии производства.

В промышленных условиях алкилимидазолин синтезируют взаимодействием свободных жирных кислот или их эфиров (масел и жиров) с полиэтиленполиамином (ПЭПА) или узкими фракциями ПЭПА: этилендиамином (ЭДА), диэтилентриамином (ДЭТА), и т. д. до гексаэтиленгептамина. Низшие гомологи ПЭПА представляют собой достаточно чистые вещества с высоким содержанием основного компонента, высшие – это всегда смеси нескольких, в том числе циклических, соединений.

Строение алкильного радикала определяется выбором карбоновой кислоты. Поверхностно-активные свойства хорошо проявляются уже при длине алкильного радикала C_{12} – C_{14} , что соответствует составу жирных кислот кокосового масла (лауриновая и миристиновая кислота в сумме составляют около 70%). Для применения в качестве ингибиторов коррозии оптимальной считается длина алкильного радикала C_{18} – C_{20} . Такие кислоты доступны в виде растительных масел (рапсовое, подсолнечное) и животных жиров.

Синтез алкилимидазолина возможен напрямую из растительного масла по реакции амидирования сложного эфира с выделением в качестве побочного продукта глицерина. Эта реакция проходит легко при умеренном нагреве (140 – 150 °C), однако выделяющийся глицерин не может быть легко выделен из реакционной массы, поэтому синтез будет проходить до равновесного состояния, и в составе продукта будут присутствовать как амиды, так и моноглицериды жирных кислот.

Синтез из свободных жирных кислот происходит с выделением реакционной воды, удаление которой из зоны реакции легко осуществляется простой или азеотропной отгонкой, благодаря этому появляется возможность сместить равновесие химической реакции в сторону целевых продуктов и добиться высокого выхода амидов и алкилимидазолинов.

Свободные жирные кислоты доступны в виде технических смесей, часто используются жирные кислоты таллового масла, или растительного масла, содержащие олеиновую кислоту и другие непредельные карбоновые кислоты фракции C_{18} – C_{20} . Доступна также стеариновая кислота, получаемая из пальмового масла, однако продукты на ее основе имеют высокую температуру застывания и плохую растворимость в спиртах.

Температура синтеза зависит от строения карбоновой кислоты и применяемых катализаторов. Так, при синтезе на экранированных альфа-

разветвленных карбоновых кислотах без катализатора реакция циклизации идет с заметной скоростью лишь при температурах выше 250 °C, в то время как при использовании линейных карбоновых кислот достаточно температуры 180 – 200 °C. Оптимальными условиями синтеза на разветвленных кислотах указываются: температура 280 °C, молярное соотношение карбоновые кислоты : полиэтиленполиамин равно $1.0:1.5$ – 2.0 время реакции 10 – 20 ч ¹. Перегрев реакционной массы выше 300 °C приводит к термической деструкции и полимеризации побочных продуктов. Использование гомогенных катализаторов позволяет повысить выход, но приводит к затруднениям при выделении целевых продуктов из реакционной массы. Затруднение реакции на разветвленных кислотах объясняется стерическими препятствиями, однако такие продукты обладают ценными свойствами, более устойчивы к гидролизу и рекомендуются как экстрагенты для выделения ионов металлов из водных растворов. Хороших результатов удалось добиться при проведении синтеза в присутствии октилового спирта ³. Использование в качестве катализатора нитрилтриметилфосфоновой кислоты в количестве 0.5% к исходному сырью позволяет повысить глубину циклизации и получить качественный продукт при температуре 200 °C с отгонкой реакционной воды в вакууме. Время стадии циклизации составило 1 ч ⁴. Использование катализатора в виде композиции гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты и глицерата натрия в соотношении $1/1.5$ при дозировке в количестве 1% от реакционной массы позволяет снизить температуру синтеза с 270 до 190 °C, повысить выход алкилимидазолина с 75 до 85% за два часа синтеза, а также понизить показатель цветности по Гарднеру с 15 до 1.5 единиц ⁵. При использовании катализатора КУ-2-8 в количестве 20% от общей загрузки удается проводить синтез при температуре 80 – 120 °C в условиях азеотропной осушки реакционной массы. Время синтеза составляет в этом случае 6 – 8 ч, выход 80% ⁶. Сравнительные синтезы без катализатора с отгонкой воды в токе азота при 190 и 230 °C показывают, что в первом случае образуется преимущественно аминоксид жирной кислоты, содержание алкилимидазолина в продуктах реакции составляет 15 – 20% , при температуре 230 °C была получена реакционная масса, содержащая 50 – 55% алкилимидазолина. Каталитический синтез на КУ-2-8 при 140 °C с азеотропной осушкой позволяет получить реакционную массу, содержащую 70 – 75% алкилимидазолина ⁷. Исследован синтез из растительного масла через стадию образования метиловых эфиров жирных кислот (биодизеля). При амидировании метилового эфира этилендиами-

ном выделяется побочный продукт – метиловый спирт, который легко отгоняется из реакционной массы при температуре 115–117 °С. Однако для дальнейшей циклизации аминоконида в имидазолин потребовался прогрев до 220 °С, было обнаружено побочное образование диамида с отгонкой этилендиаминa. Побочную реакцию удается подавить при использовании гидрохлорида этилендиаминa⁸.

В рассматриваемых примерах, на наш взгляд, не уделяется достаточно внимания обратимости реакции амидирования и циклизации. Между тем, в таких реакциях решающее влияние на эффективность проведения процесса играет сдвиг равновесия вправо посредством быстрого и полного удаления побочного или целевого продукта из зоны реакции, в данном случае удаления реакционной воды. Воду удаляют отгонкой в токе азота и (или) под вакуумом, или азеотропной осушкой, также возможно химическое связывание поглотителями. Таким образом, скорость процесса и выход будут зависеть не только от температуры и вида катализатора, но и от скорости подачи азота, от глубины вакуума и интенсивности азеотропной осушки. Однако увеличение подачи азота или глубины вакуума может приводить к росту потерь относительно летучего полиаминa и образования диамидов в результате побочной реакции. Проведение синтеза при высоких температурах требует применения специального оборудования, не всегда доступного на промышленных предприятиях, важно исследовать возможность синтеза именно при относительно низких температурах (до 150 °С), что позволит проводить процесс в обычном реакторе с обогревом насыщенным паром через рубашку. В известных примерах проведения реакции с азеотропной осушкой реакционной массы, синтез проводили в присутствии большого количества гетерогенного катализатора КУ-2-8 (20% от количества исходных веществ) и не проверяли возможность повторного использования катализатора без регенерации. Поэтому важно выяснить, какой вклад в повышение скорости реакции вносит катализ, а какой – качество осушки.

Настоящая работа посвящена изучению кинетических закономерностей синтеза 1,2-алкилимидазолина из олеиновой кислоты и полиэтиленполиаминов в условиях азеотропной осушки реакционной массы в сравнении с высокотемпературным синтезом в токе азота.

Экспериментальная часть

В синтезе 1,2-алкилимидазолина использовали олеиновую кислоту марки Б 115 ТУ 9145-172-4731297-94 с следующими показателями: со-

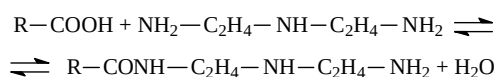
держание жирных кислот 97.4%, иодное число 115, кислотное число 185–200 мг КОН/г, температура застывания 8–15 °С. Продукт представляет собой смесь непредельных жирных кислот с преимущественным содержанием олеиновой кислоты. Молярную массу приняли равной 282.5 г/моль.

Диэтилентриамин (ДЭТА) имеет следующие параметры: содержание основного вещества 98.5%, молярная масса 103.2 г/моль, аминное число 1626 мг КОН/г.

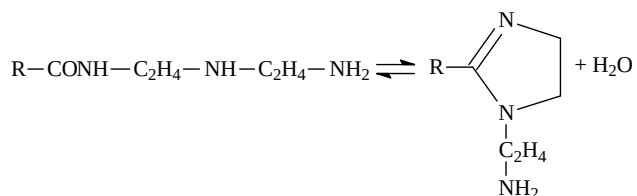
Тетраэтиленпентамин (ТЭПА, ТЕРА). Технический продукт содержит смесь четырех этиленаминов с близкими значениями температуры кипения: линейного, разветвленного и двух циклических продуктов ТЕРА и продуктов с большей молекулярной массой. Составляющие: ТЕРА (CAS №000112-57-2, N-(2-аминоэтил)-N'-{2-[(2-аминоэтил)амино]этил}-1,2-этандин), АЕТЕТА (CAS №031295-46-2, 4-(2-аминоэтил)-N-(2-аминоэтил)-N'-{2-[(2-аминоэтил)амино]этил}-1,2-этандин), АЕРЕЕТА (CAS №031295-54-2, 1-(2-аминоэтил)-4-[(2-аминоэтил)амино]этил]-пиперазин), РЕДЕТА (CAS №031295-49-5, 1-[2-[[2-[(2-аминоэтил)амино]этил]амино]этил]-пиперазин). Общее содержание пентаминов не менее 95%, молярная масса 189.3 г/моль, аминное число 1290–1370 мг КОН/г.

Взаимодействие проходит в три последовательные стадии. При смешении карбоновой кислоты с полиамином вначале образуется соль. При нагреве соли выше 100 °С начинается процесс амидирования с отщеплением моля воды.

При использовании ДЭТА реакция идет по схеме:



Нагрев выше 150 °С приводит к циклизации аминоконида с выделением второго моля воды и образованием гетероцикла:



где R – алкильный радикал жирной кислоты, при использовании олеиновой кислоты R = C₁₇H₃₃–

Для полного и быстрого завершения второй стадии реакционную массу прогревают до 260–300 °С. На второй стадии возможна побочная реакция с образованием диамида ДЭТА.

Результаты и их обсуждение

Синтез моноаминоамида из олеиновой кислоты и ДЭТА (опыт №1). В круглодонную колбу на 1000 мл, снабженную механической мешалкой, термометром и прямым холодильником для отгонки реакционной воды загружали 282.5 г (1 моль) олеиновой кислоты (ОК) и 103.2 г (1 моль) диэтилентриамина. Загрузку амина проводили после нагрева жирной кислоты до 40 °С, при этом наблюдается тепловой эффект образования соли амина и реакционная масса загущается. Если загрузку проводить при комнатной температуре, то вязкость повышается настолько, что мешалка останавливается, что может привести к отказам в промышленных условиях. После смешения реакционную массу нагревали до температуры 145–150 °С, при этом начинается выделение реакционной воды. Верхний предел температуры принимаем исходя из возможности нагрева в промышленных условиях насыщенным водяным паром через рубашку реактора, рассчитанную на давление 0.6 МПа. Для предупреждения окисления и усиления скорости отгонки воды в низ колбы через барботер подавали небольшой ток азота. В ходе синтеза наблюдается умеренное вспенивание реакционной массы, поэтому загрузка должна быть не более половины от объема реактора. Синтез проводили до прекращения выделения воды, после чего проводили анализ реакционной массы на кислотное и аминное число, которые имели следующие значения: 4.9 мг КОН/г и 207.4 мг HCl/г. Количество реакционной воды составило 18.8 г, что согласно приведенным выше химическим реакциям соответствует образованию преимущественно аминокотида (выделяется один моль воды 18 г), и частично имидазолина (дополнительно выделяется 0.8 г воды).

Высокотемпературный синтез алкилимидазолина (опыт №2). Для сравнения провели синтез, аналогичный опыту 1, при нагревании реакционной массы до 250 °С в течение 8 ч. В ходе эксперимента выделилось 35 г реакционной воды (1,94 моль), что свидетельствует о преимущественном образовании 1,2-алкилимидазолина. Аминное число составило 207.8 мг HCl/г, кислотное число – 4.3 мг КОН/г.

Полученный алкилимидазолин отличается от аминокотида по физико-химическим свойствам: так аминокотид при 20 °С представляет собой пастообразную массу, а 1,2-алкилимидазолин – вязкая, но текучая масса с температурой застывания минус 7 °С. Отличается их растворимость в метаноле: при охлаждении 30% спиртового раствора до минус 20 °С с выдержкой 24 ч из раствора аминокотида выпадает осадок, в то время как алкил-

имидазолин сохраняет гомогенность. Это очень важный параметр для применения в качестве активной основы ингибиторов для нефтедобычи, где обязательным условием является гомогенность товарной формы при температурах до минус 40 °С.

Низкотемпературный синтез с азеотропной осушкой реакционной массы (опыты №3, 4). Синтез с азеотропной отгонкой реакционной воды проводили с введением толуола в качестве азеотропообразователя, на лабораторной установке с насадкой Дина-Старка. Количеством толуола можно легко регулировать температуру синтеза. При исходной концентрации толуола 30% мас. от суммарной загрузки жирной кислоты и полиамина температура начала кипения составляет 120 °С и плавно повышается до 147–150 °С после отгонки части толуола. При температуре кипения 150 °С в реакционной массе содержится около 10–12 % толуола, который может быть в последующем отогнан под вакуумом или оставаться в продукте как растворитель, в частности, при использовании 1,2-алкилимидазолина в композициях ингибиторов коррозии остаточный толуол не мешает.

По количеству выделяющейся воды можно достаточно точно судить о скорости реакции амидирования т. к. в этом случае пары воды полностью конденсируются. На рис. 1 приведены кинетические кривые накопления воды в ходе синтеза целевого продукта. Как видно из рис. 1, скорость накопления воды со временем понижается из-за снижения концентрации исходных субстратов вследствие расходования в ходе процесса.

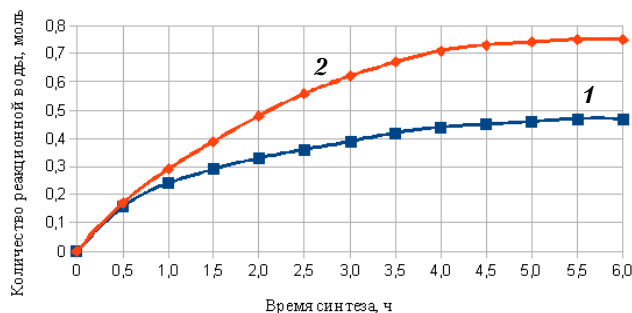


Рис. 1. Кинетические кривые накопления воды: 1 – опыт №3, загрузка 0.25 моль; 2 – опыт №4, загрузка 0.5 моль

Со временем также замедляется рост выхода 1,2-алкилимидазолина (табл. 1).

При увеличении масштаба опыта в два раза скорость реакции и выход алкилимидазолина снижаются. На наш взгляд, это объясняется снижением эффективности удаления реакционной воды, которая лимитируется интенсивностью нагрева (мощность нагрева принята постоянной для всех опытов с азеотропной осушкой). Удельная скорость отгонки в опыте №3 была в два раза

Таблица 1

**Зависимость выхода 1,2-алкилимидазолина олеиновой кислоты
и диэтилентриамина от времени синтеза**

Время опыта, мин	Опыт №3		Опыт №4	
	Загрузка: 0.25 моль ОК; 0.25 моль ДЭТА		Загрузка 0.5 моль ОК; 0.5 моль ДЭТА	
	Количество реакционной воды, мл	Выход 1,2-алкилимидазолина, %	Количество реакционной воды, мл	Выход 1,2-алкилимидазолина, %
0	0	0	0	0
10	1.4	15	0.7	4
20	2.1	23	2.5	14
30	2.8	31	3.1	17
40	3.5	39	3.9	22
55	4.2	47	4.8	26
75	4.9	54	6.0	33
85	5.6	62	6.7	37
145	6.3	70	10.4	58
190	7	78	11.6	65
310	7.7	86	13.0	72
365	8.5	94	13.6	76

Таблица 2

**Зависимость выхода 1,2-алкилимидазолина олеиновой кислоты
и тетраэтиленпентамина от времени синтеза на катализаторе КУ-2-8**

Время опыта, ч	Выход 1,2-алкилимидазолина, %			
	Загрузка: 1 моль ОК 1 моль ТЭПА	Загрузка: 1 моль ОК, 1 моль ТЭПА, КУ-2-8 5% мас. от реакционной массы		
	Опыт №5	Опыт №6 (1 цикл)	Опыт №7 (2 цикл)	Опыт №8 (3 цикл)
1	14	35	25	20
2	29	55	45	39
3	45	72	64	56
4	53	81	72	67
5	61	86	78	72
6	65	92	81	75
7	68	95	85	78
8	71	97	87	81
10	73	97	90	84
12	78		91	86
14	81		92	86
16	84		92	
20	85			
25	86			
27	86			

выше (0.06 мл/г·мин), чем в опыте №4 (0.03 мл/г·мин) из-за меньшей загрузки.

При малых загрузках и интенсивной азеотропной осушке скорость реакции получается даже выше, чем при высокотемпературном синтезе (опыт 2), причем без применения катализатора. Зависимость выхода целевого вещества от времени показана на рис. 2.

Синтез имидазолина с гетерогенным кислотным катализатором и азеотропной осушкой реакционной массы (опыты №5–8). Эффективность катализатора КУ-2-8 испытывали на примере синтеза моноалкилимидазолина на олеиновой кислоте и тетраэтиленпентамине ТЭПА.

Синтезы проводили аналогично предыдущим опытам с введением в качестве катализатора катионообменной смолы КУ-2-8 в H⁺ форме в температурном интервале 147–150 °С. Результаты (табл. 2) свидетельствуют, что по ходу реак-

ции скорость выделения воды снижается. Азеотропная отгонка воды способствует уменьшению времени синтеза, особенно в присутствии катализатора.

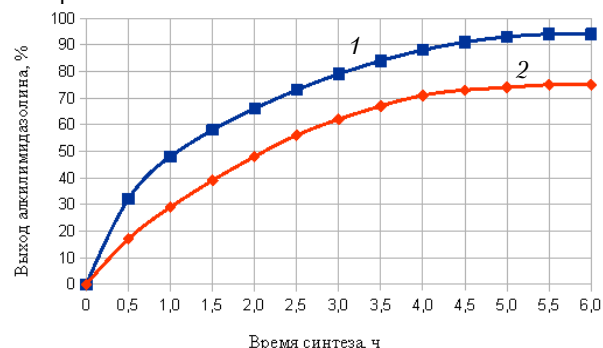


Рис. 2. Зависимость выхода алкилимидазолина от времени при различном масштабе опытов: 1 – опыт №3, загрузка 0.25 моль; 2 – опыт №4, загрузка 0.5 моль

Как видно из табл. 2, введение гетерогенного кислотного катализатора КУ-2-8 в количестве 5% мас. от реакционной массы позволяет повысить выход алкилимидазолина с 86 до 97 % и сократить время синтеза в 2 раза при сравнительно больших масштабах опыта. Удельная скорость отгонки азеотропа в этих опытах составила 0.013 мл/г·мин. При повторном использовании катализатора скорость реакции и выход снижаются.

Таким образом, синтез при высоких температурах (250 °С) в небольшом токе азота позволяет быстро получить готовый продукт с хорошим выходом, однако требует применения специального дорогостоящего оборудования. Возможен синтез при относительно низких температурах 140–150 °С при условии эффективной азеотропной

осушки с целью удаления реакционной воды для смещения химического равновесия в сторону образования целевого продукта. Причем синтез может быть проведен без катализатора с хорошим выходом именно 1,2-алкилимидазолина, а не аминоамида, как считалось ранее. Решающее значение имеет качество осушки. Удельная скорость осушки в этом случае должна составлять 0.06 мл/г·мин или при промышленном синтезе 60 л/т·мин.

Использование ионообменной смолы КУ-2-8 позволяет дополнительно интенсифицировать процесс более чем в два раза при концентрации катализатора 5% мас., повысить выход целевого вещества, однако повторное использование катализатора приводит к снижению эффективности, что может быть связано с его термодеструкцией.

Литература

1. Рахманкулов Д. Л., Зенцов В.Н., Гафаров Н.А., Бугай Д. Е., Габитов А.И., Латыпова Ф.Н. Ингибиторы коррозии. Том 3. Основы технологии производства отечественных ингибиторов коррозии. – М.: «Интер», 2005. – 346 с.
2. Назаров И.Г., Алиева Г.Т., Гулиева Э.М. Гусейнова С.Ш. Улучшение смазывающих свойств экологического дизельного топлива присадками, синтезированными на базе нефтяных кислот, полученных из смеси азербайджанских нефтей // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №12. – С.33-35.
3. Бондарева С.О. Муринов Ю.И. Синтез и физико-химические свойства 1-(2-алкиламидаэтил)-2-алкил-2-имидазолинов на основе α, α' -разветвленных карбоновых кислот // ЖОХ. – 2013. – Т.83, №2. – С.318-323.
4. Патент РФ №2765948. Способ получения алкилимидазолина / Худолеева Е.С., Гурбанова Л.В., Гунькин В.М. // Б.И. – 2022. – №4.
5. Патент РФ 2487122. Способ получения алкилимидазолина / Чебаксаров А.И., Чебаксарова Л.В., Пак Хе Сек // Б.И. – 2013. – №19.
6. Веролайн Н.В., Петрова В.Е. Темникова С.А. Синтез и свойства производных алкилимидазолина // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». – 2014. – №1. – С.36-43.
7. Абутков А.В. Синтез производных 1,2 имидазолина – активной основы ингибиторов коррозии. Комплексный подход к анализу имидазолинов на примере полученных соединений // Нефтегазовое дело – 2012. – Т.10, №1. – С.180-184.
8. Юсевич А.И., Осипенок Е.М., Трусков К.И. Синтез и свойства 2-замещенных имидазолинов на основе метиловых эфиров жирных кислот // Труды БГТУ. – 2019. – Серия 2, №2. – С.120-126.

References

1. Rakhmankulov D. L., Zentsov V.N., Gafarov N.A., Bugay D. E., Gabitov A.I., Latypova F.N. *Ingibitorny korrozii. T.3. Osnovy tekhnologii proizvodstva otechestvennykh ingibitorov korrozii* [Corrosion inhibitors. V.3. Fundamentals of production technology of domestic corrosion inhibitors.]. Moscow, «Inter» Publ., 2005, 346 p.
2. Nazarov I.G., Alieva G.T., Gulieva E.M. Guseynova S.Sh. *Uluchshenie smazyvayushchikh svoystv ekologicheskogo dizel'nogo topliva prisadkami, sintezirovannymi na baze neftyanykh kislot, poluchennykh iz smesi azerbaydzhanskikh neftey* [Improving the lubricating properties of environmentally friendly diesel fuel with additives synthesized on the basis of petroleum acids obtained from a mixture of Azerbaijani oils]. *Neftepererabotka i neftekhimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2016. no.12, pp.33-35.
3. Bondareva S.O., Murinov Y.I. [Synthesis and physicochemical properties of 1-(2-alkylamidoethyl)-2-alkyl-2-imidazolines based on α, α' -branched carboxylic acids]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2013, vol.83, no.2, pp.373-378.
4. Khudoleeva E.S., Gurbanova L.V., Gun'kin V.M. *Sposob polucheniya alkilimidazolina* [Method for producing alkylimidazoline]. Patent RF no.2765948, 2022.
5. Chebaksarov A.I., Chebaksarova L.V., Pak Khe Sek. *Sposob polucheniya alkilimidazolina* [Method for producing alkylimidazoline]. Patent RF no.2487122, 2013.
6. Verolaynen N.V., Petrova V.E. Temnikova S.A. *Sintez i svoystva proizvodnykh alkilimidazolina* [Synthesis and properties of alkylimidazoline derivatives]. *Vestnik TvGU. Seriya «Khimiya»* [Vestnik TvSU. Series Chemistry], 2014, is.1, pp.36-43.
7. Abutkov A.V. *Sintez proizvodnykh 1,2 imidazolina – aktivnoy osnovy ingibitorov korrozii. Kompleksnyy podkhod k analizu imidazolinov na primere poluchennykh soedineniy* [Synthesis of 1,2-imidazoline derivatives - the active basis of corrosion inhibitors. An integrated approach to the analysis of imidazolines using the obtained compounds as an example]. *Neftegazovoe Delo* [Oil and gas business], 2012, vol.10, no.1, pp.180-184.
8. Yusevich A.I., Osipenok E.M., Trusov K.I. *Sintez i svoystva 2-zameshchennykh imidazolinov na osnove metilovykh efirov zhirnykh kislot* [Synthesis and properties of 2-substituted imidazolines based on fatty acid methyl esters]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2019, ser.2, no.2, pp.120-126.